

# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL Y DEL AMBIENTE

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



## **“DIAGNÓSTICO, IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA APLICABILIDAD DE LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION EN EL PROYECTO DE ESTACIONAMIENTOS Y AULAS DEL COLEGIO LORD BYRON EN LA CIUDAD DE AREQUIPA”**

Tesis para optar por el Título de Ingeniero Civil que presenta el Bachiller:

**José María Díaz Valdivia**

Asesor:

Ing. Renato Díaz Galdos

AREQUIPA, Diciembre de 2013

## RESUMEN

La industria de la construcción a nivel mundial y a nivel nacional crece a pasos agigantados, las grandes empresas buscan optimizar al máximo el uso de sus recursos para generar mayor rentabilidad y cumplir con los plazos de entrega de sus obras. Una forma de conseguir estos objetivos es con la filosofía Lean Construction.

Lean Construction cambia la forma de pensar tradicional de la construcción y toma otros paradigmas, usa otras herramientas, tecnologías y posee una cultura propia que afecta a las creencias arraigadas a este sector. Al aplicar Lean las cosas cambian y los resultados son beneficiosos para quienes las practican básicamente porque se pueden incrementar las ganancias en cada proyecto sin incrementar los precios de venta sino que reduciendo los costos de producción al identificar las pérdidas en los procesos, los desperdicios, las esperas, los transportes innecesarios, los movimientos innecesarios, la sobreproducción, los inventarios, los errores en los procesos y tomando medidas puntuales para minimizarlas o eliminarlas; se logra incrementar el valor para conseguir la satisfacción del cliente.

El presente trabajo presenta la realidad de las empresas constructoras situadas en la ciudad de Arequipa mediante los resultados de una encuesta en la cual reconocen que existen pérdidas, las clasifican y se presentan dispuestos a mejorar.

Esta investigación se centra en el proyecto de Estacionamientos y Aulas del Colegio Lord Byron ubicado en la provincia y departamento de Arequipa, distrito de Cayma, bajo la responsabilidad de la empresa Nueva Andina S.A. En la ejecución del proyecto se implementó sucesivamente la filosofía Lean Construction, en dos etapas: primero en los Estacionamientos y posteriormente en las Aulas; adicionalmente en la construcción de la losa del estacionamiento con resultados muy interesantes, que demuestran que sí se puede implementar esta forma de pensar si se comienza cambiando la cultura.

Se mostrarán todas las herramientas utilizadas como el Sistema Last Planner<sup>®</sup>, la sectorización, programación por trenes de trabajo, Building Information Modeling, el uso de colchones o “buffers”, la reducción de lotes de transferencia, el sistema pull, medición del nivel general de actividad, uso de cartas balance, prueba de los 5 minutos, entre otros aspectos importantes divididos en tres clases: Filosofía, Cultura y Tecnología.

Finalmente se evalúa la implementación desde una perspectiva cualitativa, en base a cada aspecto desarrollado durante la investigación; y también una evaluación económica para demostrar con números el costo que representó Lean Construction para la empresa versus la utilidad y ahorro obtenido.

*A Dios y a la Virgen María:*

*Por la vida, mi familia y mis amigos.*

*A mis padres:*

*Carlos y Miluska por el apoyo incondicional y sincero, ejemplo de vida y pareja.*

*A mis hermanos:*

*María Teresa, José Carlos y María Paz, por su eterna compañía.*

*Al Colegio San José y*

*A la Universidad Católica de Santa María, en eterna gratitud.*

*Al Ingeniero Dante Yagua:*

*Por confiar en un joven recién egresado y creer en el cambio.*

*Al amor,*

*Porque pase lo que pase de aquí en adelante, mi sueño es tener mi familia.*

*A los que me necesitan:*

*Porque el objetivo primordial es el servicio a los demás.*

## ÍNDICE GENERAL

|  |    |
|--|----|
| RESUMEN .....  | 2  |
| DEDICATORIA .....  | 3  |
| ÍNDICE GENERAL.....  | 4  |
| ÍNDICE DE TABLAS .....   | 8  |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....  | 9  |
| CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA.....  | 10 |
| 1.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA .....   | 11 |
| 1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....                                    | 11 |
| 1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....  | 11 |
| 1.4 OBJETIVOS .....  | 11 |
| a. OBJETIVO GENERAL.....   | 11 |
| b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....  | 11 |
| 1.5 JUSTIFICACIÓN.....   | 11 |
| 1.6 ALCANCE.....   | 12 |
| 1.7 LIMITACIONES .....   | 12 |
| 1.8 METODOLOGÍA.....   | 12 |
| 1.9 HIPÓTESIS .....  | 12 |
| 1.9.1 HIPÓTESIS CENTRAL O PRINCIPAL .....                                | 12 |
| 1.9.2 HIPÓTESIS COMPLEMENTARIAS.....                                     | 12 |
| 1.9.3 VARIABLES O INDICADORES .....                                      | 13 |
| CAPÍTULO 2: FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION .....                            | 14 |
| 2.1 HISTORIA .....   | 15 |
| 2.1.1 PRODUCCIÓN ARTESANAL (CRAFT PRODUCTION).....                       | 15 |
| 2.1.2 PRODUCCIÓN EN MASA (MASS PRODUCTION).....                          | 16 |
| 2.1.3 EL NACIMIENTO DE LA MANUFACTURA ESBELTA (LEAN MANUFACTURING) ..... | 18 |
| 2.2 TOYOTA .....   | 19 |
| 2.2.1 LA “CASA DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN TOYOTA” .....                   | 21 |
| 2.2.2 LAS CUATRO CATEGORÍAS DE TOYOTA Y LOS CATORCE PRINCIPIOS.....      | 22 |
| 2.3 LEAN MANUFACTURING .....   | 23 |
| 2.3.1 EL PRINCIPIO DE REDUCCIÓN DE COSTOS.....                           | 23 |
| 2.3.2 VALOR AGREGADO .....   | 24 |
| 2.3.3 DESPERDICIOS .....   | 25 |
| 2.4 LEAN CONSTRUCTION .....  | 26 |

|   |   |    |
|---|---|----|
| 2.4.1   | CONCEPTOS BÁSICOS .....   | 26 |
| 2.4.2   | FILOSOFÍA: LOS 11 PRINCIPIOS DE LEAN CONSTRUCTION .....                 | 30 |
| 2.4.3   | FILOSOFÍA: DESPERDICIOS.....  | 36 |
| 2.4.4   | TECNOLOGÍA: METODOLOGÍAS .....  | 36 |
| 2.4.5   | CULTURA: CARACTERÍSTICAS .....  | 40 |
| CAPÍTULO 3: LAST PLANNER SYSTEM ® .....               |   | 42 |
| 3.1   | INTRODUCCIÓN .....  | 43 |
| 3.2   | FILOSOFÍA .....   | 45 |
| 3.3   | HERRAMIENTAS.....   | 48 |
| 3.3.1   | PROGRAMA MAESTRO (MASTER PLAN).....                                     | 49 |
| 3.3.2   | PROGRAMA DE FASE (PHASE SCHEDULING) .....                               | 50 |
| 3.3.3   | PROGRAMA INTERMEDIO (LOOKAHEAD PLANNING) .....                          | 50 |
| 3.3.4   | ANÁLISIS DE RESTRICCIONES.....  | 51 |
| 3.3.5   | PROGRAMACIÓN SEMANAL.....   | 51 |
| 3.3.6   | PROGRAMACIÓN DIARIA (PLAN OF DAY).....                                  | 52 |
| 3.3.7   | PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO (PPC) Y CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO (CI)<br>53 |    |
| 3.4   | IMPACTOS Y CONCLUSIONES .....   | 53 |
| CAPÍTULO 4: DIAGNÓSTICO .....                         |   | 55 |
| 4.1   | DIAGNÓSTICO GENERAL.....  | 57 |
| 4.2   | DIAGNÓSTICO PARTICULAR.....   | 68 |
| CAPÍTULO 5: IMPLEMENTACIÓN DE LEAN CONSTRUCTION ..... |   | 75 |
| 5.1   | PRESENTACIÓN.....   | 76 |
| 5.2   | INDUCCIÓN.....  | 76 |
| 5.3   | PRIMER ETAPA: IMPLEMENTACIÓN .....                                      | 79 |
| PASO 1: ASEGURAR QUE LOS FLUJOS NO PAREN .....        |   | 81 |
| 5.3.1   | PRESUPUESTO Y PROGRAMACIÓN MAESTRA.....                                 | 81 |
| 5.3.2   | LOOK AHEAD PLAN .....   | 83 |
| 5.3.3   | ANÁLISIS DE RESTRICCIONES.....  | 85 |
| 5.3.4   | PROGRAMACIÓN SEMANAL .....  | 87 |
| 5.3.5   | PROGRAMACIÓN DIARIA.....  | 89 |
| 5.3.6   | REUNIONES SEMANALES.....  | 91 |
| 5.3.7   | VARIABILIDAD.....   | 91 |
| 5.3.8   | BUFFERS .....   | 93 |

|  |     |
|--|-----|
| PASO 2: FLUJOS EFICIENTES .....                                  | 97  |
| 5.3.9    SECTORIZACIÓN.....                                      | 97  |
| 5.3.10   TRENES DE TRABAJO .....                                 | 101 |
| 5.3.11   BUILDING INFORMATION MODELING.....                      | 104 |
| PASO 3: PROCESOS EFICIENTES.....                                 | 107 |
| 5.3.12   OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS.....                           | 107 |
| 5.3.13   DIMENSIONAMIENTO DE CUADRILLAS .....                    | 113 |
| 5.3.14   NIVEL GENERAL DE ACTIVIDAD .....                        | 114 |
| 5.3.15   CARTAS BALANCE .....                                    | 118 |
| 5.3.16   PRUEBA DE LOS 5 MINUTOS .....                           | 142 |
| 5.3.17   MINIMIZACIÓN DE DESPERDICIOS .....                      | 143 |
| PASO 4: RETROALIMENTACIÓN.....                                   | 144 |
| 5.3.18   SEGUIMIENTO DEL PLAN MAESTRO.....                       | 144 |
| 5.3.19   PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO .....                       | 147 |
| 5.3.20   CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO.....                           | 150 |
| 5.3.21   LECCIONES APRENDIDAS.....                               | 152 |
| 5.3.22   RATIOS DE PRODUCTIVIDAD .....                           | 153 |
| 5.4      SEGUNDA ETAPA: MEJORA CONTINUA.....                     | 156 |
| PASO 1: ASEGURAR QUE LOS FLUJOS NO PAREN .....                   | 160 |
| 5.4.1    PRESUPUESTO, PROGRAMACIÓN MAESTRA Y POR FASES .....     | 160 |
| 5.4.2    LAST PLANNER.....                                       | 162 |
| 5.4.3    CONTROL DE LA VARIABILIDAD: LOTES DE TRANSFERENCIA..... | 163 |
| 5.4.4    BUFFERS .....   | 164 |
| PASO 2: LOGRAR FLUJOS EFICIENTES.....                            | 165 |
| 5.4.5    SECTORIZACIÓN.....                                      | 165 |
| 5.4.6    LOTES DE TRANSFERENCIA.....                             | 168 |
| 5.4.7    TRENES DE TRABAJO .....                                 | 170 |
| 5.4.8    BUILDING INFORMATION MODELING.....                      | 171 |
| PASO 3: OPTIMIZAR PROCESOS .....                                 | 173 |
| 5.4.9    OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS.....                           | 173 |
| 5.4.10   NIVEL GENERAL DE ACTIVIDAD .....                        | 180 |
| 5.4.11   CARTAS BALANCE .....                                    | 182 |
| 5.4.12   PRUEBA DE LOS 5 MINUTOS .....                           | 191 |
| PASO 4: RETROALIMENTACIÓN.....                                   | 192 |

|  |                                      |     |
|--|--------------------------------------|-----|
| 5.4.13   | PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO .....    | 192 |
| 5.4.14   | CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO.....        | 194 |
| 5.4.15   | LECCIONES APRENDIDAS .....           | 195 |
| 5.4.16   | RATIOS DE PRODUCTIVIDAD .....        | 198 |
| 5.4.17   | MANUAL DE PROCESOS.....              | 200 |
| CAPÍTULO 6: EVALUACIÓN .....   |                                      | 201 |
| 6.1  | EVALUACIÓN CUALITATIVA .....         | 202 |
| 6.1.1  | FILOSOFÍA .....                      | 202 |
| 6.1.2  | TECNOLOGÍA .....                     | 202 |
| 6.1.3  | CULTURA .....                        | 207 |
| 6.2  | EVALUACIÓN ECONÓMICA.....            | 208 |
| 6.2.1  | COSTO DE IMPLEMENTACIÓN.....         | 209 |
| 6.2.2  | RENTABILIDAD POR IMPLEMENTACIÓN..... | 210 |
| CONCLUSIONES .....   |                                      | 216 |
| RECOMENDACIONES.....   |                                      | 218 |
| LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURA .....   |                                      | 219 |
| ANEXOS .....   |                                      | 220 |
| ANEXO Nº01: EMPRESAS CONSTRUCTORAS ENCUESTADAS .....   |                                      | 220 |
| ANEXO Nº 02: CONTROL DE LLEGADA Y SALIDA DE MIXERS A OBRA.....   |                                      | 221 |
| ANEXO Nº03: CÁLCULO DE HORAS HOMBRE PERDIDAS EN ESPERAS DE CONCRETO<br>PREMEZCLADO.....                    |                                      | 229 |
| ANEXO Nº04: RESUMEN DE METRADO RUBRO ESTRUCTURAS DEL PROYECTO .....  |                                      | 230 |
| ANEXO Nº05: PRESUPUESTO RUBRO ESTRUCTURAS.....   |                                      | 234 |
| ANEXO Nº06: EJEMPLO DE FORMATO LOOKAHEAD PLAN .....  |                                      | 235 |
| ANEXO Nº07: EJEMPLO DE FORMATO ANÁLISIS DE RESTRICCIONES.....  |                                      | 236 |
| ANEXO Nº08: FICHA TÉCNICA DEL PUENTE DE ADHERENCIA .....   |                                      | 237 |
| ANEXO Nº09: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS Y POLINÓMICA .....   |                                      | 239 |
| ANEXO Nº10: MANUAL DE PROCESOS.....  |                                      | 240 |
| ANEXO Nº11: LEAN CONSTRUCTION APLICADO EN EL PAVIMENTO DEL<br>ESTACIONAMIENTO DEL COLEGIO LORD BYRON ..... |                                      | 247 |
| ANEXO Nº 12: PLANOS DE ARQUITECTURA .....  |                                      | 265 |
| GLOSARIO .....   |                                      | 266 |
| FUENTES DE INFORMACIÓN.....  |                                      | 269 |
| BIBLIOGRAFÍA.....  |                                      | 269 |
| LINKOGRAFÍA.....   |                                      | 270 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1: Ford vs. Toyota en 1950 <i>Fuente: Guía de Lean Manufacturing</i> .....   | 19  |
| Tabla 2: Los tres niveles de desperdicios <i>Fuente: Guía de Lean Manufacturing</i> .....  | 25  |
| Tabla 3: Comparación entre los modelos de conversión. <i>Fuente: Productividad en la Construcción- UCSM</i> .....  | 29  |
| Tabla 4: Representación de las pérdidas en función del costo <i>Fuente: “Procedimiento para mejorar la productividad en las obras y minimizar los costos operativos en la construcción”- Ing. Walter Rodríguez Castillejo.2004</i> ..... | 56  |
| Tabla 5: Valores de trabajo medidos en Lima. <i>Fuente: “Procedimiento para mejorar la productividad en las obras y minimizar los costos operativos en la construcción”- Ing. Walter Rodríguez Castillejo. 2004</i> .....                | 56  |
| Tabla 6: Muestreo del Trabajo en diferentes países de Sudamérica <i>Fuente: “Lean Construction en el Perú”. Pablo Orihuela. Abril 2011</i> .....   | 57  |
| Tabla 7: Benchmarking de Trabajo en Sudamérica. <i>Fuente: “Procedimiento para mejorar la productividad en las obras y minimizar los costos operativos en la construcción”- Ing. Walter Rodríguez Castillejo. 2004</i> .....             | 57  |
| Tabla 8: Hitos Importantes del Proyecto <i>Fuente: Propia</i> .....  | 82  |
| Tabla 9: Proporción de cada Sector. <i>Fuente: Propia</i> .....  | 97  |
| Tabla 10: Porcentajes Sector B. <i>Fuente: Propia</i> .....  | 99  |
| Tabla 11: Porcentajes Sector C. <i>Fuente: Propia</i> .....  | 100 |
| Tabla 12: Tren de actividades partida “Elementos Horizontales”. <i>Fuente: Propia</i> .....  | 103 |
| Tabla 13: Sectorización Sector C. Horizontales <i>Fuente: Propia</i> .....   | 165 |
| Tabla 14: Sectorización Sector C. Verticales. <i>Fuente: Propia</i> .....  | 167 |
| Tabla 15: Resumen de PPC. Edificio. <i>Fuente: Propia</i> .....  | 192 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Casa del Sistema de Producción Toyota.....                          | 22 |
| Figura 2: Aumento de costos vs. Disminución del precio .....                  | 24 |
| Figura 3: Los 7 tipos de desperdicios de Toyota .....                         | 25 |
| Figura 4: Enfoque Tradicional .....   | 26 |
| Figura 5: Enfoque Lean.....   | 27 |
| Figura 6: Casa de Lean Construcción.....                                      | 27 |
| Figura 7: Modelo de Conversión como Transformación.....                       | 28 |
| Figura 8: Modelo de Conversión como Flujo .....                               | 29 |
| Figura 9: Modelo de conversión como Transformación – Flujo - Valor (TFV)..... | 30 |
| Figura 10: Filosofía de la planificación usual vs planificación “Lean” .....  | 46 |
| Figura 11: Proceso de planificación Lean .....                                | 47 |
| Figura 12: Enfoque Lean en la planificación.....                              | 48 |
| Figura 13: Ejemplo de Plan Maestro .....                                      | 49 |
| Figura 14: Ejemplo de Look Ahead.....   | 50 |
| Figura 15: Ejemplo de Análisis de Restricciones .....                         | 52 |
| Figura 16: Ejemplo de Plan del día .....                                      | 52 |
| Figura 17: Ejemplo de PPC y CI.....   | 53 |





## **CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA**

## 1.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

Baja productividad y presencia de pérdidas en la industria de la construcción por el poco o nulo control de procesos y deficientes medidas para proteger la planificación.

## 1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En Arequipa no existen datos sobre la productividad en obras y no se tiene conocimiento sobre la filosofía Lean Construction como estrategia para minimizar los desperdicios y maximizar el valor para el cliente.

## 1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los desperdicios en la industria de la construcción son del orden del 30%<sup>1</sup> y representan pérdidas económicas y de tiempo para las empresas que no las miden y controlan.

El problema radica en que las empresas de nuestro medio, si bien es cierto reconocen que existen pérdidas en sus procesos, no adoptan las medidas necesarias para controlarlas, minimizarlas o eliminarlas ya sea por falta de conocimiento o porque a pesar de no ser tan productivos, logran generar utilidades debido a los altos rendimientos con que se realizan los presupuestos obteniendo colchones para soportar las pérdidas.

## 1.4 OBJETIVOS

### a. OBJETIVO GENERAL

- ✓ Aplicar la filosofía Lean Construction con la herramienta del Last Planner y demostrar su efectividad en la reducción de pérdidas y optimización de procesos en una obra en la ciudad de Arequipa.

### b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Evaluar la aceptación de la mano de obra y personal de gerencia en Arequipa sobre el enfoque Lean Construction.
- ✓ Demostrar que se ahorra tiempo y costos con la correcta aplicación de la filosofía Lean.

## 1.5 JUSTIFICACIÓN

La finalidad de esta investigación es demostrar que se puede incrementar la productividad y reducir las pérdidas en la industria de la construcción haciendo uso de Lean Construction como una forma de trabajo.

Se pretende además servir como un punto de partida para las empresas que deseen adoptar la filosofía con el desarrollo de un “Manual de Procesos”.

---

<sup>1</sup> The Economist. 2000

## 1.6 ALCANCE

La tesis pretende estudiar la implementación del enfoque Lean en un proyecto y específicamente con las partidas de Concreto, Encofrado y Acero que son las que más incidencia tienen dentro del presupuesto, para tratar de demostrar así su aplicabilidad en la ciudad de Arequipa.

Además mediante una encuesta a una cantidad determinada de empresas verificar el conocimiento de la filosofía Lean, la medición de pérdidas y optimización de recursos.

## 1.7 LIMITACIONES

Las limitaciones para la realización de la presente investigación fueron mínimas debido a la aceptación de la empresa constructora de adoptar una forma de trabajar diferente pero que brindaba grandes beneficios.

## 1.8 METODOLOGÍA

Se dividió el trabajo en 3 etapas: en la primera etapa se decidió observar la forma de trabajo cotidiano de la empresa mientras se daban charlas de inducción y capacitación al gerente (ingeniero residente) y al maestro de obra, para tratar de explicar los beneficios y la forma de trabajar que iba a implicar Lean Construction. La segunda parte del trabajo se centró en implementar la filosofía en la parte de los estacionamientos subterráneos, a manera de prueba y error para que poco a poco se entienda y comprenda las implicancias de Lean. Finalmente en el edificio se maximizó el potencial de Lean con técnicas adicionales que terminaron demostrando todo su potencial.

En paralelo se trabajaron las encuestas para sondear el conocimiento de las empresas arequipeñas sobre Lean Construction y además intentar dar una pequeña visión de los problemas que les afectan y las intenciones de mejora de cada una.

## 1.9 HIPÓTESIS

### 1.9.1 HIPÓTESIS CENTRAL O PRINCIPAL

Implementando adecuadamente el LAST PLANNER SYSTEM<sup>®</sup> como herramienta de la Filosofía LEAN CONSTRUCTION y eliminando oportunamente las pérdidas, éstas se pueden reducir al menos un 10 %.

### 1.9.2 HIPÓTESIS COMPLEMENTARIAS

- ✓ Implementar la filosofía Lean Construction no implica gastos importantes y al contrario es un ahorro de dinero.
- ✓ Con el sistema Last Planner<sup>®</sup> se logran cumplir e incluso adelantar los plazos de entrega de obras.
- ✓ La filosofía Lean Construction se puede aplicar a la realidad de la ciudad de Arequipa.

### 1.9.3 VARIABLES O INDICADORES

- ✓ Trabajo Productivo
- ✓ Trabajo Contributorio
- ✓ Trabajo No Contributorio
- ✓ Porcentaje de Plan Cumplido
- ✓ Ratios de Productividad





## **CAPÍTULO 2: FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION**

## 2.1 HISTORIA

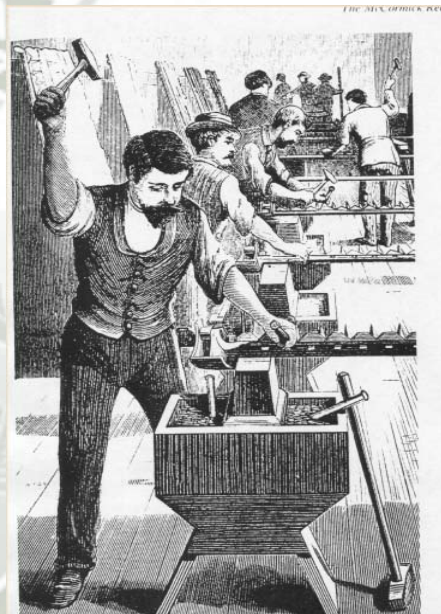
El origen de Lean Construction se remonta al desarrollo de la Manufactura a lo largo de la Historia de la humanidad.

### 2.1.1 PRODUCCIÓN ARTESANAL (CRAFT PRODUCTION)

En 1900, si alguien deseaba, por ejemplo un auto, debía visitar una fábrica de los productores artesanales de su área. El dueño de la fábrica, usualmente un artesano que sabía cómo reparar y construir un auto, tomaba sus especificaciones y necesidades. Muchos meses después, se tenía el auto, pero requería probarlo acompañado de un mecánico, quien debía modificarlo de acuerdo con las indicaciones que uno le diera. El carro era único en su especie y el costo era demasiado alto, pero uno quedaba satisfecho con el trato directo con los fabricantes y su equipo.

La producción artesanal tiene las siguientes características:

- Fuerza de trabajo formada por artesanos con habilidades en el diseño, en la maquinaria y en ensamble altamente especializados en lo que hacían.
- Organización descentralizada. Pequeña fábrica que provee la mayoría de las partes. El dueño/comerciante coordina el proceso en contacto directo con los contratistas, trabajadores y clientes.
- Maquinaria de uso general, empleada para cortar, perforar, triturar partes.
- Bajos volúmenes de producción y altos precios.
- Desarrollo de un producto Integrado.
- La Calidad deseada en el producto final se obtenía a través de prueba y error.



En ese entonces, los artesanos fabricaban los productos y las compañías les brindaban atención personalizada a los clientes. Pero tenía sus grandes desventajas:

- Sólo los ricos podían comprar un producto.
- La calidad era impredecible: cada producto era esencialmente un prototipo.
- Las actividades de mejoramiento no son completamente compartidas.
- Henry Ford y Fred Winslow Taylor trabajaron sobre las desventajas de la producción artesanal, lo cual daría inicio a otro fenómeno en los sistemas de producción, que es la fabricación o producción en masa.

La producción artesanal continúa sobreviviendo en pequeños nichos, usualmente en productos de lujo. Por ejemplo, compañías como *Lamborghini*, *Ferrari* y *Aston Martin*, continúan produciendo pequeños volúmenes de carros muy especiales y a precios altos a un

grupo de compradores que buscan prestigio y la oportunidad de tratar directamente con la fábrica.

### **2.1.2 PRODUCCIÓN EN MASA (MASS PRODUCTION)**

Fred Winslow Taylor, un gerente de fundición en Filadelfia, convirtió el proceso de fundición a la producción en masa. Fue el primero que aplicó sistemáticamente los principios científicos a la manufactura.

El sistema artesanal era sumamente empírico, es decir, dependía mucho de la experiencia de los artesanos, así que, mediante pura observación, Taylor identificó “el mejor camino” para hacer el trabajo basado en principios científicos, y de esta forma, inventó la ingeniería industrial.

El sistema Taylor está basado en la planeación separada de la producción. Los ingenieros industriales, a través de nuevas técnicas, como el estudio de tiempos y movimientos, encontraba la mejor manera de hacer el trabajo, dejando que la fuerza laboral hiciera ciclos cortos de operaciones repetitivas.

El *Taylorismo* logró muchas innovaciones como las siguientes:

- Trabajo estandarizado. Identifica la mejor y más fácil manera de hacer el trabajo.
- Reducción del ciclo de tiempo que llevaba hacer un proceso.
- Estudio de tiempos y movimientos, una herramienta desarrollada para estandarizar el trabajo.
- Medición y análisis para el mejoramiento continuo de los procesos.

Henry Ford, siendo un joven empresario, estaba tratando de diseñar un automóvil que fuera fácil de producir y sencillo de reparar. Finalmente logró su cometido al hacer su Modelo T en 1908. La clave de la producción en masa no era sólo ensamblar en línea, sino que, a través de las partes intercambiables y de fácil ensamble, la línea de ensamble se hiciera posible. Para lograr la intercambiabilidad, Ford estandarizó las piezas usadas para a través de sus operaciones, mediante innovaciones en las herramientas de los equipos que le permitían maquinar partes.

Una vez estandarizadas las partes, cambiar la manera de diseñar automóviles fue el siguiente paso. Ford disminuyó el número de partes que se movían en los motores y otros sistemas críticos, además de simplificar el proceso de ensamble. Esta innovación provocó grandes ahorros, debido a la necesidad de partes que se ensamblaban, ya que esto era algo muy costoso en la producción artesanal, porque las partes eran hechas para usarse una sola vez. Al mismo tiempo, Ford alcanzó otras de sus metas: lograr que se usaran y se repararan fácilmente.

El siguiente problema era cómo coordinar el ensamble. Esto implicaba una secuencia de acciones dependientes. Al terminar las actividades dentro de la estación de trabajo, el vehículo debía ser pasado a la siguiente estación, y como el proceso no estaba balanceado, los cuellos de botella y otros problemas eran comunes cuando los trabajadores hábiles sobre-pasaban a los lentos. Para reducir este problema, Ford comenzó entregando las partes en las áreas de

trabajo, y entonces, disminuyó el tiempo perdido por caminar. Siguiendo la guía de Taylor, disminuyó el número de actividades que cada trabajador requería para hacer su trabajo. El tiempo del ciclo, el cual tenía medido en horas en 1908, bajó a unos minutos en 1913, en su nueva fábrica de Highland.

Inspirado, tuvo la idea de traer los carros a las estaciones de trabajo, lo cual disminuiría el tiempo que se perdía caminando, y lo más importante, se crearía una secuencia en el proceso. Entonces, los trabajadores lentos subirían su ritmo y los rápidos lo bajarían, logrando la estabilidad del proceso que tanto había buscado. Así, creó la **línea de producción**.

Las características del sistema de producción Ford fueron:

- Producción de partes intercambiables y de fácil ensamble.
- Reducción de las acciones requeridas por cada trabajador.
- Traslado de los carros hacia las estaciones de trabajo, creando la línea de ensamble.
- Alta velocidad.
- Gran cantidad de inventarios.
- Calidad buena, pero no excelente.
- Organizaciones creadas en base a funciones.
- Lento desarrollo del producto.
- Bajo nivel de innovación.
- Sistema inflexible ante cambios en el diseño.



Se puede decir que, sin lugar a dudas, Henry Ford fue el primero que realmente pensó esbeltamente (**lean thinker**). En su fábrica de Highland, Ford contaba con una línea para fabricar las partes en secuencia, separada por pequeños espacios, con pocas piezas de inventario en proceso. Lo que hoy en día hace Toyota en sus plantas, Henry Ford lo hacía en su fábrica hace 100 años.

El problema con el sistema de Henry Ford es que éste trabajaba adecuadamente en condiciones muy especiales. Ford lo planeó todo desde el inicio, enfocándose en que la producción sería para volúmenes muy altos (buscaba producir más de dos millones de unidades a principios de 1920, ya que tenía que cubrir la demanda de todo el mundo) y presumía que no necesitaba cambiar su producción a ningún otro modelo. Después de todo, él había diseñado el auto ideal en 1908. Adicionalmente, Ford no ofrecía opciones distintas a su chasis básico, creyendo que el bajo costo del carro, abrumaría al comprador primerizo, quien no pensaría en otras características del automóvil. Como resultado, no se hicieron cambios en las máquinas de la compañía Ford. Cada equipo permanecería dedicado a un número de parte específico.

Al pasar los años, se ha notado que todos los principios del sistema de producción Ford son completamente consistentes con el sistema de producción Toyota.

### **2.1.3 EL NACIMIENTO DE LA MANUFACTURA ESBELTA (LEAN MANUFACTURING)**

La historia inicia con Sakichi Toyoda, visionario e inventor, parecido a Henry Ford. En 1984, Toyoda inició la fabricación de telares manuales, los cuales eran baratos pero requerían de mucho trabajo. Su deseo era crear una máquina que pudiera tejer la tela, y esto lo llevó a hacer muchos experimentos con los que, intentando una y otra vez, logró conseguir lo que quería. Realizando este trabajo de prueba y error, generó la base del Toyota Way, el **genchi/genbutsu** (Ir/observar/entender). Más tarde fundó la compañía Toyoda Automatic Loom Works.

Uno de sus inventos fue un mecanismo especial que detenía de manera automática el telar cuando un hilo se trozaba, invento que se convertiría en uno de los pilares del sistema de producción Toyota, llamado **jidoka** (automatización con toque humano).

Después de vender la patente de la máquina a una compañía inglesa, en 1930 Sakichi y su hijo iniciaron la construcción de Toyota Motor Company. Sakichi, más que hacer dinero con la compañía, deseaba que su hijo, Kiichiro, dejara una huella en la industria mundial, tal como él lo había hecho con sus máquinas de hilar, Kiichiro, después de estudiar en la prestigiosa Universidad Imperial de Tokio la carrera de ingeniería mecánica, siguió los pasos de su padre: aprender haciéndolo por sí mismo en el piso de producción.

Kiichiro construyó Toyota con la filosofía de su padre, pero agregó sus propias innovaciones. Por ejemplo, la técnica **just in time** (justo a tiempo, JIT), que fue su contribución. Sus ideas fueron influidas por sus visitas a la planta Ford en Michigan, así como el sistema de supermercados americanos para surtir los productos en los estantes justo a tiempo, conforme los utilizaban los operadores de la línea de producción.

Después de la Segunda Guerra Mundial, en la que Japón perdió y Estados Unidos ocupó ese país, Kiichiro pensó que cerrarían su planta, pero los americanos necesitaban camiones para reconstruir el país. La economía mejoró durante la ocupación, pero la inflación impedía que los clientes compraran un carro. Esto provocó que se les recortara el sueldo a los empleados en un 10 por ciento, lo cual fue parte de la negociación con el sindicato, con el fin de mantener la política de Kiichiro en contra del despido de empleados.

Pero debido a la bancarrota y a las peticiones de retiros voluntarios hechas a los empleados, Kiichiro aceptó su responsabilidad por haber fallado en la compañía automotriz y se reasignó como presidente, aunque los problemas estuvieran fuera de su alcance. Su sacrificio personal ayudó a calmar el descontento de los trabajadores, además de que tuvo un profundo impacto en la historia de Toyota: todos en la compañía saben lo que hizo y porqué. La filosofía de Toyota hasta estos días es pensar más allá de los beneficios individuales; es pensar a largo plazo por el bien de la compañía, así como tomar la responsabilidad de los problemas. Kiichiro predicó con el ejemplo.

Pero fue Eiji Toyoda, sobrino de Sakichi y primo de Kiichiro, quien terminó de construir la compañía. Eiji creció creyendo que la única manera de hacer las cosas es haciéndolas uno por

sí mismo. Con el tiempo, se volvió presidente de la compañía. Eiji jugó un papel clave en la selección y el empoderamiento de los líderes que conformarían el sector de ventas, manufactura, desarrollo de productos y lo más importante, del sistema de Producción Toyota. En Toyota siempre se ha pensado en cómo enseñar y reforzar el sistema que llevó a los fundadores de la compañía a trabajar, para verdaderamente innovar y pensar profundamente acerca de los factores actuales que constituyen los problemas. Este es el legado de la familia Toyota.

## 2.2 TOYOTA

Eiji Toyoda regresó de un viaje por los Estados Unidos en donde, en lugar de regresar impresionado con los sistemas de producción, veía áreas de oportunidad dentro de los procesos, y entonces llamó a su oficina a Taiichi Ohno. Calmadamente, le asignó a Taiichi una nueva actividad: mejorar el proceso de manufactura Toyota hasta igualarlo con la productividad de Ford. Según los paradigmas de la producción de esos días, eso era casi imposible para la pequeña Toyota.

Toyota quería adaptar el proceso de manufactura de Ford a sus propios procesos para llegar a obtener una alta calidad, bajos costos, tiempos de entrega cortos y flexibilidad. Afortunadamente para Ohno, la tarea que Eiji le había asignado no significaba competir con Ford. Él solo le pidió que se enfocara en el mejoramiento de los procesos de Toyota dentro del mercado japonés.

Entonces, Ohno hizo benchmarking de las plantas de los Estados Unidos y también estudió el libro *Today and tomorrow* de Henry Ford. Después de todo, uno de los puntos que Ohno creía que Toyota necesitaba era un flujo continuo, y el mejor ejemplo que había en ese entonces era la línea de ensamble de Ford.

| Ford   | Toyota   |
|--|--|
| Estaba diseñado para producir grandes cantidades de un número limitado de modelos.       | Necesitaba producir volúmenes bajos de diferentes modelos usando la misma línea de ensamble, porque era lo que demandaba el consumidor del mercado de autos. Los niveles de demanda eran muy bajos como para tener una línea exclusiva para cada modelo. |
| Tenía mucho capital y recursos económicos, así como un mercado internacional que cubrir. | No tenía dinero y tenía que operar en un país pequeño, con pocos recursos y capital. Necesitaba hacer girar el dinero rápidamente (desde recibir la orden hasta el cobro).   |
| Tenía una cadena de suministros completa.  | No contaba con una cadena de suministros.  |

Tabla 1: Ford vs. Toyota en 1950 Fuente: *Guía de Lean Manufacturing*

Toyota no contaba con la capacidad para ensamblar esa cantidad de autos ni un mercado igual al de Estados Unidos como para tener una línea de ensamble como la de Ford en Highlan Park, pero sin lugar a dudas, estaban decididos a usar la idea original de Ford sobre el flujo continuo de los materiales entre los procesos y desarrollar un sistema con el flujo de una sola pieza

entre estaciones, que les permitiera ser lo suficientemente flexibles como para cambiar conforme a la demanda del consumidor y además ser eficientes.



Junto con las lecciones de Henry Ford, el Sistema de producción Toyota tomó prestadas muchas ideas de Estados Unidos. Una muy importante fue el concepto del “sistema jalar” (**sistema pull**), el cual fue retomado de los supermercados de Norteamérica. En cualquier supermercado, los artículos individuales se surten conforme estos disminuyen su número dentro del estante, según como la gente los va consumiendo. Aplicar esto en el piso de producción significa que, dentro del proceso no se debe hacer nada (abastecerlo) hasta que el próximo proceso use lo que originalmente había surtido (hasta bajar a una pequeña cantidad “inventario de seguridad”). En el sistema de producción Toyota, cuando el inventario de seguridad está en su nivel mínimo, entonces se manda una señal para resurtir las partes (**Kanban**). Lo anterior crea un “jalón”, el cual continúa en cascada hacia atrás para iniciar con el ciclo de manufactura. Sin el sistema jalar, el justo a tiempo, uno de los pilares del sistema de producción Toyota, no sería posible.

Toyota también tomó las enseñanzas del pionero americano de la calidad W. Edward Deming, quien consideraba que sólo habían dos tipos de clientes: los externos y los internos. Cada persona dentro de la línea de producción, o en los negocios, debía ser tratada como “cliente” y eso implicaba darle lo que exactamente necesitaba, en el tiempo que lo requería. Esto fue el origen del principio de Deming: “el siguiente proceso es el cliente”, expresión importante en el JIT (Just In Time).

El término japonés para el mejoramiento continuo con base en la generación e implementación de ideas es **kaizen**, el cual ayuda a alcanzar la meta de **Lean**, que es eliminar los desperdicios del proceso. Kaizen es una filosofía completa que lucha por la perfección y por mantener el Sistema de producción Toyota.

Para los años setenta, el sistema de producción Toyota era una filosofía muy poderosa que todo negocio debía aprender. Toyota dio los primeros pasos para esparcir sus principios a sus proveedores clave. Cuando, en 1973 se tuvo la primera crisis petrolera, Toyota sobresalía de las demás compañías, y viendo esto, el gobierno japonés trató de copiar el sistema de Toyota para pasarlo a las demás empresas. Con este fin, inició la impartición de seminarios a todas las empresas, aunque éstas solo entendían una fracción de lo que Toyota estaba haciendo.

### 2.2.1 LA “CASA DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN TOYOTA”

La “Casa del Sistema de Producción Toyota” es un diagrama que se ha convertido en uno de los símbolos más reconocidos en la manufactura moderna. Se basa en una casa porque ésta es un sistema estructural. La casa es fuerte sólo si el techo, los pilares y las bases son fuertes. Un elemento débil debilita todo el sistema.

La casa inicia con las metas de la mejor calidad, el más bajo costo, el menor tiempo de entrega, la mayor seguridad y la más alta moral, lo cual conforma el techo. Existen dos pilares, el justo a tiempo, probablemente la característica más visible y publicitada en el Sistema de Producción Toyota, y el jidoka, el cual en esencia significa nunca permitir que los defectos pasen a la siguiente estación. El centro del sistema es la gente. Finalmente, hay varios elementos base que incluyen la necesidad de estandarización, estabilidad, confiabilidad en los procesos, y también el **heinjunka**, el cual significa nivelación del programa de producción tanto en el volumen como en la variedad. Una programación nivelada o heijunka es necesaria para mantener el sistema estable y para permitir un mínimo de inventarios.

Cada elemento de la casa es, por sí mismo, crítico; pero más importante es la manera en que los elementos se refuerzan unos con otros. Justo a tiempo significa surtir el producto indicado, en el momento preciso y en la cantidad correcta.

La base de la casa es la estabilidad. Irónicamente el sistema de producción Toyota requiere para trabajar un pequeño inventario y parar la producción cuando existen los problemas que causan la inestabilidad, creando un sentido de urgencia entre los trabajadores. En la producción en masa, cuando una máquina falla, no hay sentido de urgencia: el departamento de mantenimiento se programa para arreglarla y, mientras tanto, el inventario mantiene corriendo las operaciones. En contraste, en la producción esbelta, cuando un operador apaga un equipo para arreglar un problema, otras operaciones comienzan a dejar de producir, creando una crisis. Entonces, siempre se tienen un sentido de urgencia en producción para arreglar los problemas en conjunto y hacer que el equipo corra de nuevo. Si el mismo problema sucede constantemente, la administración debe concluir rápidamente que ésta es una situación crítica y tal vez se invierta en el Mantenimiento Productivo Total. Es necesario entonces un alto grado de estabilidad para que el sistema no esté constantemente deteniéndose.

La gente es el centro de la casa porque solamente a través del mejoramiento continuo puede la operación conseguir la estabilidad necesaria. La gente debe ser entrenada para ver el desperdicio y resolver los problemas desde su raíz, preguntado en repetidas ocasiones por qué el problema realmente ocurre. La solución de problemas se da en el lugar de trabajo, en donde se puede ver qué es lo que sucede (**genchi/genbutsu**).

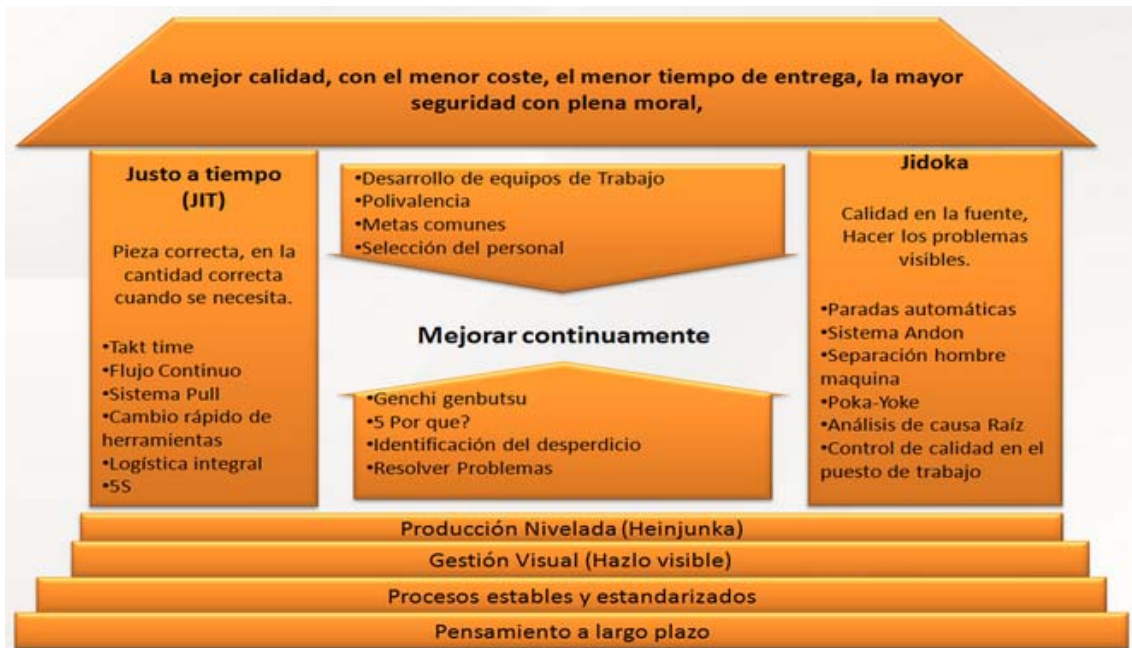


Figura 1: Casa del Sistema de Producción Toyota

## 2.2.2 LAS CUATRO CATEGORÍAS DE TOYOTA Y LOS CATORCE PRINCIPIOS.

En Toyota es la gente la que lleva el sistema de producción a su propia vida, por medio del trabajo, la comunicación y la resolución de problemas en conjunto. La manera de Toyota de hacer las cosas motiva, apoya y, de hecho, exige el involucramiento de los empleados.

El sistema de producción Toyota provee las herramientas a la gente para que mejoren continuamente su trabajo. Este camino implica depender más de la gente, no menos. Es una cultura, más que un conjunto de técnicas de eficiencia y mejora.

El camino de Toyota consta de 14 principios, los cuales está organizados en 4 categorías. A continuación se muestra una interpretación de los 14 principios publicados en el libro *Toyota Way*:

### A. CATEGORÍA 1: FILOSOFÍA A LARGO PLAZO

- ✓ **PRINCIPIO 1:** Basa tus decisiones administrativas en una filosofía a largo plazo, aún a costa de los objetivos financieros a corto plazo.

### B. CATEGORÍA 2: LOS PROCESOS CORRECTOS VAN A PRODUCIR LOS RESULTADOS CORRECTOS.

- ✓ **PRINCIPIO 2:** Crea flujo continuo en los procesos para hacer que los problemas salgan a la luz.
- ✓ **PRINCIPIO 3:** Utiliza sistemas de “jalar” (**Pull System**)
- ✓ **PRINCIPIO 4:** Nivelas la carga de trabajo (**heijunka**).
- ✓ **PRINCIPIO 5:** Crea una cultura en la que la gente se detenga para arreglar los problemas, para así alcanzar la calidad adecuada desde la primera vez (**jidoka**).

- ✓ **PRINCIPIO 6:** La estandarización de tareas es la base para la mejora continua y el *empowerment* de los empleados.
  - ✓ **PRINCIPIO 7:** Utiliza el control visual para que ningún problema se pueda esconder.
  - ✓ **PRINCIPIO 8:** Utiliza solamente tecnología confiable y probada que te ayude a tu proceso y tu gente, no para reemplazarla.
- C. CATEGORÍA 3:** AGREGA VALOR A LA ORGANIZACIÓN POR MEDIO DEL DESARROLLO DE TU GENTE Y TUS SOCIOS.
- ✓ **PRINCIPIO 9:** Desarrolla líderes que comprendan el trabajo, vivan la filosofía y la enseñen a los demás.
  - ✓ **PRINCIPIO 10:** Desarrolla gente y equipos excepcionales que sigan la filosofía de tu empresa.
  - ✓ **PRINCIPIO 11:** Respeta a tu red de socios y proveedores.
- D. CATEGORÍA 4:**
- ✓ **PRINCIPIO 12:** Ve a ver por ti mismo para comprender la situación (**genchi genbutsu**).
  - ✓ **PRINCIPIO 13:** Toma las decisiones lentamente y por consenso; impleméntalas rápidamente.
  - ✓ **PRINCIPIO 14:** Conviértete en una organización que persigue el aprendizaje por medio de la reflexión y la mejora continua (**kaizen**).

## 2.3 LEAN MANUFACTURING

A principios de los ochenta, una comitiva de investigadores del MIT (Massachusetts Institute of Technology) viajó a Japón y realizó un estudio que tenía como fin investigar que estaba haciendo la industria automotriz japonesa que en ese momento le quitaba mercado a la americana a pasos agigantados. Su principal descubrimiento fue el uso de las herramientas que conformaban el sistema de producción de Toyota. A su regreso a Estados Unidos, esta comitiva nombró esta metodología de fabricación Lean Manufacturing y se encargó de su difusión en el mundo.

Dos importantes libros popularizaron el término esbelto (**Lean**).

- ✓ *The machine that changed the World*, de James Womack, Daniel Jones y Daniel Roos, publicado en 1991 por Simon & Schuster.
- ✓ *Lean thinking*, de James Womack y Daniel Jones, publicado en 1996 por Simon & Schuster.

Producción esbelta, también conocida como sistema de producción Toyota, quiere decir **hacer más con menos** – menos tiempo, menos espacio, menos esfuerzos humanos, menos maquinaria, menos materiales – siempre y cuando se le esté dando al cliente lo que desea.

### 2.3.1 EL PRINCIPIO DE REDUCCIÓN DE COSTOS.

Los clientes constantemente tienen a las compañías bajo presión para reducir los costos y los tiempos de entrega, así como para tener la más alta calidad. El pensamiento tradicional dicta

que el precio de venta es calculado por el costo más el margen de utilidad que se desea. Pero en el ambiente económico de hoy, eso es un problema. El mercado es tan competitivo que hay siempre alguien listo para tomar su lugar. Los clientes pueden marcar el precio y no se tendrá la ganancia esperada. Bajo estas circunstancias, el único camino para obtener una ganancia es eliminando los desperdicios de los procesos, y por lo tanto, reduciendo los costos.

Determinando el precio que el cliente está dispuesto a pagar, y restando el costo, se puede determinar cuál será su ganancia (ganancia = precio – costo). Los clientes frecuentemente establecen el precio y también demandan la disminución de éstos. Por eso es tan importante la eliminación de desperdicios, ya que es la base para **maximizar las ganancias**.

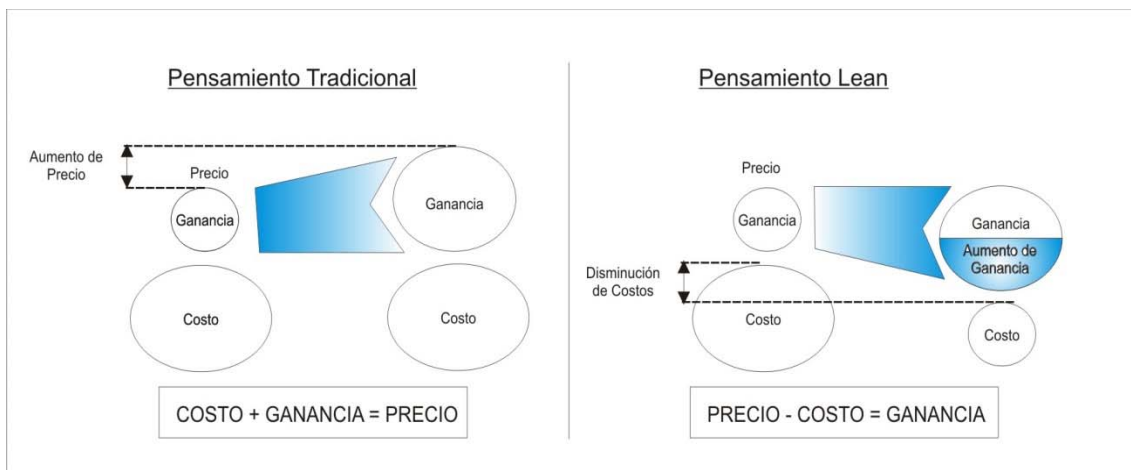


Figura 2: Aumento de costos vs. Disminución del precio

### 2.3.2 VALOR AGREGADO

Cuando se aplica el Sistema de producción Esbelto, se inicia examinando los procesos desde el punto de vista del cliente. La primera pregunta en este sistema de producción siempre es: *¿Qué es lo que el cliente espera de este proceso?* (tanto para el cliente del siguiente proceso dentro de la línea de producción, como para el cliente externo).

Esto se define como valor. A través de los ojos del cliente, puede observarse un proceso y separar los pasos que agregan valor de los que no. Se puede aplicar a cualquier proceso (manufactura, información, **construcción**).

Por ejemplo el proceso para pintar un mueble: los operadores realizan muchos pasos pero generalmente sólo un pequeño número de estos agrega valor al producto. Algunas de las actividades no agregan valor pero son necesarias, otras no agregan valor ni son necesarias. El punto es maximizar el tiempo que se gasta en operaciones que no agregan valor mediante el acomodo de herramientas, equipos y materiales tan cerca como sea posible dentro del proceso.

Después de conocer qué es lo que agrega valor al producto o servicio, aparece el concepto de desperdicio.

### 2.3.3 DESPERDICIOS

Toyota ha identificado siete tipos de desperdicios que no agregan valor al proceso de manufactura. El objetivo primordial de Lean es minimizar el desperdicio. **Muda** (palabra japonesa cuyo significado es desperdicio), es todo aquello que no agrega valor y por lo cual el cliente no está dispuesto a pagar.

A continuación serán mencionados brevemente y detallados en el siguiente capítulo:



Figura 3: Los 7 tipos de desperdicios de Toyota

Dentro de estas categorías, existen muchos otros tipos de desperdicios más específicos. Para definir desperdicio y entender como asignarlo, es de gran ayuda pensar en tres niveles. El nivel uno es para los grandes desperdicios. Los de este nivel son relativamente fáciles de ver y trabajar con ellos puede generar un gran impacto. El nivel dos es sobre los desperdicios de procesos y métodos; y en el nivel tres, están los desperdicios menores dentro del proceso.

Quitando los grandes desperdicios, se logra exponer y llegar a los demás tipos:

| <b>NIVEL UNO<br/>GRANDES DESPERDICIOS</b>  | <b>NIVEL DOS<br/>DESPERDICIOS DE PROCESOS<br/>Y MÉTODOS</b>   | <b>NIVEL TRES<br/>DESPERDICIOS MENORES EN<br/>LOS PROCESOS</b>   |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pobre Layout de planta</li> <li>– Rechazos</li> <li>– Retrabajo</li> <li>– Producto dañado</li> <li>– Tamaño del contenedor</li> <li>– Tamaño del lote</li> <li>– Pobre iluminación</li> <li>– Equipo sucio</li> <li>– El material no se entrega en los puntos que se requiere</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Pobre diseño del lugar de trabajo</li> <li>– Falta de mantenimiento</li> <li>– Almacenes temporales</li> <li>– Problemas con los equipos</li> <li>– Métodos inseguros</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Doble manejo</li> <li>– Caminar en exceso</li> <li>– Producir para almacenar</li> <li>– Trabajo en papel</li> <li>– Velocidad de producción y alimentación de materiales</li> </ul> |

Tabla 2: Los tres niveles de desperdicios Fuente: *Guía de Lean Manufacturing*

## 2.4 LEAN CONSTRUCTION

Lean Construction nace como una necesidad de adoptar una serie de estándares emanados de la empresa manufacturera. La industria de la construcción observó por muchos años, de manera expectante, cómo el mundo oriental le entrega una gran cantidad de ideas, filosofías y prácticas al mundo occidental. La nueva filosofía de producción ha demostrado que las nuevas técnicas, difundidas ampliamente en la industria automotriz, podían ser implementadas de forma exitosa en la industria de la construcción. Experiencias internacionales han demostrado que la implementación de la filosofía Lean Construction puede mejorar la coordinación de todos los agentes participantes en el proyecto y por ende aumentar la fiabilidad de éste.

En la década de 1990 en Finlandia, el ingeniero Civil Lauri Koskela sistematizó los conocimientos más avanzados de la administración moderna (Benchmarking, Kaizen, JIT, etc.), la ingeniería de Métodos, el Estudio del trabajo y basándose en el Lean Manufacturing pudo reformular los conceptos básicos de programación y control de obras.

### 2.4.1 CONCEPTOS BÁSICOS

La producción se ha visto como la tarea de aplicar la tecnología existente de una manera sistemática. Un estudio<sup>2</sup> realizado por la Comisión de bases de Manufacturing hizo un notable esfuerzo para definir el concepto de filosofía de producción, llamada "fundamentos de la fabricación", que la define como "las bases que proporcionan los principios básicos o las teorías, para un campo del conocimiento. Las bases consisten en verdades fundamentales, normas, leyes, doctrinas o fuerzas motivantes u otros principios de funcionamiento más específicos de los que pueden basarse. Éstas no siempre necesitan ser cuantitativas, pero deberán aportar orientación en la toma de decisiones y en la dirección de operaciones. Deben tener una orientación práctica y su aplicación debería conducir a la mejora continua".

#### a) Enfoque

El enfoque Tradicional de los proyectos de construcción se basa en un tridente conformado por el costo, el tiempo y la calidad, donde mejorar o lograr alguno de ellos implica sacrificar o disminuir algún otro.

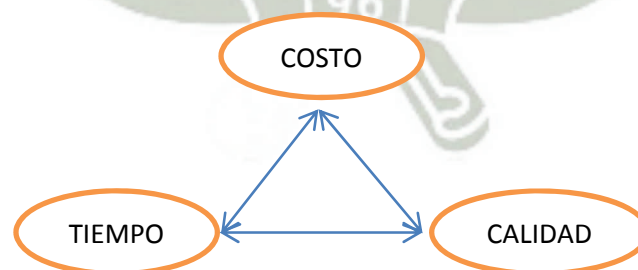


Figura 4: Enfoque Tradicional

El enfoque Lean cambia las tres características fundamentales tradicionales por 3 nuevas necesidades para lograr tener éxito en los proyectos: Filosofía, Tecnología y Cultura.

---

<sup>2</sup> Heim & Compton 1992

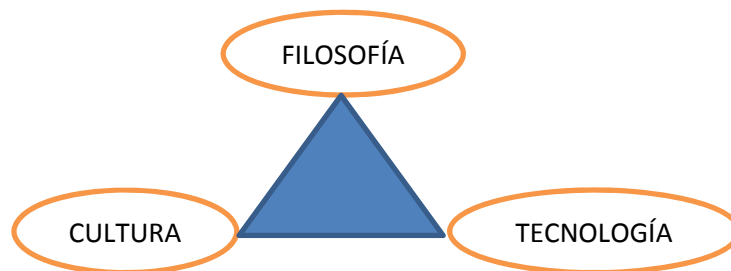


Figura 5: Enfoque Lean

- ✓ Filosofía: Basada en los principios Lean relacionados al sistema de Producción Toyota, el conocimiento de los tipos de desperdicios, diferenciar el valor de lo que no genera valor.
- ✓ Tecnología: Relacionada a los métodos, formas y procedimientos utilizados en la gestión de proyectos. Por ejemplo Just In Time, Kaizen, el Sistema Last Planner, Modelación Virtual, etc. siendo una gran cantidad y dejando el frente abierto a la innovación constante.
- ✓ Cultura: Son las características de las personas, buscando que acepten el cambio, que lo asuman y lideren. Es el aspecto más difícil de conseguir pero tiene que hacerse con un trabajo sistemático y perseverante.

Este cambio permite obtener proyectos a menor costo, con mayor calidad y menor tiempo.

### b) Concepto

Si se pretende definir en pocas palabras Lean, se puede decir que **“transformarse en Lean es un Proceso de Eliminar Desperdicios con la Meta de Crear Valor”<sup>3</sup>**.

Como se vio anteriormente, es lo que hacía Toyota en su Sistema de Producción. Por esta razón, se adaptó el modelo del Sistema De Producción Toyota a Lean Construction:



Figura 6: Casa de Lean Construcción

<sup>3</sup> Luis F. Alarcón. Seminario Internacional Lean Construction. Lima, Noviembre de 2013

### c) Objetivo

Las redes orientadas y cerradas siempre tienen actividades con holguras y el objetivo es convertir dichas actividades en críticas (holgura cero) pero teniendo en cuenta los flujos, los mismos que deben ser reducidos al mínimo con el mejoramiento continuo de la disposición en planta (Layout plant), que repercute en una mejora en la producción y por ende en la Productividad.

### d) El Modelo de Conversión

El modelo tradicional de conversión sólo se basa en la transformación, donde inputs ingresan al proceso y se convierten en outputs y la transformación global se consigue descomponiendo el todo en partes y realizando la transformación de todas las partes y la reducción del costo de cada parte conlleva a la reducción del costo total.

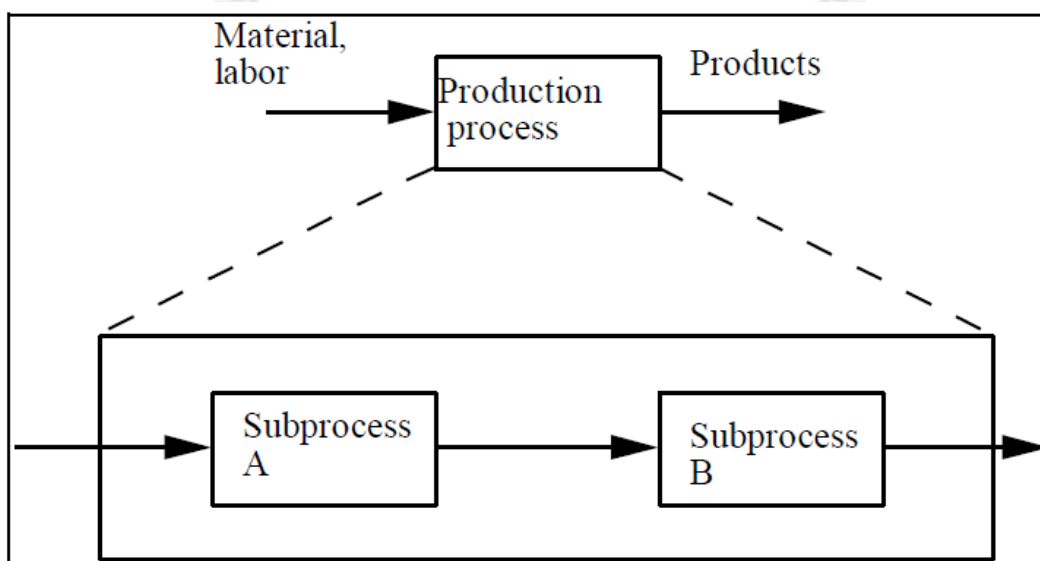


Figura 7: Modelo de Conversión como Transformación

Existe también la consideración del modelo de conversión como flujo. Esta Teoría fue propuesta en 1922 por los esposos Gilbreth y considera al contrario 4 etapas:

- ✓ Procesamiento (P)
- ✓ Inspección (I)
- ✓ Espera (E)
- ✓ Movimiento (M)

Por ende, la duración del ciclo es igual a  $P + I + E + M$ , y sólo el procesamiento representa transformación, las otras etapas representan pérdidas en la producción.

Esta visión se enfoca a hacer el procesamiento más eficiente al igual que el modelo de transformación y a eliminar o reducir las actividades de no transformación.

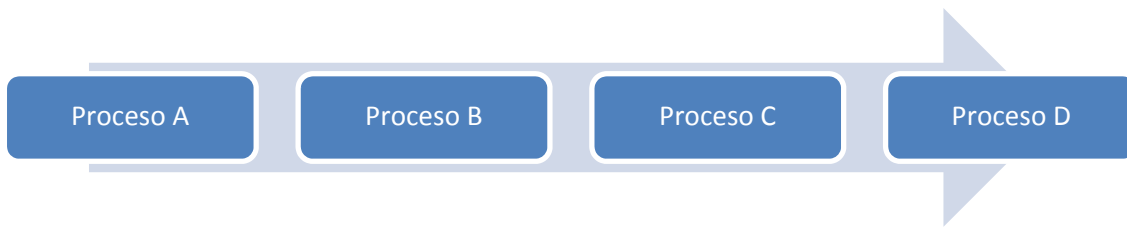


Figura 8: Modelo de Conversión como Flujo

La tercera Teoría y que representa el fundamento de Lean Construction es La Generación de Valor, llamada también **Transformación – Flujo – Valor (TFV)**, esta teoría complementa las dos anteriores a través de la producción como medio para cumplir las necesidades del cliente.

|                      | TRANSFORMACION  | FLUJO  | GENERACION VALOR  |
|----------------------|---|--|---|
| PRODUCCIÓN ES ...    | Transformación de inputs en outputs                               | Transformación, movimiento, inspección y espera                            | Creación de Valor para el cliente a través del cumplimiento de sus requerimientos |
| PRINCIPIOS           | Descomposición del trabajo en tareas y optimización de las mismas | Eliminación Pérdidas reduciendo la No-Transformación, Reducir Variabilidad | Tener en cuenta todos los requerimientos del Cliente y su flujo                   |
| NOMBRE DE LA TÉCNICA | Task Management   | Flow Management  | Value Management  |
| CONTRIBUYE A ...     | Ocuparnos de lo que tiene que hacerse                             | Ocuparnos de que lo innecesario se haga tan poco como sea posible          | Todos las necesidades del cliente son obtenidos de la mejor manera posible        |

Tabla 3: Comparación entre los modelos de conversión. Fuente: *Productividad en la Construcción- UCSM*

De este modo, el nuevo modelo de conversión reconoce que existen:

- 1.- Conversiones, Insumos o recursos: mano de obra, equipo, materiales utilizados en ejecutar una tarea que se convierte en producto.
- 2.- Flujos (inspección, transportes, esperas, etc.).

Se debe tener en cuenta la necesidad de balancear la mejora del flujo y la mejora en la conversión.

Se distinguen también tres tipos de trabajos o tiempos:

- 1.-**Tiempo Productivo:** Agrega valor al Producto como el Proceso de conversión del material con el trabajo de mano de obra y/o equipo en producto. Ejemplo: la conversión del cemento, arena y agua en mortero: proceso del material por el albañil (proceso de trabajo) y luego convertido en producto (tarrajeo).
- 2.-**Tiempo Auxiliar o Contributorio.** No agrega valor al producto pero contribuye a agregar valor. (Traslado de materiales a batea de albañil).

**3.-Tiempo Improductivo o No Contributorio.** Es pérdida de tiempo y costo (Tiempos de espera, necesidades fisiológicas en plena Producción, etc.).

Basado en lo anterior, el nuevo modelo de producción es una síntesis y generalización de los distintos modelos sugerido en varios campos, como el movimiento de JIT y el movimiento de calidad. Por lo tanto se intentó desarrollar un modelo cubriendo importantes características de la producción, especialmente los que faltan en el modelo de conversión.

El nuevo modelo de producción puede ser definido como sigue<sup>4</sup>: “la producción es un flujo de material y/o información de la materia prima hasta el producto final (Figura 9). En este flujo, el material es procesado (convertido), es inspeccionado, espera o se está moviendo. Estas actividades son inherentemente diferentes. Procesamiento representa el aspecto de la conversión de la producción; inspeccionar, mover y esperando representan el aspecto del flujo de producción. Los procesos de flujo pueden caracterizarse por el tiempo, costo y valor. Valor se refiere al cumplimiento de los requisitos del cliente. En la mayoría de los casos, sólo las actividades de procesamiento son valor agregado de las actividades. Para los flujos de materiales, las actividades de procesamiento son alteraciones de forma, montaje y desmontaje”.

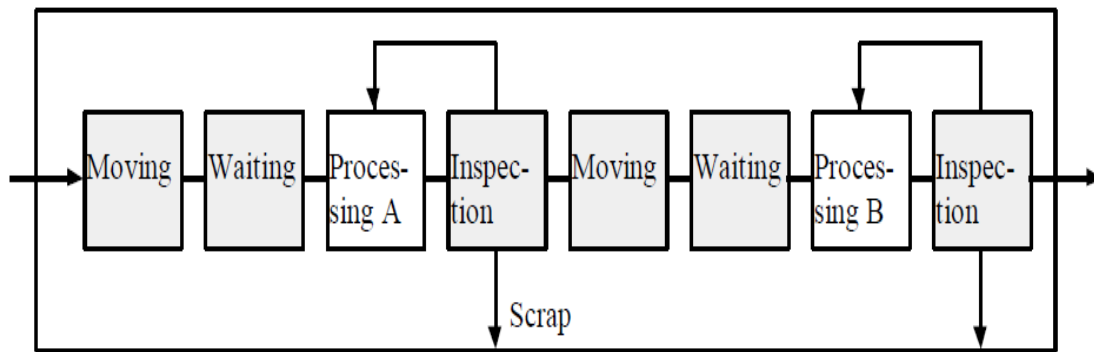


Figura 9: Modelo de conversión como Transformación – Flujo - Valor (TFV)

En esencia, el nuevo modelo implica una visión dual de la producción: consiste en las conversiones y flujos. La eficiencia global de la producción es atribuible a ambos; tanto a la eficiencia (nivel de habilidad, motivación, tecnología, etc.) de las actividades de conversión que se llevan a cabo, así como a la cantidad y eficiencia de las actividades de flujo a través del cual las actividades de conversión son enlazadas entre sí y se consigue la satisfacción del cliente.

## **2.4.2 FILOSOFÍA: LOS 11 PRINCIPIOS DE LEAN CONSTRUCTION**

Lean Construction define 11 principios básicos en el diseño de procesos, flujo y mejora con el objetivo de lograr su correcta implementación:

### **1. Reducir la parte de las actividades que no agregan valor.**

Son actividades que consumen tiempo, recurso o espacio y generan pérdidas. Pueden ser causadas por:

<sup>4</sup> “Application of the new production philosophy to construction”. Lauri Koskela 1992.

- Diseño: En organizaciones jerárquicas; cada vez que una tarea es subdividida en dos subtareas ejecutadas por diferentes especialistas o cuadrillas, las actividades que no añaden valor se incrementan; inspección, movimiento y espera.
- Ignorancia: Muchos procesos no han sido diseñados ordenadamente sino adecuado a su forma presente. La cantidad de actividades generadas que no añaden valor no es medida y por tanto es imposible controlarlas.
- Naturaleza inherente de la Producción: El trabajo en proceso tiene que ser movido de una conversión a otra, aparecen los defectos y ocurren accidentes.

## **2. Incrementar el valor del producto a través de la consideración de las necesidades del cliente.**

El valor es generado a través de la satisfacción de los requerimientos del cliente, no como un mérito inherente de la conversión. Para cada actividad hay dos tipos de clientes:

- El cliente Interno: Para las siguientes actividades (el cliente de la actividad colocación fierro columna es el encofrado de dicha columna y de esta el cliente es el concreto)
- El cliente final (columna de concreto armado tarrajado y pintado que cumple las normas de calidad y a satisfacción del cliente o usuario final).

## **3. Reducir la variabilidad.**

Los procesos productivos son variables. Hay diferencia en cualquier par de ítems a pesar de que sean el mismo producto y los recursos empleados para producirlos (tiempo, materia prima, mano de obra).

Las razones para reducir la variabilidad:

- Desde el punto de vista del cliente un producto uniforme es mejor.
- La variabilidad de la duración de la actividad incrementa el volumen de actividades (aumento del ciclo del proceso) que no agregan valor.

## **4. Reducir el tiempo de los ciclos.**

El tiempo es más usado y universal que el costo y la calidad porque puede ser usado para conducir mejoras en ambos. El flujo productivo se caracteriza por su tiempo o duración del ciclo (ciclo es el tiempo requerido por una pieza particular de material para recorrer el flujo).

Tiempo de ciclo = Tiempo de proceso + tiempo de inspección + tiempo de espera + tiempo de movimiento o transporte.

Por tanto la mejora de la nueva filosofía es comprimir el tiempo del ciclo (reducción de las duraciones de cada sumando de la fórmula anterior).

Beneficios de la reducción del tiempo:

- Entrega más rápida al cliente.
- Reduce la necesidad de pronósticos acerca de la futura demanda.
- Disminución de interrupciones en la producción debido a cambios de órdenes de trabajo.
- Se facilita la gestión porque hay menos órdenes de clientes a las cuales hacerles seguimiento.

ENFOQUES PRÁCTICOS EN LA REDUCCIÓN DEL TIEMPO:

- Eliminación del trabajo en progreso (esta meta original del JIT reduce el tiempo de espera y por lo tanto el tiempo del ciclo de trabajo).
- Reducción de los tamaños de lote.
- Cambios en la distribución de la planta (Layout plant) de tal manera que las distancias de transporte se minimicen.
- Mantener las cosas en movimiento, suavizando y sincronizando los flujos.
- Cambiar las actividades de un orden secuencial a actividades en paralelo.
- Aislar la secuencia principal de creación de valor del trabajo contributorio.
- En general, resolviendo los problemas de control y las restricciones que impiden un flujo veloz.

**5. Simplificar mediante la reducción del número de pasos, partes y relaciones.**

Simplificar implica:

- 1.-Reducir el número de componentes de un producto.
- 2.-Reducir el número de pasos en un flujo de material o información.

La simplificación puede realizarse:

- Eliminando las actividades que no añaden valor del flujo productivo.
- Reconfigurando partes o pasos que no añaden valor. La división vertical u horizontal del trabajo siempre trae actividades que no añaden valor, las cuales pueden ser eliminadas a través de unidades auto sostenidas (multifuncionales y equipos autónomos).

Enfoques prácticos de simplificación

- a) Acortamiento de los flujos consolidando actividades.
- b) Reducción de los componentes del producto a través de cambios en el diseño o partes prefabricadas.
- c) Estandarizando partes, materiales, herramientas, etc.
- d) Desacoplando eslabonamientos.
- e) Minimizando la cantidad de información de control necesitada.

## **6. Incrementar la flexibilidad de las salidas (producto terminado).**

Flexibilidad de la salida del producto no se contrapone a Simplificación. Uno de los elementos claves es el diseño de productos modulares en conexión con un uso agresivo de otros principios como la reducción del tiempo del ciclo de trabajo y la transparencia.

### ENFOQUES PRÁCTICOS PARA INCREMENTAR LA FLEXIBILIDAD

- a) Minimizar los tamaños de lote para atender muy cercanamente la demanda.
- b) Reducir la dificultad de los arranques y cambios de productos.
- c) Personalizar el producto al final del proceso.
- d) Entrenar a trabajadores multi-habilidosos.

## **7. Incrementar la transparencia de los procesos.**

La falta de transparencia de los procesos incrementa la propensión a errar, reduce la visibilidad de los errores y disminuye la motivación para la mejora.

### OBJETIVO

Hacer el proceso productivo transparente y observable para facilitar el control y la mejora; es decir el flujo principal de las operaciones debe ser visible desde el inicio hasta el fin a todos los trabajadores del Proyecto. Esto se puede lograr haciendo el proceso directamente observable a través de medios organizacionales o físicos, mediciones y con la publicación de información pertinente.

### ENFOQUES PRÁCTICOS

- a) Hacer el proceso directamente observable a través de un apropiado Layout o señalización.
- b) Evidenciar atributos invisibles del proceso solo observable a través de mediciones.
- c) Incorporar el proceso de información en las áreas de trabajo, herramientas, contenedores, materiales y sistemas de información.
- d) Usar controles visuales para permitir a cualquier persona reconocer inmediatamente estándares y desviaciones de ellos.
- e) Reducir la interdependencia de las unidades de producción (fábricas enfocadas).
- f) Establecimiento de un ordenamiento y limpieza básicos para eliminar lo inservible (Método japonés de las 5S<sup>5</sup>) para mejorar el ambiente de trabajo y fomentar la disciplina en el trabajo, propiciando confianza entre los empleados para realizar la mejora continua: 1S=SEIRI (Arreglo apropiado del lugar de trabajo separando las cosas no necesarias y deshaciéndose de ellas). 2S=SEITON (Orden: un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar). 3S=SEISO (Limpiar su área de trabajo completamente). 4S=SEIKETSU (Mantener y conservar las 3S anteriores). 5S=SHITSUKE (Disciplina: hacer un hábito de mantener los procedimientos establecidos).

---

<sup>5</sup> (Imai, 1996, pp. 15-35; 1998), también denominado de las 5 C o "housekeeping".

Las 5S están relacionados al Justo a Tiempo (JAT o JIT), Control Total de la Calidad (CTC o TQC) y Mantenimiento Productivo Total (MPT o TPM).

**8. Focalizar el control en los procesos globales o completos.**

Hay dos causas para un control de flujo segmentado:

- 1.-El flujo atraviesa diferentes unidades en una organización jerárquica.
- 2.-El flujo cruza a través de una frontera organizacional. En ambos casos hay riesgo de suboptimización.

**REQUISITOS PARA ENFOCAR EL CONTROL EN TODO EL PROCESO**

- a) El Proceso completo debe ser medido.
- b) Debe haber una autoridad responsable para todo el proceso.

**9. Introducir la mejora continua en los procesos.**

Es el esfuerzo para reducir los desperdicios e incrementar el valor del producto a través de una actividad interna y creciente, repetitiva, que puede y debe ser llevado continuamente.

**MÉTODOS PARA EL MEJORAMIENTO CONTINUO DEL PROCESO.**

- a) Mejoramiento de la medición y el monitoreo.
- b) Establecimiento de metas extendidas (Por ejemplo: Eliminación de inventarios o reducción de tiempo del ciclo) mediante los cuales se descubren los problemas y se estimulan sus soluciones.
- c) Cada unidad organizacional debería ser requerida y recompensada.
- d) Utilización de procedimientos estándares como hipótesis de la mejor práctica, para ser desafiado constantemente por otros mejores.
- e) Vinculación del mejoramiento con el control: el mejoramiento debe estar apuntando a las actuales limitantes de control y a los problemas del proceso. La meta es eliminar la raíz de los problemas más que hacerle frente a sus efectos.

**10. Mantener el equilibrio entre mejoras en los flujos y en las conversiones.**

Se aprecia que mayor complejidad del proceso de producción, mayor es el impacto del mejoramiento del flujo, y a mayor desperdicio inherente a los procesos de producción, mayor es el provecho en la mejora del flujo en comparación a la mejora de conversión.

En la construcción donde el flujo de los procesos ha sido casi siempre olvidado, el potencial para el mejoramiento del flujo es mayor que el mejoramiento de la conversión.

El punto crucial es que el mejoramiento del flujo y la conversión estén íntimamente relacionados.

-Los mejores flujos requieren menor capacidad de conversión y por lo tanto menor inversión de equipamiento.

-Mayores flujos controlados hacen más fácil la implementación de nuevas tecnologías de conversión.

-Nuevas tecnologías de conversión podrían ocasionar variabilidades más pequeñas, y así flujos más beneficiosos.

-Es prioritario buscar el mejoramiento de los flujos de los procesos antes que invertir en nuevas tecnologías de conversión.

Se debe perfeccionar procesos existentes antes que a su máximo potencial antes que diseñar otras nuevas. Posteriormente invertir en tecnologías para el mejoramiento o rediseño del flujo.

### **11. Hacer benchmarking.**

El Benchmark en topografía es un punto o nivel de referencia que permite determinar a partir de él otros niveles del terreno. Consiste en realizar continuamente un proceso de comparación de la manera en que se desenvuelve la Empresa en general y el Proyecto específico. Fue desarrollado por la Xerox a inicios de la década de 1980.

#### **ETAPAS**

Selección del problema a estudiar.

- a) Creación de un equipo de trabajo que tenga conocimiento del proceso, evaluando las fortalezas y debilidades de los subprocesos.
- b) Elección de la empresa (externo) o Proyecto (interno) con la que ha de compararse; es decir conocimiento de los líderes o competidores de la industria, descubriendo, comprendiendo y comparando las mejores prácticas.
- c) Recogida y análisis de la información incorporando lo mejor, copiando, modificando o incorporando las mejores prácticas en sus propios subprocesos.
- d) Acción de mejoramiento en la Empresa o el Proyecto ganando superioridad a través de la combinación de las fortalezas existentes y las mejores prácticas externas.

Existen 4 tipos de Benchmarking:

**1.-Interno:** Con otras áreas al interior de la empresa; con Proyecto similar de mejores indicadores (índice de Productividad, índice de rendimiento, etc.).

**2.-Competitivo:** (Externo)

**3.-En operaciones de categoría mundial.**

**4.-Por actividad-tipo.** La competitividad de la empresa debe ser resultado de sus puntos fuertes (FORTALEZAS) con buenas prácticas observadas (externas) en otras empresas o

sectores y buscando las OPORTUNIDADES externas, minimizando sus DEBILIDADES y atento a las AMENAZAS externas (es decir debe realizar análisis FODA).

### 2.4.3 FILOSOFÍA: DESPERDICIOS

El objetivo principal de la filosofía Lean Construction es la reducción de los 7 tipos de desperdicios:

- B. **Sobreproducción:** Producir sin que exista orden directa de producción; esto es producir un producto antes de que el consumidor lo requiera o más de lo que cliente requiere, lo cual provoca almacenamiento e incremento de inventario, así como el costo de mantenerlo.
- C. **Espera:** Tiempo durante un proceso que no agrega Valor. Los operadores esperan observando las máquinas trabajar o esperan por herramientas, materiales, etc. Es aceptable que la máquina o el material espere al operador, pero es inaceptable que el operador tenga que esperar a la máquina o al material. Incluye las esperas de material, información, máquinas, herramientas, cuellos de botella, etc.
- D. **Transporte innecesario:** El movimiento innecesario de materiales durante la producción. Incluye ubicar cosas en lugares temporales.
- E. **Sobre-procesamiento o procesamiento incorrecto:** Es el mayor trabajo del necesario a un producto o servicio que no es parte del proceso óptimo y que el cliente no está dispuesto a pagar. Los procesos innecesarios agregan costos en lugar de valor al producto.
- F. **Inventarios:** El exceso de materia prima, inventario en proceso o productos terminados causan largos tiempos de entrega, obsolescencia de productos, productos dañados, costos por transporte, almacenamiento y retrasos. También el inventario oculta problemas tales como producción desnivelada, entregas retrasadas de los proveedores, defectos, tiempos caídos de equipos y largos tiempos de *set-up*. Al mismo tiempo se necesita personal para cuidarlo, controlarlo y entregarlo cuando sea necesario.
- G. **Movimiento innecesario:** Cualquier movimiento que no es necesario para completar de manera adecuada una operación o actividad, tales como mirar, buscar, acumular materiales, herramientas, etc. Caminar en exceso también puede ser un desperdicio.
- H. **Defectos o Trabajos Re-hechos:** Mala de producción genera productos defectuosos. Reparaciones, retrabajos, reemplazos en la producción e inspección significan manejos, tiempo y esfuerzo desperdiciado para atender las quejas de los clientes.

### 2.4.4 TECNOLOGÍA: METODOLOGÍAS

Existe una gran cantidad de metodologías compatibles y utilizadas por Lean Construction. El siguiente representa un esfuerzo por recopilar las más reconocidas, mas no significa que sean todas las existentes:

- a) **Planeamiento:** estratégico o a largo plazo y donde se definen las políticas y objetivos, táctico (donde se establecen las herramientas de planificación a utilizar) y operativo (a

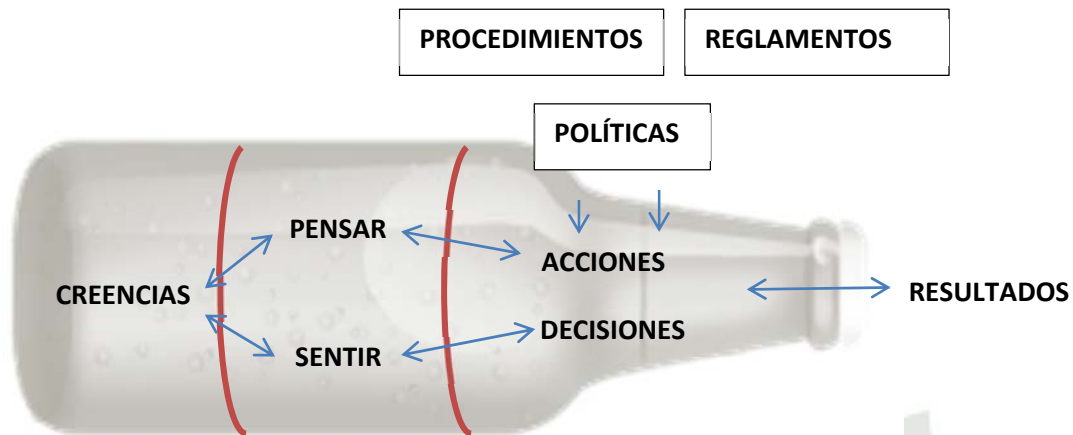
- nivel de Gerente de Proyecto asignado a una obra utilizando técnicas como la Estructura de Descomposición del Trabajo).
- b) **Sistema Jalar (Pull):** Sistema de Producción que significa que nadie debe producir un producto o servicio hasta que el cliente lo requiera. Se jala la producción desde las estaciones subsecuentes. No genera inventarios. La estación previa no puede iniciar sin que antes la estación siguiente esté lista.
  - c) **Sectorización:** Consiste en dividir una tarea o actividad en áreas o sectores, con un metrado aproximadamente igual y basándose en un análisis de las restricciones generales.
  - d) **Trenes de Trabajo:** Es un método de programación sustentado en el hecho de lograr producciones similares para cada día en cada una de las cuadrillas. Una cuadrilla puede realizar, en la práctica, tres operaciones con la finalidad de disminuir los tiempos muertos. Todas las actividades de la programación se vuelven altamente críticas y la producción es lineal.
  - e) **Lotes de Transferencia:** El lote de producción (LP) es la cantidad total de productos terminados por una actividad en un sector y que serán pasados en total a una siguiente actividad. Entonces, el lote de transferencia (LT) será la cantidad de productos que se va pasando de una actividad a la siguiente en una etapa. Tradicionalmente se ha trabajado con un lote de transferencia igual al lote de producción, lo que significaría que una actividad pasará todos sus productos cuando haya terminado todos ellos. Sin embargo, mientras menor sea el lote de transferencia, mayor será el ahorro del tiempo. Se entiende, entonces, que lo ideal es que una cuadrilla que realiza una actividad vaya entregando sus productos apenas los termine a una siguiente cuadrilla. Así, la segunda cuadrilla podrá iniciar su trabajo antes con este producto logrando un ahorro de tiempo gracias a este traslape.
  - f) **Justo a Tiempo (JAT)** (Just in Time, JIT) o política de Inventario Cero: Ideado por la Toyota alrededor de 1950. Nace como una herramienta y luego se transforma en un método de producción. Pudo implementarse cuando la Toyota estableció una política de cooperación con sus proveedores, para lo cual pasó a dirigir parte de esas empresas con lo cual redujo los niveles de su inventario, el tamaño de los lotes de producción, optimizar el layout de la fábrica y reducir los tiempos de preparación para los procesos. El uso de esta técnica dejó ver una serie de actividades que no agregaban valor al producto y que se denominaron bajo el término común de pérdida. Aplicado a la construcción significa que debemos tener los materiales e insumos para las actividades que se desarrollan en justo en el momento en que se necesitan. Excepción para el caso de compra de ascensor, que en muchos casos demora un año para su fabricación y puesta en obra, así como la fabricación de vidrios templados, turbinas, generadores, etc., que se fabrican a pedido.
  - g) **Mejoramiento Continuo (Kaizen):** Es una estrategia o metodología de calidad en la empresa y en el trabajo, tanto individual como colectivo que significa que siempre es posible hacer mejor las cosas. **“¡Hoy mejor que ayer, mañana mejor que hoy!”**.
  - h) **Poka Yoke:** Conocida como la metodología **“a prueba de errores”**. El objetivo principal de Poka Yoke es lograr “cero defectos”. El énfasis de este sistema es ir a la causa raíz del defecto o sea ir al origen de la fuente donde y cuando ocurre el defecto, evitando la necesidad de un proceso de control estadístico. La base es conocer el proceso, entender el problema y buscar la solución más sencilla, fundamentada en lógica simple al más bajo costo posible. Los mecanismos Poka Yoke deben contar con las siguientes características:

- de fácil uso para cualquier persona, simples de instalar, muy económicos y de inmediata retroalimentación.
- i) **5 S's:** Es una práctica de Calidad ideada en Japón referida al “Mantenimiento Integral” de la empresa, no sólo de maquinaria, equipo e infraestructura sino del mantenimiento del entorno de trabajo por parte de todos. *Seiri (Clasificación y Descarte), Seiton (Organización), Seiso (Limpieza), Seiketsu (Higiene y Visualización) y Shitsuke (Disciplina y Compromiso).*
  - j) **Administración de la Calidad Total** (Total quality Management) TQM. Aplicando las herramientas de la Calidad total, entre ellos los diagramas causa- efecto de Kaoru Ishikawa, diagramas de Pareto (Muchos triviales, pocos vitales) para detectar estadísticamente las fallas importantes del proceso. Los japoneses manifiestan que las fallas no son del personal o equipo, sino del sistema y específicamente el proceso.
  - k) **Tiempos basados en la Competencia:** es decir benchmarking interno y externo.
  - l) **Ingeniería concurrente (Concurrent engineering).** Significa el concurso de equipo de profesionales multidisciplinarios para resolver problemas específicos de diseño y construcción
  - m) **Rediseño de procesos o reingeniería (Process redesign o reengineering).** Es decir innovación tecnológica en busca de la excelencia
  - n) **Administración basado en el Valor (Value based management).** Se debe dar al producto (la obra) valores agregados, que no signifiquen mayores costos.
  - o) **Mantenimiento Productividad Total (Total productive maintenance, TPM).** Control y mejoramiento continuo de la Productividad.
  - p) **Administración visual (Visual management):** Fábrica Visual, Administración Visual o Gestión Visual, es una herramienta que permite transmitir información a través de controles o dispositivos visuales (cartelería, colores, formas, luces, etc.)
  - q) **Compromiso del personal.** (Employee involvement) Desarrollar políticas de Empowerment (Empoderamiento); es decir que ciertas decisiones pueden ser asumidas por personal de menor jerarquía.
  - r) **Ingeniería simultánea;** es decir sistema fast track. donde la Ingeniería, la procura (logística especializada) y la construcción se realizan simultáneamente, con los lógicos desfases.
  - s) **Outsourcing:** Política clara de subcontratos.
  - t) **Seguridad Total de las Obras:** a través de charlas de inducción y posteriormente charlas diarias de 5 a 10 minutos antes de empezar las tareas.
  - u) **Programación basada en los flujos y conversiones:** empleando las redes operacionales o flujogramas y los métodos heurísticos como el ritmo constante, método de las cadenas o método ruso; método de los trenes de trabajo o método ferrocarril o chamín de fer, donde las tareas no tienen holgura.
  - v) **Control:** basado en la curvas S y la teoría del Valor Ganado o Costo Presupuestado del Trabajo Realizado (CPTR)
  - w) **Constructabilidad:** “El uso óptimo del conocimiento y experiencia de construcción en el planeamiento, adquisiciones y manejo de operaciones de construcción”. El objetivo es construcción con eficiencia (optimización e innovación de los procesos, logrando una reducción del tiempo de respuesta de las transacciones) y eficacia (optimización e innovación del producto: la obra, logrando satisfacción en el cliente). La suma de la eficiencia y la eficacia se denomina efectividad empresarial.

- x) **Building Information Modeling:** nueva tecnología que permite mejorar la productividad, competitividad, servicio y mejora del producto final de una empresa. Consiste básicamente en crear un modelo en 3 dimensiones con todas las especialidades: arquitectura, estructuras, instalaciones eléctricas, mecánicas, sanitarias, etc. para tener una base de datos gráfica en un solo modelo. Incluso pueden incluir las labores de operación y mantenimiento. De esta manera solucionamos algunos problemas clásicos de la construcción: metrados inmediatos, resolución de problemas antes de iniciar la obra, y visualización del proceso constructivo para programar adecuadamente. Los antiguos planos en 2D desaparecen y ahora se usan los modelos 3D.
- y) **Contratos IPD (Integrated Project Delivery):** es una nueva forma de realizar los contratos entre los clientes y los contratistas en la que básicamente, hay una cláusula de “Prohibido demandarse”, en caso de problemas durante la ejecución de los proyectos, de tal manera que la única alternativa es solucionar los problemas y no buscar responsables evadiendo la culpa. El objetivo es involucrar a todos los agentes que van a participar en la construcción desde el inicio, en la etapa de proyecto.
- z) **BIM + (Building Information Modeling +):** es una variante de la tecnología BIM diferenciada porque en que esta tecnología se incluyen encofrados, tiempos, cálculo estructural. Básicamente es un modelo 4D. El 3D que conocemos más el tiempo.
- aa) **VCD (Virtual Design and Construction):** que es la mezcla de la tecnología BIM, ICE y la gestión de proyectos, todos unidos para alcanzar los objetivos del proyecto.
- bb) **DDC (Digital Design and Construction):** utiliza la realidad virtual generando modelos digitales de una calidad incomparable, con muchísimo parecido a la realidad. Ahora los modelos digitales son documentos del contrato, ya no solo los planos.
- cc) **Value Stream Mapping (Mapeo de Procesos):** Es una herramienta cualitativa que describe a detalle cómo debe operar un proceso o una empresa para crear valor.
- dd) **Target Value Design:** Diseñar en forma colaborativa para alcanzar los costos y el valor requerido impuestos por el mercado. Para ello es importante contar con el constructor desde la etapa de diseño aún sin contar con un proyecto terminado.
- ee) **Best Value Selection:** Es una forma de seleccionar a un contratista basándose en sus cualidades para generar valor. Por ejemplo basándose en sus políticas de trabajo, conocimiento de Lean Construction, estudio de su personal, etc. para ayudar a seleccionarlo sin si quiera tener el proyecto terminado y sea partícipe del trabajo multidisciplinario en búsqueda de la mayor Constructabilidad.
- ff) **Colaboración Extrema (XC):** Es una forma de trabajar basada en la NASA, quienes crearon el “Team X” con la finalidad de mejorar los plazos y la calidad de las propuestas de misiones espaciales. En la construcción se busca una colaboración Extrema en el diseño de Proyectos de Ingeniería y Construcción. Para esto se requiere de software de primer nivel y un equipo reunido en un lugar físico con una base de datos necesaria para trabajar en sesiones semanales, buenos equipos de trabajo por especialidad y el uso de redes de comunicación son los factores de relevancia para el buen desempeño.
- gg) **Last Planner:** Conocido como el “Caballito de batalla de Lean Construction”, es obra de la investigación de Glenn Ballard y Greg Howell y será estudiada con detenimiento en el siguiente capítulo.

## 2.4.5 CULTURA: CARACTERÍSTICAS

Para definir la cultura Lean, primero se deben definir a las personas, una forma muy interesante de definir a la persona es mediante la botella personal<sup>6</sup>:



Las personas buscan alcanzar RESULTADOS, y para ello se toman ACCIONES y DECISIONES, que vienen de la forma de PENSAR y SENTIR de cada uno: dos personas pueden buscar los mismos resultados pero pueden hacerlo diferente porque piensan y sienten distinto. La forma de pensar y sentir viene de lo que está en el fondo de la botella: las CREENCIAS.

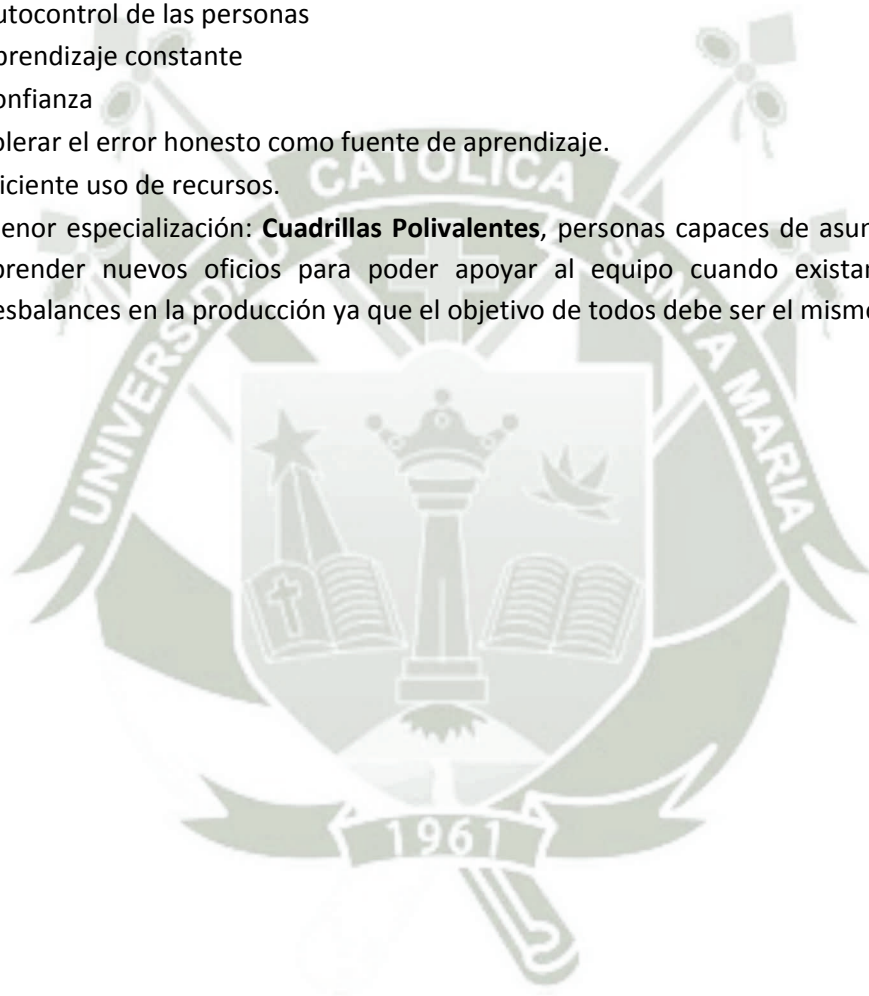
Lean tiene que ver con un sistema de creencias diferente, y para garantizar que funcione se debe trabajar en lo que está en el fondo de la botella: las creencias de las personas. De lo contrario no se podrá garantizar el correcto funcionamiento del sistema, es necesario que las personas creen en la nueva forma de hacer las cosas, en que cada compromiso es infalible porque perjudica a todos, pensar basados en el “win-win” o “ganar-ganar” donde tanto trabajadores, clientes, proveedores, contratistas, personal técnico, etc. ganen. Todos pueden ganar si se hacen las cosas bien.

Entonces se definen algunas características culturales de la Filosofía Lean Construction que sin lugar a dudas son lo más difícil de implementar porque se trata de cambiar las creencias internas y arraigadas de las personas para promover valores personales y colectivos de trabajo y compromiso. Cambiar la cultura tradicional de control vigilante, confianza en los contratos y controles mas no en las personas, actitud defensiva, miedo al error, baja autoestima, individualización, colaboración esporádica y baja flexibilidad por:

- Planeamientos hechos realmente en equipo.
- Comunicación y coordinación muy ágil.
- Confianza en las promesas de las personas.
- Horizontalidad, sin tanta importancia en la jerarquía.

<sup>6</sup> Ing. Jorge Luis Izquierdo. Seminario Internacional Lean Project Management. Lima, Noviembre de 2013

- Objetivos alineados entre todos los actores.
- Decisiones descentralizadas.
- Control preventivo.
- Mayor visión del todo
- Trabajo en equipo.
- Liderazgo.
- Franqueza
- Honestidad
- Ambiente Colaborativo
- Respeto
- Buscar el logro del equipo antes que el individual.
- Autocontrol de las personas
- Aprendizaje constante
- Confianza
- Tolerar el error honesto como fuente de aprendizaje.
- Eficiente uso de recursos.
- Menor especialización: **Cuadrillas Polivalentes**, personas capaces de asumir el reto y aprender nuevos oficios para poder apoyar al equipo cuando existan atrasos o desbalances en la producción ya que el objetivo de todos debe ser el mismo.





## CAPÍTULO 3: LAST PLANNER SYSTEM<sup>®</sup>

### **3.1 INTRODUCCIÓN**

El modelo de conversión usado por Lean, de Generación de Valor (TFV) se basa en flujos y procesos de conversión. Lean Construction busca que los sistemas de producción sean efectivos y eficientes para garantizar la mejora en la productividad.

La productividad se define como la eficiencia en el consumo de recursos cuando se realiza un trabajo, cuyo control requiere comparar si los recursos consumidos realmente son mayores/menores a los previstos según el presupuesto. Existen varias formas de medir la productividad, una forma sencilla es a través de ratios. Así, un ratio es la relación entre los recursos consumidos y el trabajo realizado; se debe medir la mano de obra, los equipos y hasta los materiales utilizando algún tipo de informe de productividad IP (Capítulo 5), para de este modo controlar el buen uso de la mano de obra y equipos, tomar decisiones oportunas, realizar proyecciones a fin de obra y finalmente recopilar información para proyectos futuros.

Los ratios de Mano de Obra (utilizados en esta investigación) miden la eficiencia de una cuadrilla o equipo de trabajadores en el consumo de recursos al ejecutar sus labores. 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, horas hombre consumidas por kilogramo de acero, metros cuadrados de encofrado o metros cúbicos de concreto.

Existen tres aspectos fundamentales a considerar para tener sistemas de producción efectivos, eficientes y por consiguiente productivos:

#### **1) Asegurar que los flujos no paren**

En primer lugar, se debe asegurar que los flujos no paren. Usualmente, la continuidad en los trabajos de construcción se ve interrumpida debido a situaciones como falta de recursos, cambios de diseño, falta de información, trabajos que son necesarios rehacer, etc. Esto genera pérdidas en el flujo de las actividades, lo cual se traslada en menor productividad y atrasos. Para evitar estas pérdidas, es necesario conseguir mayor confiabilidad en el sistema aunque no sea algo sencillo. La construcción es una industria compleja y con alto grado de incertidumbre, ambos factores están presentes en todo momento, los cuales se tienen que aceptar como una realidad.

La Filosofía Lean Construction propone dos tipos de acciones importantes para asegurar que los flujos no se detengan: el manejo de la variabilidad y el control a través del **Sistema de Last Planner**. La variabilidad se refiere a situaciones inesperadas que no son posibles de controlar ni conocer el momento exacto de su ocurrencia, como por ejemplo las lluvias, huelgas, problemas con la población, etc. Lo que se sugiere es planificar desde un inicio diversas estrategias para mitigar o reducir su impacto. El no tomarlas en cuenta supone un riesgo para el proyecto, y la probabilidad de que el impacto sea mayor.

Por otro lado, a través del Sistema de Last Planner se logra asegurar que lo planificado se ejecute con mayor probabilidad de éxito. Para ello, se analiza la programación con mayor detalle para un horizonte de tiempo a mediano y corto plazo, verificando que todo aquello que no permite continuar con las actividades sea levantado de manera oportuna, y controlando el porcentaje del plan que se cumple semana a semana. De esta manera, se logra mayor

confiabilidad al analizar los resultados e ir mejorando de manera continua a través de la revisión de las causas de incumplimiento con el plan y la toma de decisiones para su corrección inmediata.

Tanto el manejo de variabilidad como el uso del Sistema Last Planner son acciones complementarias. La importancia que tome cada una de ellas en un proyecto dependerá de la naturaleza del mismo. Habrán obras donde la variabilidad juegue un rol más importante y deberá analizarse con mayor detalle, como es el caso de obras electromecánicas o de carreteras en ubicaciones como la selva. En el caso de las edificaciones en zonas urbanas, la utilización del Last Planner podrá ser más relevante pues la variabilidad, aunque siempre está presente, es mucho menor.

## **2) Lograr Flujos Eficientes**

En segundo lugar, es necesario contar con flujos eficientes, procurando que el trabajo pueda dividirse equitativamente. Se trata de mantener un sistema donde la producción diaria sea la misma de manera repetitiva, y así lograr balancear los recursos adecuadamente, sobretodo la mano de obra y equipos. El análisis se inicia con la división del trabajo o sectorización, tal vez ésta sea la parte más complicada de esta etapa, pues es necesario encontrar cantidades de trabajo similares para las actividades en estudio, e identificar cuáles serían las áreas físicas correspondientes. El ejercicio continúa con la determinación de la secuencia de actividades y la asignación de los recursos, para cada sector y en cada actividad. Se debe buscar diferentes alternativas e iterar hasta encontrar la mejor opción, la mejor eficiencia en los flujos.

## **3) Lograr Procesos Eficientes.**

El último esfuerzo para conseguir sistemas efectivos, es lograr procesos eficientes, es decir lograr producir cada unidad de trabajo con la menor cantidad de recursos posible. Lean Construction propone realizar las siguientes acciones: First Run Studies, y algunas técnicas de muestreo como cartas balance, medición del nivel general de actividad, prueba de los 5 minutos, etc.

El First Run Study o Análisis de Primera Ejecución, es el estudio y obtención de los ratios de producción reales que se van tener en el proyecto en ejecución, con el personal real de la obra. Usualmente se realiza al inicio del proyecto, y permite analizar de forma detallada el proceso de construcción. Posibilita entender mejor el proceso y verificar si se ha considerado todo lo necesario para iniciar la actividad, así como contar con un ratio de producción más confiable y cercano a la realidad del proyecto en ejecución, con lo cual las proyecciones o estimaciones en la programación se realizarán con mayor certeza.

A través de la técnica del muestreo, es factible optimizar el trabajo productivo realizado en un proceso, es decir aumentar el trabajo que aporta directamente a la producción. Al analizar los resultados, se pueden reducir actividades como tiempos de espera, traslados, interferencias entre actividades y en general el uso inadecuado de los recursos, tanto de la mano de obra como de los equipos.

Para lograr contar un sistema de producción confiable, que permita mejorar la productividad en la obra y cumplir con el plazo, es necesario concentrarse con mayor empeño en los períodos de planificación y ejecución. No es una metodología compleja de entender, pero no es sencilla de ejecutar, es por ello que se propone realizar el cambio de manera gradual, de acuerdo a la prioridad indicada. Una vez que se logre el objetivo de la primera, valdrá la pena continuar con la siguiente fase o etapa. Todo cambio requiere un liderazgo efectivo y decidido por lo que es necesario el apoyo de la dirección y gerencia del proyecto para que pueda llevarse a cabo todo este esfuerzo de manera permanente, así como la colaboración de todos los involucrados en el proyecto.

### **3.2 FILOSOFÍA**

El Last Planner System<sup>®</sup> o traducido al español como Sistema del Último Planificador (SUP) está inspirado en la filosofía de “Lean Production” o “Producción sin Pérdidas”. Fue desarrollado por Glenn Ballard y Greg Howell.

La filosofía de gestión que inspira la producción sin pérdidas afecta a todas las actividades de la empresa, no sólo a la producción; diferencia entre las actividades que agregan valor al producto y las que no lo hacen, e incrementa la eficiencia mediante la mejora continua y la tecnología. No obstante, la construcción se caracteriza por ser un proceso, cuya producción y gestión está basada en proyectos. De este modo, el enfoque “lean” intenta gestionar y mejorar estos procesos constructivos con el mínimo coste y el máximo valor, teniendo en cuenta las necesidades de los clientes; de este modo se pretende minimizar las pérdidas de recursos, esfuerzos y tiempos.

La progresiva implementación de estas ideas ha permitido que muchas de las prácticas “lean” vayan progresivamente trasladándose a lo largo del proceso constructivo, introduciéndose en la viabilidad, diseño, contratación, ejecución de la obra, suministro, subcontratación, etc., y modificando sustancialmente las relaciones entre los diferentes participantes.

De este modo, se ha producido una evolución en el enfoque de la filosofía “Lean Construction”, pasando de la fase de construcción al ciclo de vida completo de la infraestructura, dando origen a lo que se denomina “Lean Project Delivery. El SUP es posiblemente la técnica más divulgada dentro de la filosofía “Lean Construction”; está centrada en la fase de ejecución, concretamente en la obra. Este sistema fue desarrollado en Estados Unidos por miembros del Lean Construction Institute y ha tenido una amplia difusión a nivel mundial. El SUP no es una herramienta que reemplace o compita con los métodos tradicionales de barras y de redes, si no que los complementa y enriquece mejorando la variabilidad y los flujos de trabajo. Este sistema pretende incrementar la confiabilidad de la planificación y, por tanto, incrementar el desempeño en la obra; para ello, el sistema provee herramientas de planificación y control efectivas. El SUP está especialmente diseñado para mejorar el control de la incertidumbre en las obras; esto se consigue aplicando acciones concretas en los diferentes niveles de la planificación.

Tratar de entender por qué se retrasan las obras es la primera parte para entender SUP. La planificación de la obra no considera todas las variables específicas del proyecto, ya que se planifica considerando supuestos con un alto grado de incertidumbre. Algunas variables no

valoradas habitualmente son: la disponibilidad de existencias por parte de los proveedores, la indefinición de diseños y requerimientos, los problemas de disponibilidad de mano de obra, los problemas administrativos o los rendimientos incorrectamente estimados. Esto impide el desarrollo normal de los trabajos y provoca constantes interrupciones, afectando a la productividad de las actividades y al cumplimiento de plazos. Si planificar consiste en determinar lo que “debería” hacerse para completar un proyecto y decidir lo que “se hará” en un cierto período de tiempo, debe reconocerse que debido a restricciones no todo “puede” hacerse, produciéndose retrasos de forma reiterada (figura 10). En la mayoría de las obras lo que “puede” y lo que “se hará” son ambos subconjuntos de lo que “debería” hacerse; si el plan (“se hará”) se desarrolla sin saber lo que “puede” hacerse, el trabajo realmente ejecutado será la intersección de ambos subconjuntos.

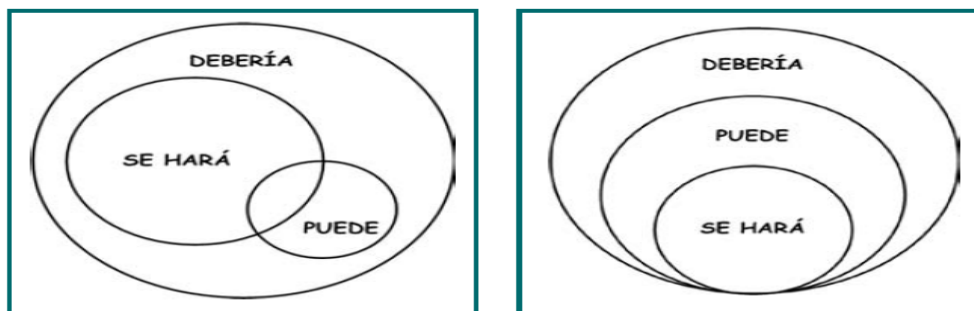


Figura 10: Filosofía de la planificación tradicional vs planificación “Lean”

¿Cómo puede revertirse esta situación? Es fundamental que antes de decidir lo que “se hará” se tenga un conocimiento adecuado de lo que “puede” hacerse. En procesos periódicos de planificación, los gestores y los ejecutores de las actividades deben primero identificar lo que “puede” hacerse y posteriormente acordar lo que “se hará” durante la semana. De esta manera se evita que las actividades se detengan por alguna restricción no liberada. Esta situación ayuda notoriamente a la productividad de las tareas ya que soslaya las molestas detenciones por falta de materiales, mano de obra, etc.

El proceso de planificación debe centrarse principalmente en la gestión del “puede”; mientras más podamos agrandar el “puede”, mayor será la posibilidad real de avance. El avance puede verse afectado si la cantidad de actividades que pueden ejecutarse es baja. Para evitar esto, los planificadores deben concentrar sus esfuerzos en liberar las restricciones que impiden que la tarea pueda iniciarse o continuar.

De esta forma se agranda el conjunto “puede” aumentando las opciones de avance. Es importante que la gestión se haga sobre el problema raíz ya que no se obtiene nada positivo con solicitar mayor rapidez a los ejecutores de las actividades si no se les entregan los recursos a tiempo.

La construcción, por lo tanto, requiere planificación por diferentes personas, en diferentes puestos de la organización, y en momentos diferentes del ciclo de vida de la obra. El SUP define criterios explícitos de asignación que se consideran compromisos de producción anticipados con el fin de proteger a las unidades productivas de la incertidumbre y la variabilidad.

El proceso de aplicación del sistema se realiza de la siguiente forma (figura 11):

- 1) Revisión del Plan General de la Obra (Programa Maestro).
- 2) Elaboración del programa de fase en el caso de proyectos complejos y extensos. Se identifica la fase que se va a desarrollar a continuación y se elabora el programa.
- 3) Elaboración de la planificación intermedia para un horizonte entre uno y tres meses aproximadamente, realizando análisis de restricciones con el fin de eliminar los cuellos de botella, enmarcada dentro del programa maestro.
- 4) Elaboración de la planificación semanal, con la participación de los últimos decisores o planificadores: encargados, capataces, subcontratistas, almacenistas, etc. como parte del inventario de actividades ejecutables obtenido en la planificación intermedia.
- 5) Reuniones de los últimos planificadores para verificar el cumplimiento del plan semanal, detectando las causas de no cumplimiento de lo planificado y estableciendo el plan de la siguiente semana.

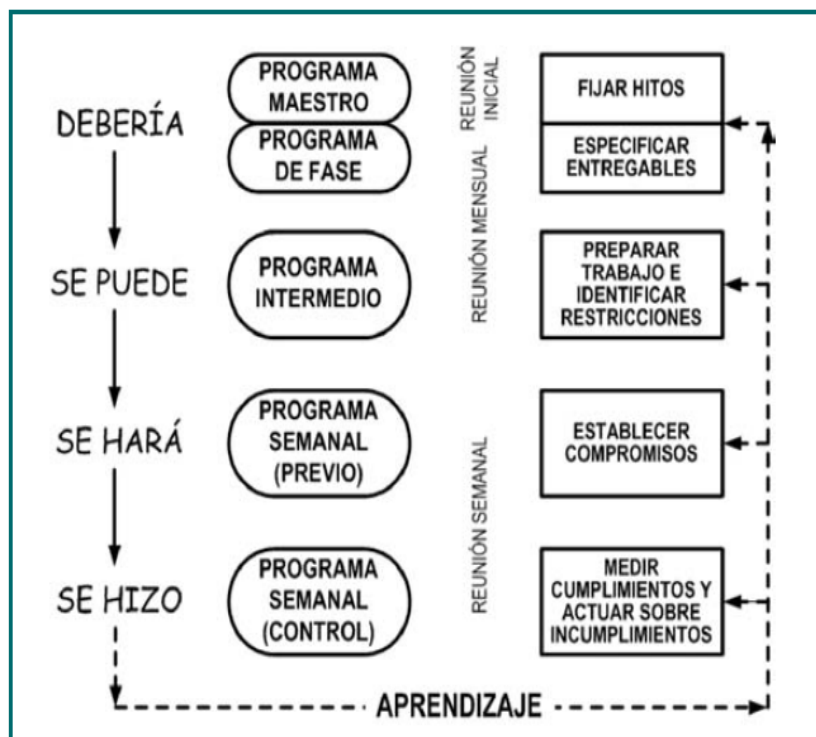


Figura 11: Proceso de planificación Lean

La confiabilidad del plan se mide en términos del Porcentaje del Plan Completado (PPC), al final de cada semana. Las causas de los fallos de cumplimiento también se investigan semanalmente con el fin de evitarlas en el futuro. La confiabilidad de la planificación está directamente relacionada con la productividad.

### 3.3 HERRAMIENTAS

Last Planner proporciona las herramientas necesarias para proteger la planificación de la obra, funciona como un escudo, incrementando notablemente el grado de confiabilidad de los procesos y por consiguiente disminuyendo la duración de los proyectos.

El último planificador es aquella persona que no da órdenes a un nivel inferior, es decir, que es el que lleva las órdenes directamente al campo y consigue que se hagan. Suelen ser los maestros de obra, capataces, ingenieros de producción.

Es imprescindible para el éxito de la planificación el compromiso del Last Planner, pues los datos proporcionados por él y las metas trazadas dependerán en gran parte de su actuación. Si no siente el respaldo ni el compromiso de la gerencia o del ingeniero residente dejará de producir y cumplir como es esperado.

## Enfoque Lean

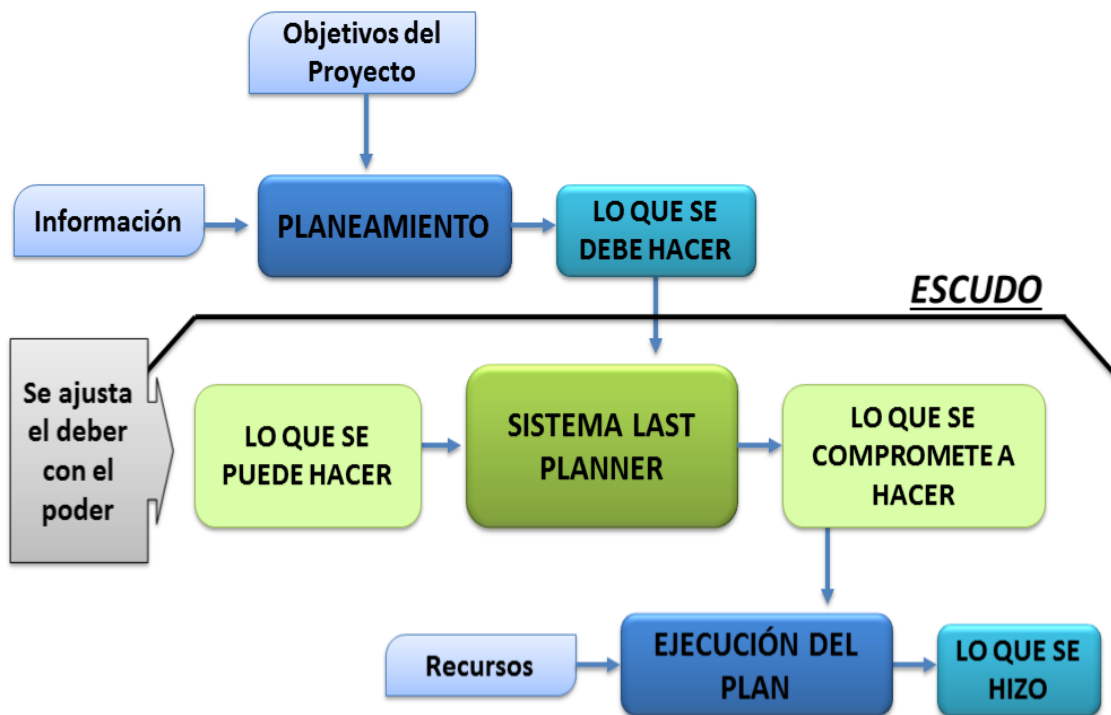


Figura 12: Enfoque Lean en la planificación

### 3.3.1 PROGRAMA MAESTRO (MASTER PLAN)

El programa maestro define las tareas que “deberían” hacerse. El programa maestro incorpora la planificación de todas y cada una de las actividades del proyecto, estableciendo las relaciones en el tiempo y en el espacio entre las diferentes actividades programadas, fijando los hitos exigidos para el cumplimiento de los plazos establecidos y definiendo el alcance y los plazos de las entregas parciales si las hubiese. Se utilizan los Diagramas de Gantt y en el siguiente capítulo se mostrarán los modelos utilizados en el proyecto de investigación.

Para la adecuada elaboración del programa maestro es fundamental identificar a los responsables del cumplimiento de cada parte del programa e incorporar a los proveedores y subcontratistas que intervienen en cada actividad programada. También deben incluirse las relaciones entre los responsables de las tareas y los proveedores-subcontratistas, en qué periodo del programa deben actuar y las posibles interacciones entre los diferentes proveedores y subcontratistas.

| ACTIVIDAD              | MESES |      |         |                   |                   |                   |              |              |
|------------------------|-------|------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|
|                        | OCT.  | NOV. | DIC.    | ENE.              | FEB.              | MAR.              | ABR.         | MAY.         |
| Obras Provisionales    | ♦     |      |         |                   |                   |                   |              |              |
| Movimientos de Tierras |       |      | S2<br>♦ |                   |                   |                   |              |              |
| Calzaduras             |       |      | S2<br>♦ |                   |                   |                   |              |              |
| Cimentación            |       |      | S2<br>♦ |                   |                   |                   |              |              |
| Muro de Contención     |       |      |         | S2 S1<br>♦ ♦      |                   |                   |              |              |
| Columnas y Placas      |       |      |         | S2 S1 1P<br>♦ ♦ ♦ | 2P 3P 4P<br>♦ ♦ ♦ | 5P 6P 7P<br>♦ ♦ ♦ |              |              |
| Vigas y Losas          |       |      |         | S2 S1 1P<br>♦ ♦ ♦ | 2P 3P 4P<br>♦ ♦ ♦ | 5P 6P 7P<br>♦ ♦ ♦ |              |              |
| Tabiquería             |       |      |         |                   | 1P<br>♦           | S2 2P 3P<br>♦ ♦ ♦ | 4P 5P<br>♦ ♦ | 6P 7P<br>♦ ♦ |
| Tarrajeos              |       |      |         |                   |                   | S1 1P 2P<br>♦ ♦ ♦ | 3P 4P<br>♦ ♦ | 5P 6P<br>♦ ♦ |
| Pisos                  |       |      |         |                   | S2<br>♦           |                   | 1P 2P<br>♦ ♦ | 3P 4P<br>♦ ♦ |

Figura 13: Ejemplo de Plan Maestro

Así mismo es fundamental identificar en él a los actores externos de los que depende la ejecución de las actividades programadas. En la identificación de estos actores, entre los que se pueden encontrar diferentes administraciones públicas afectadas indirectamente, empresas de servicios públicos, gestores de infraestructuras, etc., debe hacerse hincapié en la influencia que pueden tener sobre el desarrollo de las actividades programadas y cómo afecta esta influencia a la consecución global del proyecto.

La definición rigurosa de cada una de las actividades que engloban el proyecto, de los responsables de estas actividades, de los proveedores, subcontratistas y actores externos que puedan intervenir en cada actividad y de sus interacciones tanto en el tiempo como en espacio permiten la confección de un programa maestro inicial que refleja más fielmente la realidad del proyecto. Este programa maestro inicial es objeto de revisiones a partir del aprendizaje que da el análisis del cumplimiento de la programación intermedia y de la programación semanal.

### 3.3.2 PROGRAMA DE FASE (PHASE SCHEDULING)

El programa de fase es el segundo nivel de planificación y se hace necesario cuando los proyectos son largos y complejos. El programa maestro puede separarse en fases, con actividades que se exploran como conjuntos de tareas que cubren la duración completa de la actividad y en que cada grupo de trabajo necesita ser realizado en una proximidad espacial y temporal.

El programa de fase no siempre es necesario en proyectos simples o pequeños, pero cumple una función que no debe ser ignorada en proyectos de mayor tamaño. Los programas de fase representan una subdivisión más detallada del programa maestro, preparada por las personas que administran el trabajo en la fase, para apoyar el cumplimiento de los hitos del programa maestro. Desde esa perspectiva presentan una clara oportunidad de lograr compromisos confiables de planificación con la participación de los principales actores de cada fase del proyecto.

### 3.3.3 PROGRAMA INTERMEDIO (LOOKAHEAD PLANNING)

La programación intermedia, denominada normalmente “lookahead”, profundiza en la planificación de las actividades en un plazo intermedio.

Este plazo intermedio es necesario definirlo según las necesidades de cada caso particular, pudiendo variar desde 4-5 semanas hasta 15-16 semanas.

De este modo, el programa intermedio define lo que se “puede” hacer en el periodo de tiempo que abarca.

En el programa intermedio y para el periodo de programación que se adopte, se identifican e incorporan los suministros necesarios para el desarrollo de las actividades y los responsables de ellas. Se programan las tareas de flujo necesarias para avanzar en el desarrollo de la planificación maestra tales como inspecciones, pruebas y ensayos, intervenciones de agentes externos, etc., de modo que al incorporarse a la programación no sean un foco de desajustes y retrasos.

| ACTIVIDAD                         | ENERO     |   |   |   |   |   |   |   |           |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------------------------------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|-----------|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                                   | SEM 11-01 |   |   |   |   |   |   |   | SEM 11-02 |    |    |    |    |    |    | SEM 11-03 |    |    |    |    |    |    | SEM 11-04 |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                                   | 1         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9         | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16        | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23        | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
| <b>Columnas y Placas</b>          |           |   |   |   |   |   |   |   |           |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Fierro Columnas y Placas          |           |   |   |   |   |   |   |   |           |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Encofrado Columnas y Placas       |           |   |   |   |   |   |   |   |           |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Concreto Columnas y Placas        |           |   |   |   |   |   |   |   |           |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
| <b>Losas, Vigas y Escaleras</b>   |           |   |   |   |   |   |   |   |           |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Fierro Losas, Vigas y Escalera    |           |   |   |   |   |   |   |   |           |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Encofrado Losas, Vigas y Escalera |           |   |   |   |   |   |   |   |           |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Ladrillo de Techo                 |           |   |   |   |   |   |   |   |           |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Concreto Losas, Vigas y Escalera  |           |   |   |   |   |   |   |   |           |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |    |    |

Figura 14: Ejemplo de Look Ahead

El programa intermedio identifica con precisión los recursos necesarios para el desarrollo de las actividades programadas en el plazo adoptado y las disponibilidades de estos. También debe incorporar los elementos de seguridad necesarios para el correcto desarrollo de las tareas y sus responsables, así como las actividades relacionadas con la conservación del medio ambiente y la gestión de residuos.

### **3.3.4 ANÁLISIS DE RESTRICCIONES**

Una vez incorporados todos estos elementos a la programación intermedia, se identifican las restricciones que es necesario eliminar para el desarrollo de la programación establecida, los responsables de su eliminación y las fechas en las que es necesario que estas restricciones estén eliminadas. El objetivo fundamental del programa intermedio es establecer con claridad lo que se puede hacer de lo programado y gestionar las restricciones existentes para que estas no introduzcan retrasos en la programación.

Aquellas actividades que “pueden” ejecutarse pasan a constituir el inventario de trabajo ejecutable.

Así, se definen 7 flujos básicos que deben analizarse por tarea y que se pueden utilizar como una lista de conformidad según sea el tipo de formato:

1. Mano de Obra
2. Materiales
3. Equipos
4. Condiciones Externas
5. Actividades Previas
6. Falta de Información
7. Espacio Seguro

Verificando estos 7 aspectos por cada actividad se puede garantizar casi en un 100% que se podrán cumplir en el momento de realizar el trabajo. El margen de error se encuentra en la gran variabilidad que se debe manejar de alguna otra forma.

La integración de todos estos elementos en la programación intermedia puede hacer descubrir problemas no identificados en el programa maestro, siendo necesaria la incorporación a este de los retrasos o adelantos que se produzcan del análisis de los desajustes encontrados.

### **3.3.5 PROGRAMACIÓN SEMANAL**

La programación semanal es la encargada de definir lo que “se hará” durante la semana entrante en función de los objetivos cumplidos en la planificación semanal finalizada, de los previstos en la planificación intermedia y de las restricciones existentes. Las actividades a realizar tienen que formar parte del inventario de trabajo ejecutable definido en la etapa anterior.

| ACTIVIDAD                         | ENERO     |    |    |    |    | Und            | Metrado | RESTRICCIONES |                       |         |              |                 |         | Liberado |                      |    |
|-----------------------------------|-----------|----|----|----|----|----------------|---------|---------------|-----------------------|---------|--------------|-----------------|---------|----------|----------------------|----|
|                                   | Sem 11-03 |    |    |    |    |                |         | Información   | Actividad Precedentes | Espacio | Mano de obra | Material        | Equipos |          | Condiciones Externas |    |
|                                   | 17        | 18 | 19 | 20 | 21 |                |         |               |                       |         |              |                 |         |          |                      | 22 |
| <b>Columnas y Placas</b>          |           |    |    |    |    |                |         |               |                       |         |              |                 |         |          |                      |    |
| Fierro Columnas y Placas          |           |    |    |    |    | kg             | 4,000   | ok            | ok                    | ok      | ok           | ok              | ok      | ok       | ok                   | Si |
| Encofrado Columnas y Placas       |           |    |    |    |    | m <sup>2</sup> | 250     | ok            | ok                    | ok      | ok           | ok              | ok      | ok       | ok                   | Si |
| Concreto Columnas y Placas        |           |    |    |    |    | m <sup>3</sup> | 23      | ok            | ok                    | ok      | ok           | Falta agregados | ok      | ok       | No                   |    |
| <b>Losas, Vigas y Escaleras</b>   |           |    |    |    |    |                |         |               |                       |         |              |                 |         |          |                      |    |
| Fierro Losas, Vigas y Escalera    |           |    |    |    |    | kg             | 2,900   | ok            | ok                    | ok      | ok           | ok              | ok      | ok       | ok                   | Si |
| Encofrado Losas, Vigas y Escalera |           |    |    |    |    | m <sup>2</sup> | 255     | ok            | ok                    | ok      | ok           | ok              | ok      | ok       | ok                   | Si |
| Ladrillo de Techo                 |           |    |    |    |    | und            | 2,900   | ok            | ok                    | ok      | ok           | ok              | ok      | ok       | ok                   | Si |
| Concreto Losas, Vigas y Escalera  |           |    |    |    |    | m <sup>3</sup> | 70      | ok            | ok                    | ok      | ok           | Falta agregados | ok      | ok       | No                   |    |

Figura 15: Ejemplo de Análisis de Restricciones

Para la realización de esta programación es conveniente establecer una reunión, bien a principio de la semana o bien al final de esta, en la que se realice un primer trabajo de análisis del cumplimiento de la planificación vencida y un segundo trabajo de planificación de la semana entrante. Esta reunión es fundamental realizarla con todos los implicados en la ejecución (los últimos decisores o planificadores), desde representantes de la dirección, proveedores y subcontratistas implicados, hasta los jefes de cuadrilla responsables de los diferentes tajos de obra; es conveniente que su duración no sea superior a dos horas.

### 3.3.6 PROGRAMACIÓN DIARIA (PLAN OF DAY)

Se puede llegar a tener una planificación del día con indicaciones de horas probables del cumplimiento de actividades. Se explota el plan semanal y se llega a este nivel de planificación. Es necesario un compromiso y participación de los trabajadores para garantizar el cumplimiento fiel del plan, de lo contrario no tendrá mayor significado.

| CUADRILLA                      | CAT      | ACTIVIDAD   | METRADO | UND            | HORARIO |   | TOTAL HORAS |      |
|--------------------------------|----------|---|---------|----------------|---------|---|-------------|------|
|                                |          |   |         |                |         |   |             |      |
| <b>TOPOGRAFIA</b>              |          |   |         |                |         |   |             |      |
| ENRIQUE LOZANO                 | OPERARIO | TRAZO DE CIMENTACION Z C8 - C9 / VC 11  |         |                | 08:00   | A | 10:00       | 8.50 |
|                                |          | TRAZO DE ENCOFRADO MURO PL 09 - COR 14 - 14 / C 12 - C 18 / Z C8 - C9 / VC 11 |         |                | 10:00   | A | 12:00       |      |
|                                |          | TRAZO DE VACIADO MURO PL 09 - COR 14 - 14 / Z C8 - C9 / VC 11                 |         |                | 13:00   | A | 17:30       |      |
| ALEXANDER COBEÑAS              | AYUDANTE | TRAZO DE CIMENTACION Z C8 - C9 / VC 11  |         |                | 08:00   | A | 10:00       | 8.50 |
|                                |          | TRAZO DE ENCOFRADO MURO PL 09 - COR 14 - 14 / C 12 - C 18 / Z C8 - C9 / VC 11 |         |                | 10:00   | A | 12:00       |      |
|                                |          | TRAZO DE VACIADO MURO PL 09 - COR 14 - 14 / Z C8 - C9 / VC 11                 |         |                | 13:00   | A | 17:30       |      |
| JUAN CARLOS QUICAÑO            | AYUDANTE | TRAZO DE CIMENTACION Z C8 - C9 / VC 11  |         |                | 08:00   | A | 10:00       | 8.50 |
|                                |          | TRAZO DE ENCOFRADO MURO PL 09 - COR 14 - 14 / C 12 - C 18 / Z C8 - C9 / VC 11 |         |                | 10:00   | A | 12:00       |      |
|                                |          | TRAZO DE VACIADO MURO PL 09 - COR 14 - 14 / Z C8 - C9 / VC 11                 |         |                | 13:00   | A | 17:30       |      |
| <b>ENCOFRADO</b>               |          |   |         |                |         |   |             |      |
| SANTIAGO DE LA CRUZ BARRIENTOS | OPERARIO | MURO PL 09 - COR 14 - 14 / C 12 - C 18 / Z C8 - C9 / VC 11                    | 87.77   | m <sup>2</sup> | 08:00   | A | 17:30       | 8.50 |
| SEVERIANO RIVAS OSCCO          | OPERARIO | MURO PL 09 - VC 11  | 9.89    | m <sup>2</sup> | 08:00   | A | 17:30       | 8.50 |
| JOEL HUAMAN PARIONA            | AYUDANTE | MURO PL 09 - VC 11  | 9.89    | m <sup>2</sup> | 08:00   | A | 17:30       | 8.50 |

Figura 16: Ejemplo de Plan del día

### 3.3.7 PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO (PPC) Y CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO (CI)

Consiste en el análisis de las actividades incumplidas en la semana de trabajo y las causas de su incumplimiento. Se realiza en la reunión semanal propuesta.

La primera tarea a abordar en la reunión de planificación semanal es el análisis del cumplimiento de la planificación vencida, detectando cuáles han sido las causas de no cumplimiento de lo planificado de modo que puedan adoptarse las medidas necesarias para corregir los desajustes que se pueden introducir en la planificación intermedia.

El ataque sistemático a las causas de no cumplimiento puede aumentar la confiabilidad de la planificación futura.

Este proceso semanal iterativo provoca una retroalimentación con las conclusiones obtenidas del análisis del cumplimiento semanal que puede introducir modificaciones en el programa maestro y en la planificación intermedia. En la reunión semanal también se establecen los trabajos que “se harán” durante la semana entrante en función de los resultados del cumplimiento de la programación semanal finalizada, de lo previsto en la programación intermedia y de las restricciones existentes que se hayan eliminado, siempre teniendo presente el inventario de trabajo ejecutable.

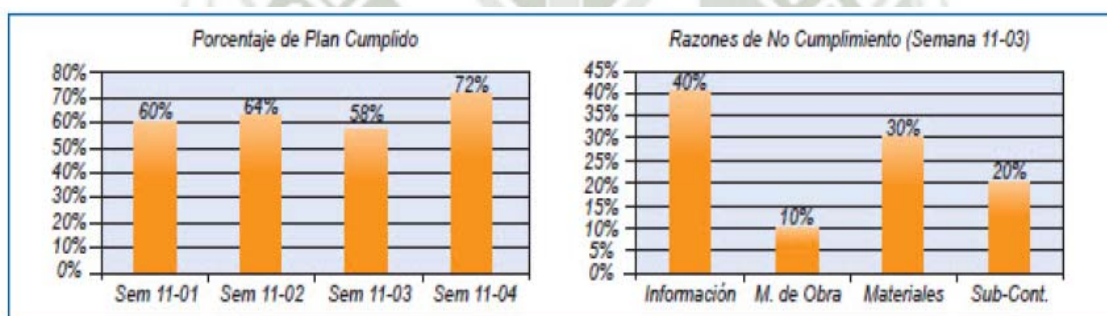


Figura 17: Ejemplo de PPC y CI

Un aspecto básico de la filosofía “Lean Construction” y que alcanza su máxima expresión en el SUP es el compromiso de todos los participantes (representados por los últimos planificadores o decisores) en la ejecución de la obra. Este compromiso se refuerza con la visibilidad pública de los resultados alcanzados semanalmente. Este acto de hacer público los resultados obtenidos por todas las partes implicadas (sean buenos o malos) es fundamental para reforzar el compromiso de los últimos planificadores.

### 3.4 IMPACTOS Y CONCLUSIONES

El SUP es un sistema de planificación en cascada cuya finalidad principal, además de controlar el proyecto, es la reducción de la variabilidad de la obra mediante la aplicación de cuatro principios básicos:

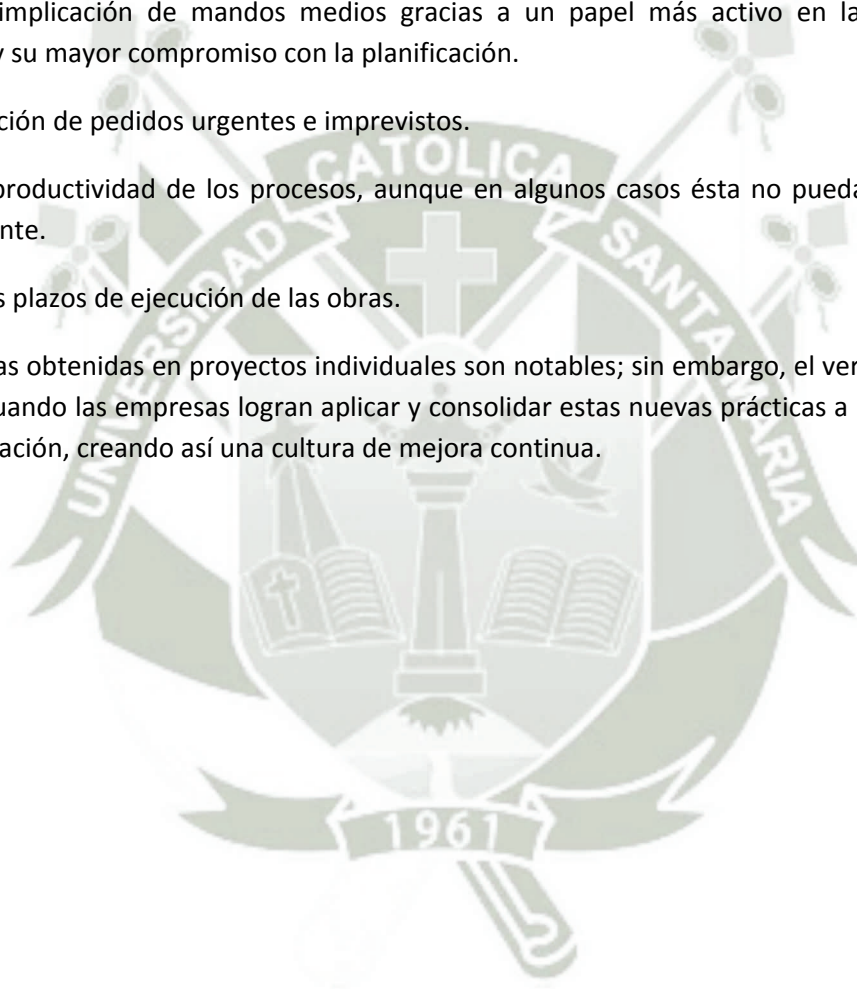
- Compromiso personal de los decisores finales (últimos planificadores).
- Coordinación de los últimos planificadores mediante reuniones periódicas.

- Utilización de un indicador básico de control denominado Porcentaje del Plan Completado (PPC).
- Visibilidad pública de los resultados semanales obtenidos.

Las experiencias recientes de implementación en diversos países americanos demuestran que el SUP es un verdadero motor de mejora continua de las organizaciones ya que proporciona los elementos y herramientas adecuadas para crear una mentalidad de mejora en las obras, logrando que éste ocurra en forma natural. Dentro de los numerosos impactos se pueden mencionar:

- Mejora en la gestión y control del proyecto.
- Mayor implicación de mandos medios gracias a un papel más activo en la gestión del proyecto y su mayor compromiso con la planificación.
- Disminución de pedidos urgentes e imprevistos.
- Mayor productividad de los procesos, aunque en algunos casos ésta no pueda ser medida directamente.
- Menores plazos de ejecución de las obras.

Las mejoras obtenidas en proyectos individuales son notables; sin embargo, el verdadero valor se logra cuando las empresas logran aplicar y consolidar estas nuevas prácticas a nivel de toda su organización, creando así una cultura de mejora continua.





## CAPÍTULO 4: DIAGNÓSTICO

Las pérdidas y desperdicios en el sector construcción en el Perú han sido clasificadas y estudiadas volviéndose patrones repetitivos y que se pueden ver con frecuencia. Aspectos como el sobredimensionamiento de cuadrillas, la ausencia de control, trabajos mal ejecutados y rehechos, mala actitud del trabajador frente al trabajo, mala calidad, cambios constantes de última hora en planos y diseños, etc. son usuales en las obras civiles. Estos factores constituyen pérdidas de dinero considerables en la industria de la construcción como se aprecia en el siguiente cuadro.

| PÉRDIDA  | COSTO   |
|--|---|
| Costos de calidad                                | Del 12 al 25% del costo total del Proyecto                                |
| Costos externos de calidad                       | Del 4 al 10% del costo total del Proyecto                                 |
| Falta de constructabilidad                       | Del 6 al 15% de costo total del Proyecto                                  |
| Gestión Pobre de materiales                      | Del 10 al 15% del costo de mano de obra                                   |
| Exceso de consu.de materiales                    | 10% al 15% sobre el promedio.   |
| Tiempo usado en actividades que no añaden valor. | Aproximadamente del 40% al 70% del tiempo total de ejecución de Proyecto. |
| Falta de Seguridad                               | 6% al 10% del Costo Total del Proyecto.                                   |

Tabla 4: Representación de las pérdidas en función del costo Fuente: "Procedimiento para mejorar la productividad en las obras y minimizar los costos operativos en la construcción"- Ing. Walter Rodríguez Castillejo.2004

La productividad en las empresas constructoras debería ser de al menos un 60% para tener una excelente rentabilidad y estar al nivel de los estándares internacionales; sin embargo, el último estudio realizado en 50 obras en la ciudad de Lima registró los siguientes datos:

|                      | TP         | TC         | TNC        |
|----------------------|------------|------------|------------|
| <b>VALORES</b>       |            |            |            |
| <b>PROMEDIO LIMA</b> | <b>28%</b> | <b>36%</b> | <b>36%</b> |
| <b>MÍNIMO TP</b>     | <b>20%</b> | <b>35%</b> | <b>45%</b> |
| <b>MÁXIMO TP</b>     | <b>37%</b> | <b>36%</b> | <b>26%</b> |

Tabla 5: Valores de trabajo medidos en Lima. Fuente: "Procedimiento para mejorar la productividad en las obras y minimizar los costos operativos en la construcción"- Ing. Walter Rodríguez Castillejo. 2004

Ninguna obra de Lima superó la barrera de 38 % de Trabajo Productivo. En promedio, el 27 % del tiempo del trabajo de los obreros de construcción se dedica a transportes y viajes. Además el tamaño de las obras ni el tipo de empresas guarda relación con los niveles productivos. El tipo de administración de cada obra, mayormente relacionada con el profesional que la maneja, guarda una estricta relación con los niveles productivos de dichas obras.

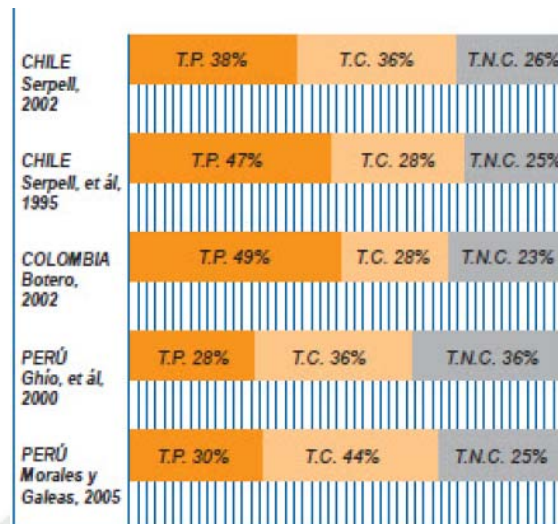


Tabla 6: Muestreo del Trabajo en diferentes países de Sudamérica Fuente: “Lean Construction en el Perú”. Pablo Orihuela. Abril 2011

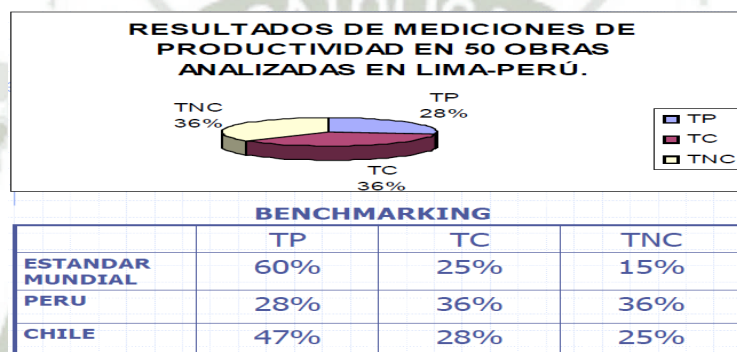


Tabla 7: Benchmarking de Trabajo en Sudamérica. Fuente: “Procedimiento para mejorar la productividad en las obras y minimizar los costos operativos en la construcción”- Ing. Walter Rodríguez Castillejo. 2004

La forma moderna de combatir estos desperdicios es mediante la aplicación de la filosofía Lean Construction.

A través de una encuesta a diferentes empresas constructoras arequipeñas se pretende dar un diagnóstico sobre el conocimiento de Lean Construction, la identificación de pérdidas, el control de productividad en la ciudad y las oportunidades de mejora.

#### 4.1 DIAGNÓSTICO GENERAL

Para poder dar un diagnóstico, se utilizó una encuesta con el objetivo de determinar el porcentaje de empresas, gerentes de proyecto o residentes de obra que tienen conocimiento de la filosofía Lean Construction, sus herramientas y beneficios.

La encuesta cuenta con 12 preguntas, cada una relacionada a un punto importante de la filosofía Lean Construction, el Last Planner y los intereses y conocimientos de las empresas:

## ENCUESTA

Buenos días/tardes, estamos realizando una encuesta para una tesis universitaria sobre productividad en la construcción.

Le agradeceremos brindarnos un minuto de su tiempo y responder las siguientes preguntas:

Empresa: \_\_\_\_\_

Cargo: \_\_\_\_\_

1 ¿Considera usted que la construcción es una verdadera industria?

**(INDUSTRIA)**

SI

NO

2 En su experiencia, ¿Qué tan confiable es la programación de una obra?

**(PROGRAMACIÓN MAESTRA)**

Nunca se cumple

Se cumple parcialmente

Se cumple con exactitud

3 Cada vez que se propone realizar algunas actividades en obra, ¿Cuál de las siguientes razones es el principal impedimento para su realización? Marcar una solamente

**(ANÁLISIS DE RESTRICCIONES)**

Mano de Obra

Actividades  
Precedentes

Materiales

Falta de  
Información

Equipos

Espacio

Condiciones Externas

Otras:

\_\_\_\_\_

4 ¿Usted destinaría tiempo para elaborar, analizar y evaluar planes semanalmente?

**(PLAN SEMANAL)**

SI

NO

5 En promedio, ¿Qué porcentaje de actividades logra cumplir semanalmente?

**(PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO)**

0% -  
25%

51% - 75%

26% - 50%

76% - 100%

6 ¿Cuáles son las principales causas de incumplimiento de sus planes? Puede marcar más de una.

**(CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO)**

PROGRAMACIÓN

ACTIVIDADES  
PREVIAS

LOGÍSTICA

EXTERN  
O

ADMINISTRACIÓN

SUBCONTRAT  
AS

EQUIPOS

ERRORES DE  
EJECUCIÓN

CLIENTE - SUPERVISIÓN

CONTROL DE  
CALIDAD

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

ERRORES DEL  
PROYECTO

7 ¿Cree usted que paga por trabajos improductivos?

**(TRABAJO PRODUCTIVO)**

SI

NO

8 ¿A cuánto cree que ascienden las pérdidas en la construcción? (Tiempo, dinero, transporte, etc.)

**(PÉRDIDAS)**

0% - 5%

21% - 50%

6% - 20%

Más del 50%

9 ¿Cuáles de las siguientes acciones puede usted percibir en obra con mayor frecuencia?

**(7 DESPERDICIOS)**

Sobreproducción

Errores en los  
procesos

Esperas

Movimientos  
innecesarios

Transporte innecesario

Trabajos Re-  
hechos

Inventarios

- 10 ¿Cree usted que se pueden identificar, eliminar o minimizar las pérdidas en la construcción?  
**(LEAN CONSTRUCTION)**

SI  NO

- 11 ¿Le gustaría poder implementar una nueva Filosofía de Construcción que busca eliminar las pérdidas e incrementar las ganancias en sus trabajos?  
**(LEAN CONSTRUCTION)**

SI  NO

- 12 ¿Sabe Usted qué es Lean Construction?  
**(LEAN CONSTRUCTION)**

SI  NO

Gracias

El Universo de la muestra se definió como las empresas socias de la Cámara Peruana de la Construcción filial Arequipa al 01 de noviembre del 2013, siendo un total de 44 empresas constructoras<sup>7</sup>. Se desarrolló la encuesta entre el 04 y 08 de Noviembre del año 2013.

La muestra se definió en 27 empresas para obtener una confiabilidad del 95% y un error de 12.0%. ANEXO N° 01

**POBLACIÓN FINITA**

|   |       |
|---|-------|
| Nivel de confiabilidad:                     | 95%   |
| Nivel de Confiabilidad ( <b>Z</b> ):        | 1.96  |
| Grado de error ( <b>e</b> ):                | 12.0% |
| Universo ( <b>N</b> )                       | 44    |
| Probabilidad de ocurrencia ( <b>p</b> )     | 0.5   |
| Probabilidad de no ocurrencia ( <b>q</b> ): | 0.5   |

$$n = \left( \frac{Z^2 pqN}{Ne^2 + Z^2 pq} \right)$$

<sup>7</sup> Fuente: Oficina de la Cámara Peruana de la Construcción – Asociación Regional CAPECO Arequipa, Av. la Salle Nro. 185 Int. A-2 Arequipa.

Muestra: **26.51**

## ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

### Pregunta N°1:

¿Considera usted que la construcción es una verdadera industria?



### INTERPRETACIÓN:

El 100% de las empresas encuestadas opinan que la construcción es una verdadera industria.

### Pregunta N° 2:

En su experiencia, ¿Qué tan confiable es la programación de una obra?



**INTERPRETACIÓN:**

Para el 89% de las empresas la programación tradicional se cumple parcialmente, mientras que un 7% afirma que nunca se cumple y un pequeño 4% afirma que se cumple con exactitud. Esto refuerza la afirmación de que la programación usada por todas las empresas deja de tener validez al poco tiempo de realizarlas. Se dice que un tercio de las veces se cumple lo programado en la semana.

**Pregunta N°3:**

Cada vez que se propone realizar algunas actividades en obra, ¿Cuál de las siguientes razones es el principal impedimento para su realización? Marcar una solamente.



**INTERPRETACIÓN:**

Para el 31% de las empresas el principal impedimento para cumplir sus planes son los materiales, representando problemas con los proveedores o una pobre logística. El 27% opina que la mano de obra es la principal restricción al estar escasa y costosa, y un 23% afirma que son condiciones externas que no pueden ser controladas. El 16% restante afirma que son los equipos, problemas con el espacio y las actividades precedentes. Un 3% afirmo que eran "Otras Causas" las que impedían sus planes y las categorizó como Falta de Presupuesto.

**Pregunta N°4:**

¿Usted destinaría tiempo para elaborar, analizar y evaluar planes semanalmente?

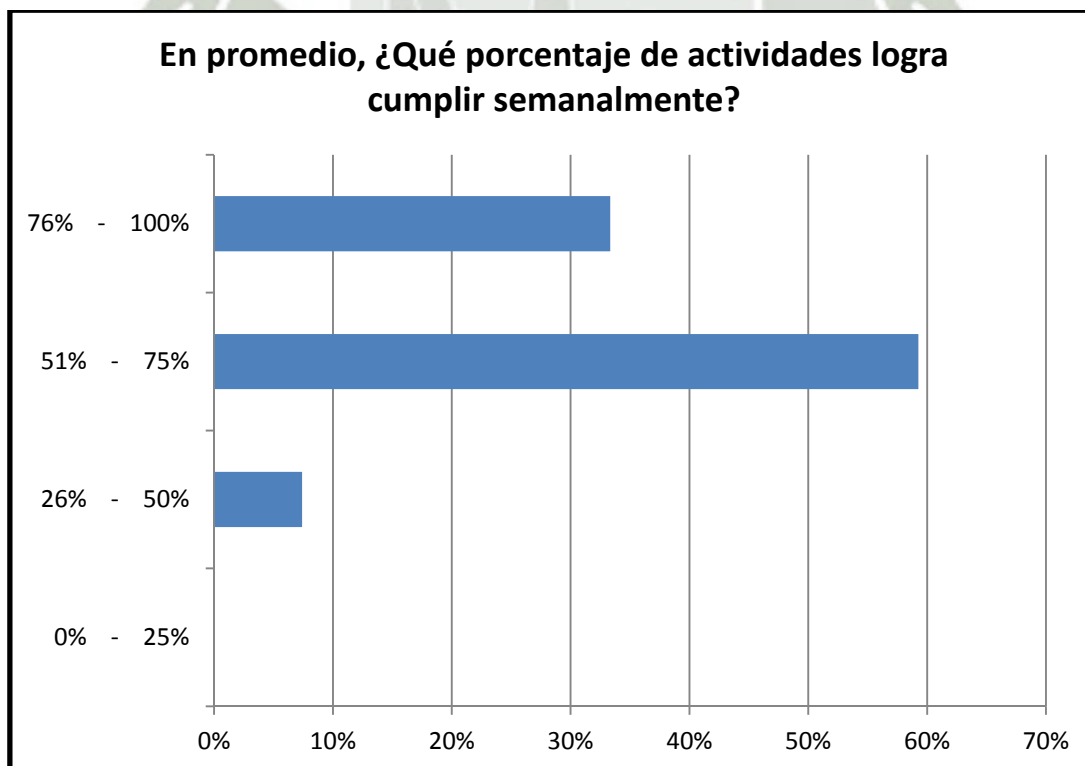


**INTERPRETACIÓN:**

El 96% de los encuestados Sí destinaría tiempo a elaborar, analizar y evaluar planes semanalmente, lo que representa una predisposición para utilizar el Last Planner con reuniones semanales de programación y evaluación.

**Pregunta N°5:**

En promedio, ¿Qué porcentaje de actividades logra cumplir semanalmente?

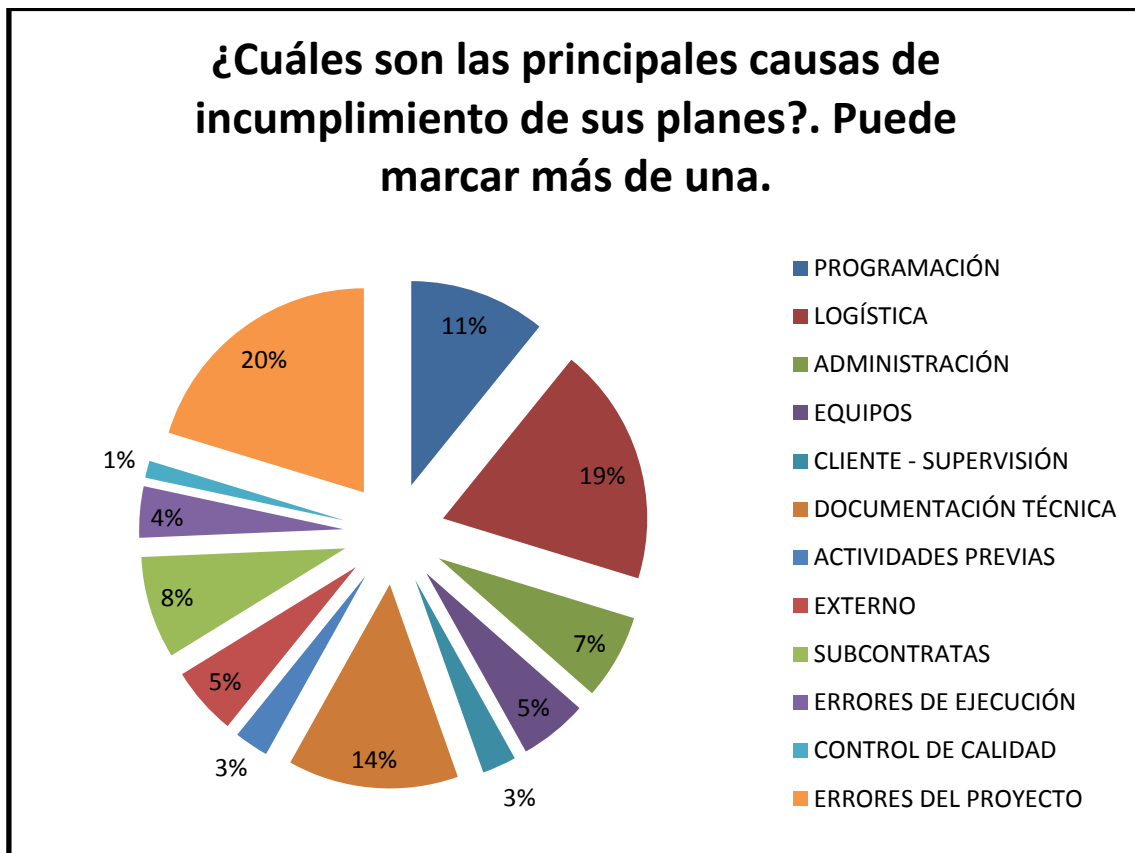


**INTERPRETACIÓN:**

El 59% de las empresas logra cumplir entre el 51% y el 75% de lo que se propone en la semana, mientras que el 33% se encuentra en el rango del 76% al 100% y el 7% entre el 26% y el 50%. Lo que representa que reconocen que de por sí cumplir una programación semanal es complicado y existe la necesidad de proteger la planificación.

**Pregunta N°6:**

¿Cuáles son las principales causas de incumplimiento de sus planes? Puede marcar más de una.



**INTERPRETACIÓN:**

Para las empresas constructoras encuestadas, el 20% de sus causas de incumplimiento son los errores del proyecto, representando claramente que no existe un trabajo multidisciplinario como sugiere Lean en la etapa de diseño donde se solucionan y evidencian las incompatibilidades. El concepto de Constructabilidad no está presente en nuestros proyectos.

El 19% lo representan los problemas de Logística, concordando con las restricciones vistas en la pregunta N°3, se está evidenciando un problema con los proveedores o con el personal de Logística de las empresas.

El 14% son la documentación técnica representada por licencias de construcción, documentos, trámites burocráticos, que retrasan las obras y generan pérdida de tiempo.

El 11% está representado por la Programación, que al no ser protegida se muestra muy débil y propensa a fallar.

Con menos del 10% se encuentran problemas de Administración, Equipos, Cliente-Supervisión, Actividades Previas, Factores Externos, Subcontratos, Errores de Ejecución y control de calidad.

**Pregunta N°7:**

¿Cree usted que paga por trabajos improductivos?

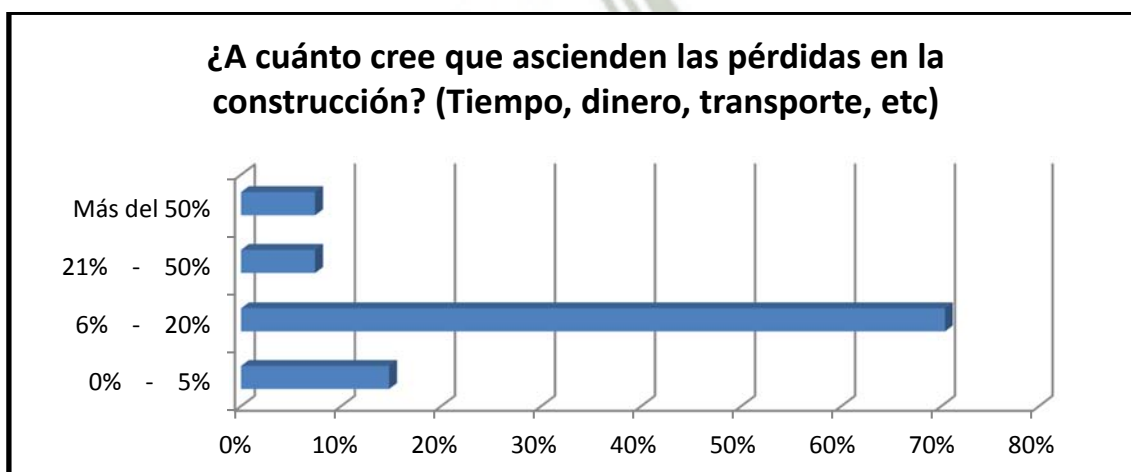


**INTERPRETACIÓN:**

El 78% de las empresas reconoce que existen trabajos improductivos conocidos como contributivos y no contributivos por los que paga aunque no genere producción. Para el 22% restante no hay trabajos improductivos y al no reconocer esta realidad, será más difícil que cambien de mentalidad.

**Pregunta N°8:**

¿A cuánto cree que ascienden las pérdidas en la construcción? (Tiempo, dinero, transporte, etc.)



**INTERPRETACIÓN:**

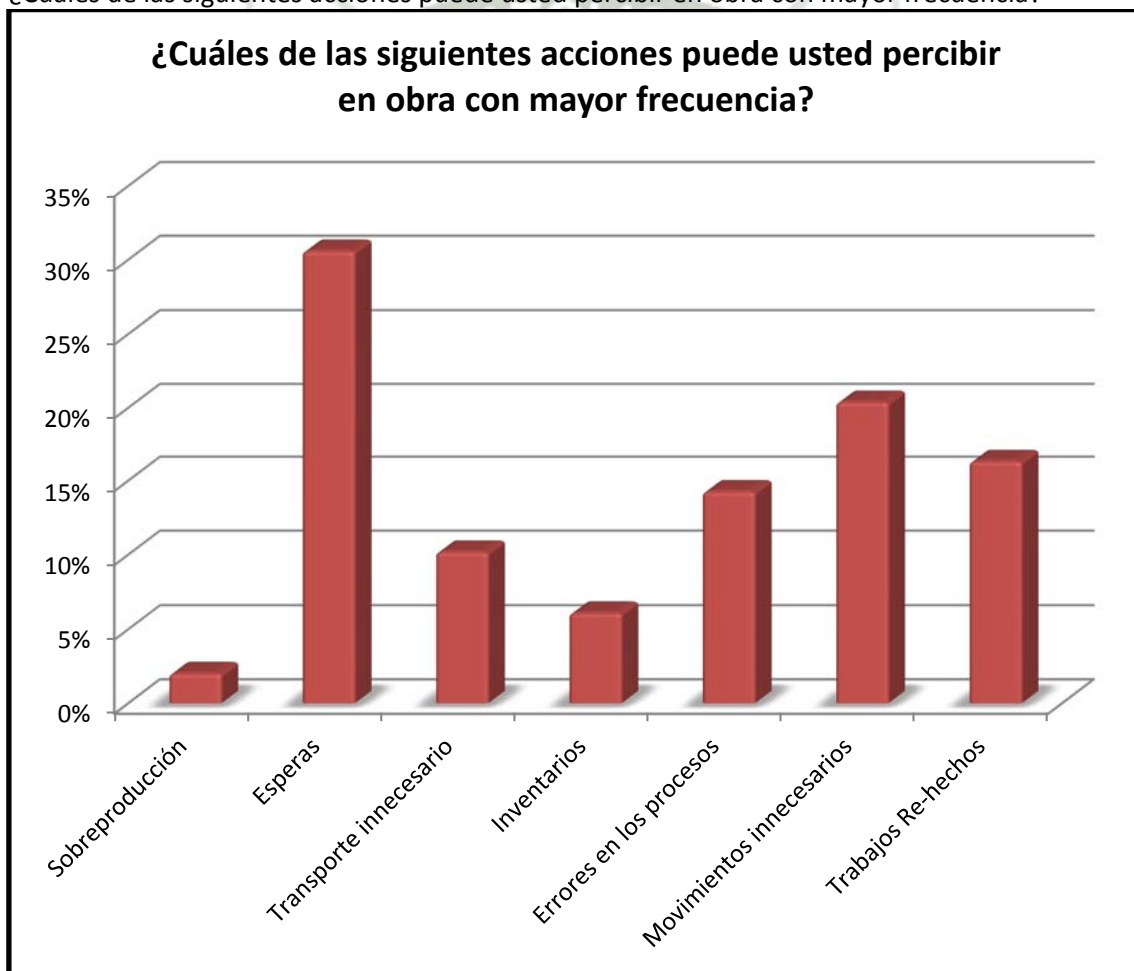
Para el 70% de los encuestados, las pérdidas en la construcción se encuentran en el rango del 6% al 20%, para el 15% entre el 0% y 5%, mientras que para el 7% se encuentra entre el 21% y 50% y para el 7% restante más del 50%.

Se afirma que el 30% de los costos en la construcción se deben a errores, demoras y faltas de comunicación. (The Economist, 2000), y que el 10% del valor de los proyectos son re-trabajos (Construction Industry Institute – CII).

Al aceptar esto, se está demostrando que el mercado acepta que las ineficiencias repercutan en los costos.

**Pregunta N. °09:**

¿Cuáles de las siguientes acciones puede usted percibir en obra con mayor frecuencia?



**INTERPRETACIÓN:**

Los desperdicios más usuales para las empresas lo representan las esperas con un 31% de incidencia y los movimientos innecesarios con un 20%. Al ser problemas los procesos, se puede deducir que los procesos y flujos de las empresas no son continuos, el principal objetivo de Lean.

El 16% de veces han sido trabajos Re-hechos, lo que se puede interpretar como falta de control en los procesos. El 14% son los errores en los procesos, por las muchas ocasiones en que se deja la labor de definir los procedimientos al maestro de obra por su experiencia sin intervenir el ingeniero; también al definir los estándares de calidad y procedimientos adecuados. Los inventarios, el transporte innecesario y la sobreproducción se encuentran en el 18% restante.

**Pregunta N°10:**

¿Cree usted que se pueden identificar, eliminar o minimizar las pérdidas en la construcción?

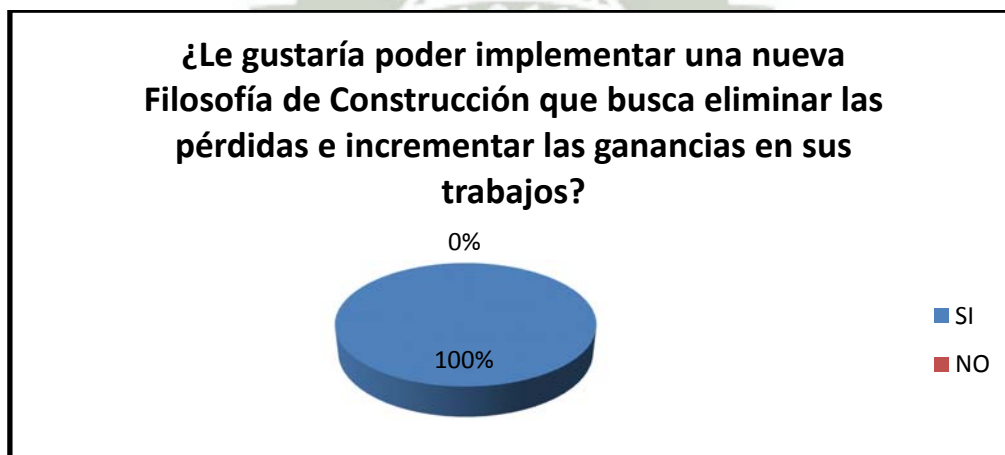


**INTERPRETACIÓN:**

El 100% respondió que se pueden identificar, eliminar o minimizar las pérdidas de la construcción, uno de los pilares de la Filosofía Lean Construction.

**Pregunta N°11:**

¿Le gustaría poder implementar una nueva Filosofía de Construcción que busca eliminar las pérdidas e incrementar las ganancias en sus trabajos?

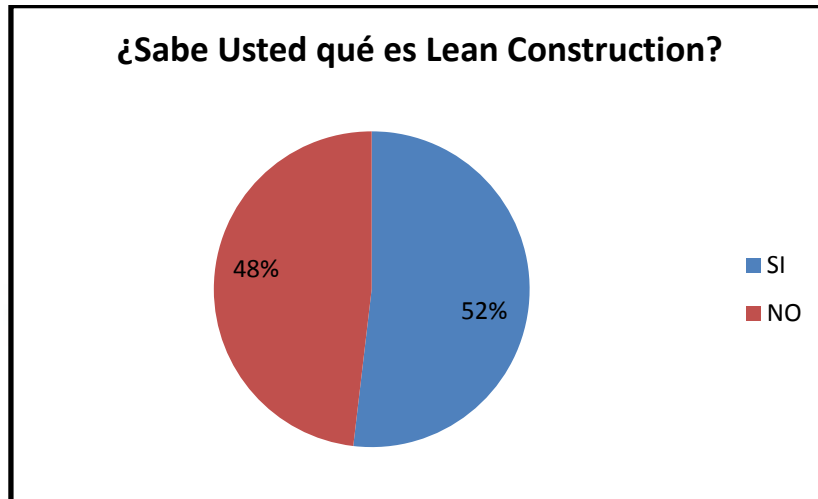


**INTERPRETACIÓN:**

El 100% estaría dispuesto a implementar una nueva filosofía de construcción sobre todo con el objetivo de incrementar las ganancias en sus trabajos. Sería interesante saber si están dispuestos a hacer lo que Lean Implica, pero no era el objetivo de la encuesta.

**Pregunta N°12:**

¿Sabe Usted qué es Lean Construction?



**INTERPRETACIÓN:**

Un 52% de los encuestados sabe o al menos ha escuchado que es Lean Construction, mientras que un 48% niega haber escuchado algo al respecto.

**4.2 DIAGNÓSTICO PARTICULAR**

En la obra Colegio Lord Byron, alcance de esta investigación, se pudieron observar una serie de problemas que representan pérdidas. Con la implementación de Lean se pudieron reducir en cantidad pero aún existieron.

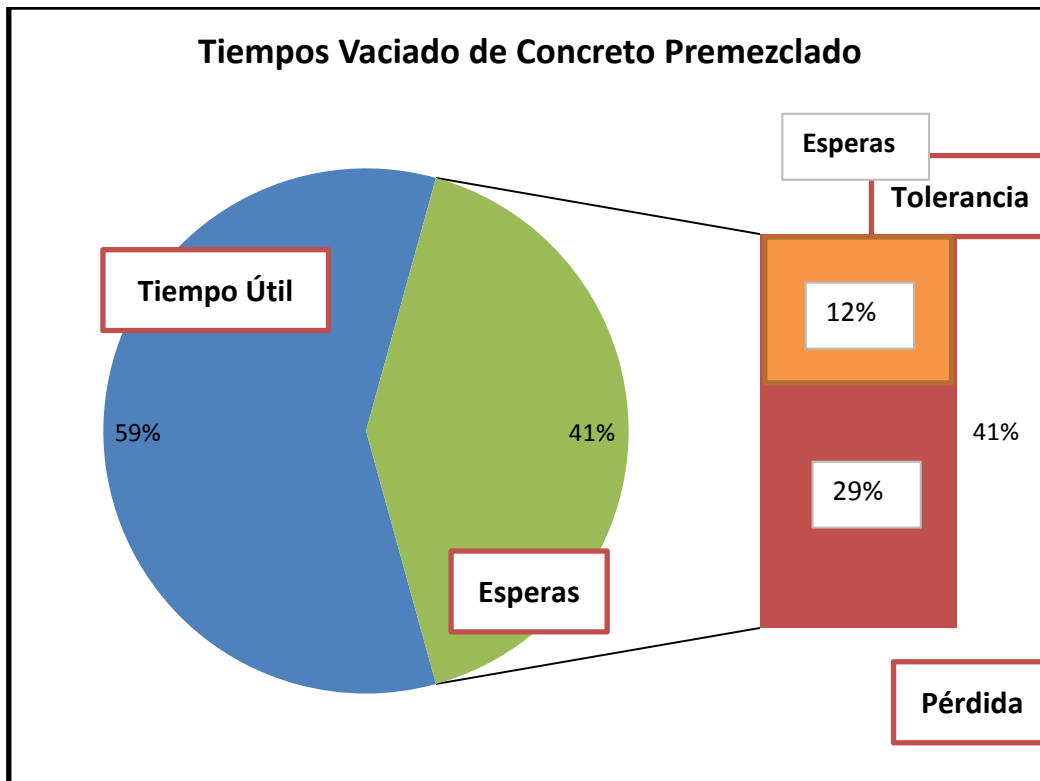
A continuación se detallan algunos casos importantes clasificados en base a los 7 desperdicios de Toyota para su análisis y comparación con la situación de la ciudad.

**A. ESPERAS**

- El Caso más representativo de esperas es el concreto premezclado. El monopolio existente en la ciudad de concreto, cemento e incluso, desde hace un año, de agregados por la misma empresa generan una total sumisión a su disponibilidad de tiempos, horarios, precios, calidad, volumen, etc. Mientras que en Lima existen

alrededor de 6 empresas concreteras y más variedad de cemento aquí solo tenemos una.

Se presenta el control realizado en obra para los fines de esta investigación en el ANEXO N°02 y un cuadro en el ANEXO N°03 con las horas hombre perdidas en esperas a mixers, bombas de concreto, horas hombre extra utilizadas para vaciar concreto fuera de las horas de trabajo por la impuntualidad de la empresa. A continuación el gráfico resumen:



El vaciado de concreto premezclado es una actividad altamente productiva al tener un ratio promedio de 0.50 hh/m<sup>3</sup>. Sin embargo, existen pérdidas que deben ser optimizadas ya que representan el 41% del tiempo de vaciado y en esta obra alcanzaron los S/. 2 251.00 nuevos soles. La empresa concretera debe mejorar su servicio y puntualidad, ya que en incluso llegó a ausentarse una vez (26 de agosto); y las empresas constructoras deben tomar las medidas para controlar la variabilidad y reducir los desperdicios como se trató de hacer en el proyecto de investigación y se mostrará en el capítulo de desarrollo.

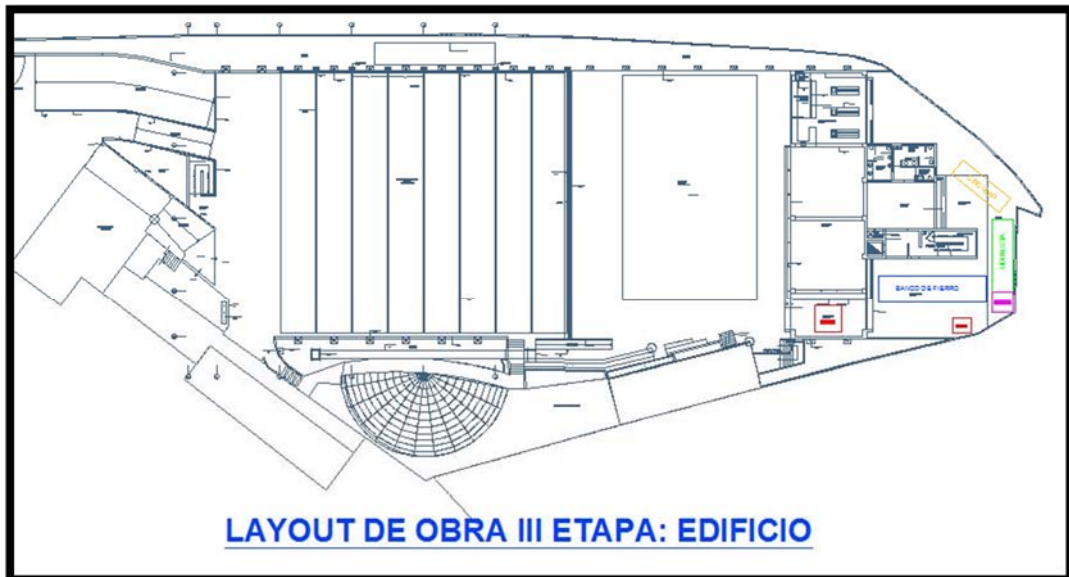
#### **B. MOVIMIENTOS INNECESARIOS**

- Los movimientos de personal son un tipo de pérdida que se puede evitar teniendo una buena distribución o layout de obra.  
En esta obra el problema era que además de tener dimensiones rectangulares 30 por 100 metros lo que la hacía muy larga con un solo acceso, por razones de plazos y

necesidades del cliente había que comenzar de adelante hacia atrás, “encerrándose” y restringiendo el ingreso de máquinas altas, materiales, volquetes grandes, etc. Es así que el personal debía desplazarse mayores distancias para ir a la tienda, al baño, a recoger sus herramientas, a buscar material, caminar, entre otros movimientos que pudieron haber sido evitados comenzando de atrás hacia adelante.

Por esta razón se manejaron 3 layout’s de obra, ya que resultaba más práctico mover todo 3 veces en medio día de trabajo que generar movimientos innecesarios durante meses de trabajo:





### C. TRABAJOS RE-HECHOS

- En esta obra no se contaba con supervisión, sin embargo había un estricto control de calidad por parte de la constructora. Se tomaron las medidas para realizar los trabajos una sola vez, sin embargo siempre existen descuidos por apuros, tiempos de salida, negligencia de trabajadores, etc.

Se enumeran los trabajos re-hechos a continuación:

- 3 Columnas demolidas en el estacionamiento por problemas de alineamiento.
- Pozo a tierra enterrado por errores en el proyecto.
- Uso de SikaRep para reparar problemas de vibrado que originaron pequeñas cangrejas.
- Re-excavar tuberías de desagüe para limpieza porque se taparon por un mal trabajo sanitario.
- Demolición de un sardinel por cambios en el proyecto por orden del cliente.
- Columnas del edificio demolidas por grandes cangrejas con daño irreparable.
- Desencofrar columnas encofradas para agregar estribos por no leer bien los planos.
- Regresar encofrado metálico devuelto a EFCO por falta de mano de obra especializada que dirija la devolución.
- Demolición de columna del edificio por problemas de aplomo.

Básicamente estos han sido todos los trabajos re-hechos en la obra ya que al aparecer una vez, se registraron los datos en un formato de lecciones aprendidas para evitar su repetición, como se verá posteriormente.

### D. ERRORES EN LOS PROCESOS

- Los errores en los procesos o sobre-procesamiento son los más difíciles de identificar y ocurren por no tener claro lo que el cliente requiere produciendo procesos innecesarios que agregan costos en lugar de valor al producto. Los que se pudieron identificar fueron los siguientes:

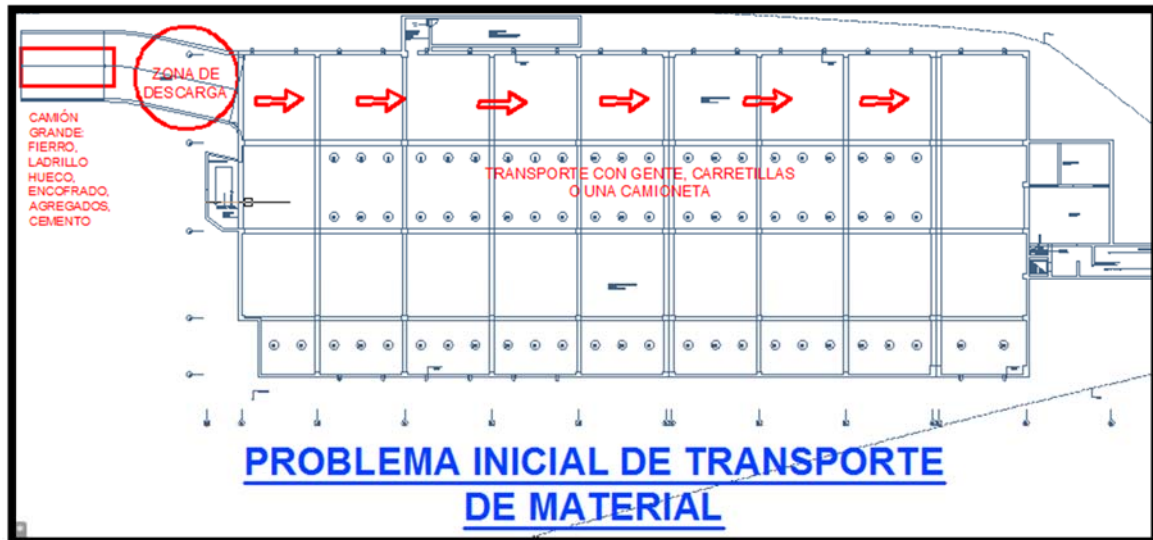
- Exceso de vibrado, que genera segregación del agregado grueso y su acumulación en las partes inferiores de los elementos, teniendo que solaquear o reparar inmediatamente.
- Mala comunicación y entrega de información, representa la principal fuente de errores en los procesos.
- Exceso de apuntalamiento metálico en elementos verticales por desconocimiento por parte del personal.
- Perforación de losas macizas para colocar “muertos” para apoyar el apuntalamiento metálico cuando existen unas bases especiales que estaban en almacén y nadie conocía hasta revisar los planos con el grupo de trabajo.
- Las vigas pared del edificio debían ser vaciadas monolíticamente en toda su altura junto con la losa maciza, pero el trabajo era muy complicado y fue fuente de errores como cangrejeras y desplomes. Se cambió el procedimiento y se optó por vaciar hasta la altura de la losa y luego con unos refuerzos y puentes de adherencia unir la viga, ya que al final los gastos de calidad por querer hacerlo todo de un solo vaciado era mayores.
- Falta de conocimiento del operador del trompo sobre dosificación de agua en el concreto y tiempo de mezclado, lo que genera una mezcla de baja calidad que no alcanza las resistencias adecuadas.

Una vez identificados estos errores, son más fáciles de corregir y se logra mejorar la productividad al controlarlos adecuadamente.

#### **E. TRANSPORTE INNECESARIO**

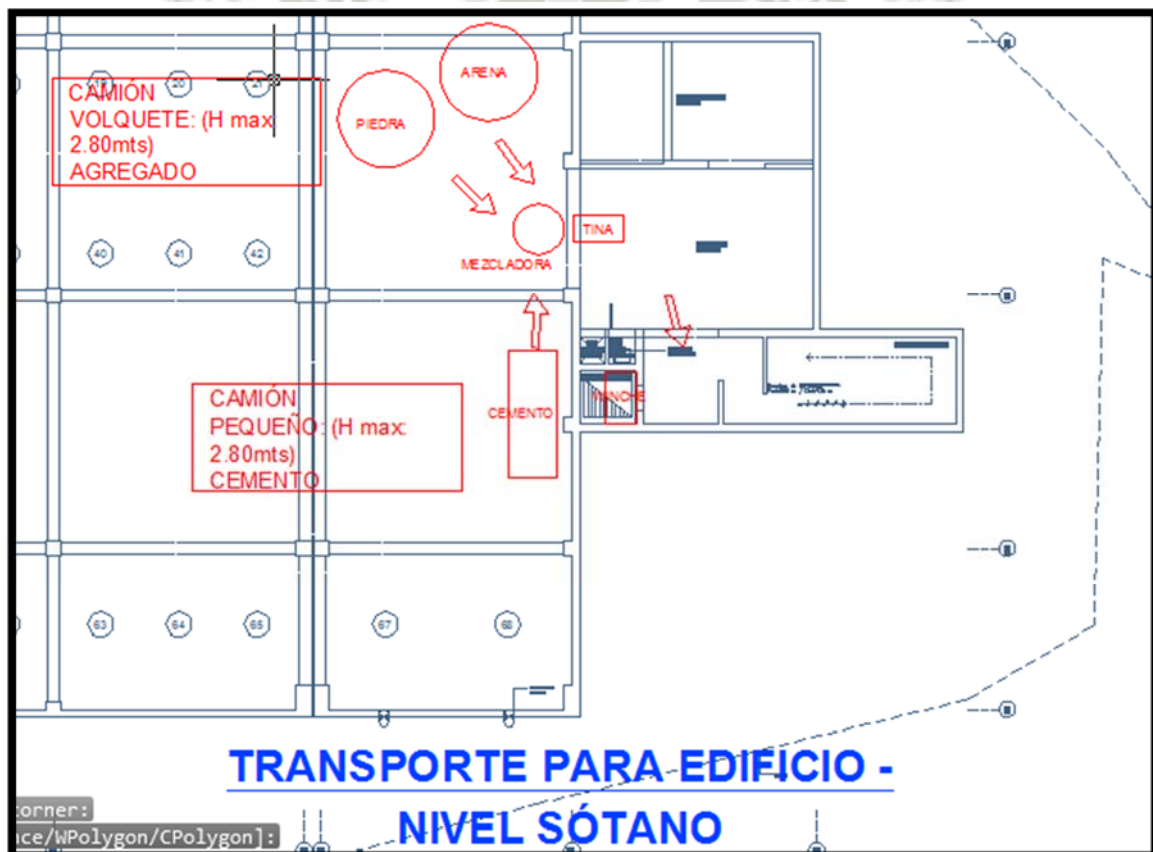
- Como se explicó en el movimiento innecesario, se tomaron medidas como la variación del layout de obra en función del tiempo de trabajo para reducir ésta pérdida. Sin embargo el problema central que produjo esta condición de trabajo fue la de transporte innecesario:

El cemento, fierro y agregados al haber cerrado la entrada, aún era traído en volquetes grandes o camiones que lo dejaban en la entrada de la rampa y que tenían que ser transportados interiormente en camionetas, carretillas o por los trabajadores, generando pérdidas de tiempo y dinero. Para el edificio principalmente, la medida tomada fue pedir todo en volquetes pequeños que puedan ingresar, camiones para el cemento y acero en las cantidades exactas y Just In Time. La mezcladora se quedó en el sótano y en el edificio se utilizó el ducto del ascensor como medio para trasladar el concreto mediante un winche.



**SOLUCIONES:**

1. Ingreso de camiones pequeños al sótano capaces de ingresar hasta el ducto del ascensor y descargar el material cerca para reducir el transporte.



2. En la parte superior del sótano (sobre la losa), bombear el concreto desde la entrada e ingresar camiones pequeños hasta el límite con el segundo estacionamiento para descargar el material cerca y trasladarlo con personal.



De no haber existido una bomba estacionaria en la ciudad, el tiempo de construcción del proyecto hubiese sido mucho mayor, por la cantidad de concreto a verter por piso. Existían 2 soluciones alternativas adicionales al tema de la bomba estacionaria planteadas en el momento de la planificación la primera era alquilar los terrenos vecinos colindantes con la torrentera, nivelar y mejorar el terreno para permitir el ingreso de la bomba telescópica y bombear desde ahí; la segunda era alquilar una torre grúa que pudiese recibir el concreto en la parte posterior del colegio, en los terrenos vecinos y dejar el concreto en el lugar adecuado. Ambas resultaron muy costosas a comparación del uso de la bomba estacionaria con más de 100 metros lineales de bombeo.

#### F. INVENTARIOS

- El problema de inventarios no se presentó tanto en este proyecto por el tema de espacio; el material debía ingresar en la cantidad suficiente y en el momento exacto (Just In Time). Para ello el trabajo colaborativo con los proveedores y sobretodo cumplir con sus pagos para tener el derecho de exigirles puntualidad y un buen servicio era fundamental. De tal forma que en el almacén la cantidad de material en stock siempre era mínima y aun así nunca se pararon los flujos por falta de inventario ni se tuvo dinero guardado en inventarios.

#### G. SOBREPRODUCCIÓN

- La sobreproducción en una obra suele aparecer en el acero al habilitar estribos o elementos en exceso. La principal causa de esto es que al ser tan grandes los lotes de transferencia, una vez cumplida la meta, el personal del acero ya no tiene frente y debe ocupar su tiempo en producir material sin que éste sea solicitado. En cambio al tener los lotes de transferencia más pequeños como se realizó en este caso, el personal del acero se mantuvo siempre trabajando ya que una vez realizado un sector del techo se abrían siempre dos frentes: los verticales del techo vaciado y el siguiente sector de techo a vaciar. De este modo no le quedaba tiempo sobrante para producir en exceso. El flujo siempre fue continuo en esta partida y se redujo éste tipo de pérdida.



## **CAPÍTULO 5: IMPLEMENTACIÓN DE LEAN CONSTRUCTION**

## 5.1 PRESENTACIÓN

Como se mencionó en el capítulo del diagnóstico, la realidad de nuestra “Industria de la Construcción” está lejos de los estándares internacionales asociados a la productividad. De tal manera que antes de implementar efectivamente todas las herramientas necesarias se comenzó educando y cambiando la forma de pensar tradicional. Para ello se buscaron soportes técnicos, económicos, de información y tecnología con el propósito de demostrar la conveniencia y eficacia de esta nueva filosofía; así se utilizaron presentaciones en diapositivas para brindar charlas de inducción al Gerente de la Empresa y al maestro de obra, consultas a ingenieros y experiencias en otras ciudades, el uso de aditivos y materiales como el encofrado metálico, para demostrarles que existe una nueva forma de hacer las cosas y cambiar progresivamente su forma de pensar. Una vez entendidas las ideas principales de la filosofía se procedió a aplicar el Last Planner System y algunas herramientas importantes adaptadas a nuestro medio.


Se consideró un trabajo de concientización bastante largo para lo cual se dividió el proyecto en dos grandes etapas: Los estacionamientos y el edificio cuyos planos se anexan al final del trabajo. Dadas las condiciones de la primera etapa; propicias para comprender las ventajas, desventajas, necesidades, tiempo, recursos, entre otros, se logró un buen entendimiento a base de ensayos de prueba y error, sugerencias y aceptar el compromiso que esto implica. La segunda etapa fue definitivamente la demostración y utilización en mayor potencial de la filosofía Lean Construction y el Last Planner System. Además se anexa una tercera parte referida al vaciado del piso del estacionamiento donde se asume directamente el rol de último planificador y se desarrolla más aún la metodología.

## 5.2 INDUCCIÓN

Para inculcar la nueva filosofía, es necesario empezar una explicación didáctica que permita demostrar con hechos y experiencias reales que se puede mejorar con técnicas sencillas y formas de trabajo diferentes.

De este modo se llevaron talleres de inducción con los siguientes contenidos:

| FECHA       | PARTICIPANTES                            | DESCRIPCIÓN   |
|-------------|--|---|
| 16 de marzo | Gerente General<br>(Ingeniero Residente) | Se realiza una presentación con diapositivas con una Introducción al Lean Construction.<br><i>Al ver que cosas tan comunes se pueden mejorar de una forma sencilla se despierta el interés y se avala el proyecto.</i>  |
| 23 de marzo | Gerente General<br>Maestro de Obra       | Se explica con detalle la nueva filosofía y el uso y forma de trabajo de la herramienta Last Planner.<br>Se reafirma que la base del éxito es el compromiso y se relacionaron temas con la situación real de la obra y errores ya cometidos en los primeros 3 meses.<br><i>Se llega al acuerdo de tener una reunión semanal de programación y reuniones diarias con los</i> |

|             |                                    |  |
|-------------|------------------------------------|--|
|             |                                    | <p>trabajadores para explicarles la programación diaria.</p> <p>Ambos presentan sus dudas y propuestas y son asumidas para una mejora continua. Se solicitó usar una programación más gráfica en vez del Gantt.</p>    |
| 02 de Abril | Gerente General<br>Maestro de Obra | <p>Primera sesión de programación:</p> <p>Se hizo una lista de tareas para cumplir con la entrega del Sector B.</p> <p>Se armó el primer Look Ahead conjunto de 4 semanas.</p> <p>Se decidió poner siempre mucho énfasis en las primeras dos semanas.</p> <p>Se entendió que es necesario analizar con detenimiento las principales restricciones para evitar que los flujos se detengan.</p> <p>Se elaboró el primer modelo de plan semanal.</p>  |
| 03 de Abril | Gerente General<br>Maestro de Obra | <p>Se les hizo entrega de una lectura:</p> <p><i>“La planificación de Obras y el Sistema Last Planner”</i><br/> <i>Corporación Aceros Arequipa.</i><br/> <i>Construcción Integral,</i><br/> <i>Boletín N° 12.</i><br/> <i>Julio 2011</i></p>   |
| 10 de Abril | Gerente General<br>Maestro de Obra | <p>Se recibe una propuesta de mejora:</p> <p>Uso de formatos para el control de Calidad.</p> <p>Elaboración de una maqueta</p>   |
| 15 de Junio | <b>FIN DE PRIMERA ETAPA</b>        |  |
| 21 de Junio | Gerente General<br>Maestro de Obra | <p>Tras haber dejado las reuniones semanales por la presión de terminar los acabados a tiempo, se retoma el uso del Last Planner y se plantean mejoras por significar el comienzo del edificio:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Compatibilización de planos <ul style="list-style-type: none"> <li>- Archivos Digitales</li> <li>- Corregir Planos</li> <li>- Imprimir nuevo juego de Planos</li> <li>- Cotizar Maqueta</li> </ul> </li> <li>2. Reuniones diarias</li> </ol> |

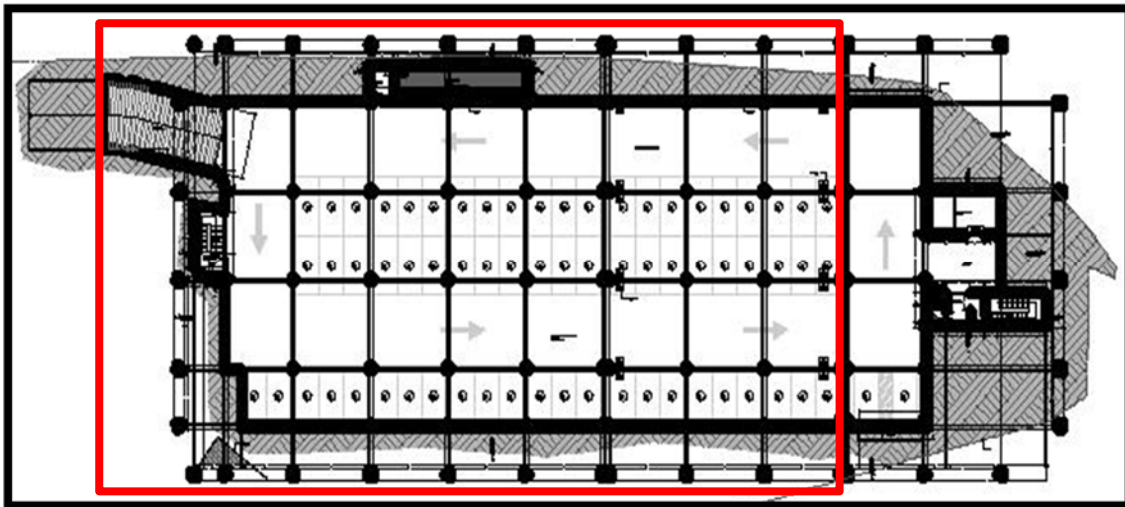
|               |                                    |   |
|---------------|------------------------------------|---|
|               |                                    | <p>3. Reuniones obligatorias los días viernes (Plan semanal y Look Ahead)</p> <p>4. Supervisión (Elaboración de formatos y Manual de Procesos)</p> <p>5. Charlas de Seguridad</p> <p>6. Control de Calidad</p> <p>7. Mejora en Almacén</p> <p>8. Orden en Oficina (5s)</p>  |
| 19 de Julio   | Gerente General<br>Maestro de Obra | <p>La mentalidad es clara. En este punto se piensa siempre en optimizar los procesos, tomar tiempo, mejorar equipos, cambiar personal, dimensionar cuadrillas, programaciones semanales y diarias. Se arma el plan para el edificio y se define:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sectorización</li> <li>- Procedimientos constructivos para realizar el corte de vaciado</li> <li>- Cantidad de Encofrado EFCO adicional</li> <li>- Cortes de vaciado (Aprobación por estructurista).</li> <li>- Apuntalamientos especiales por la envergadura de las estructuras (Vigas pared)</li> <li>- Capital de Trabajo Necesario para cumplir los planes.</li> <li>- Mano de Obra necesaria</li> <li>- Información Faltante.</li> </ul>   |
| 22 de agosto  | Gerente General<br>Maestro de Obra | <p>Tras un comienzo muy dubitativo por la falta de mano de obra especializada, se tiene la confianza y el personal capacitado para programar la etapa final (3 últimos pisos):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 sectores: ZM1, ZA y ZM2.</li> <li>- Se detecta que la obra va muy delante por las valorizaciones y se complica el cumplimiento del plan por falta de capital. Se pone énfasis en esta restricción.</li> <li>- Tras 8 meses de trabajo sigue siendo muy costoso para el ingeniero y el maestro proyectarse con claridad la 3ra y 4ta semana del Look Ahead.</li> <li>- Se decide combatir la principal variabilidad referente al concreto premezclado haciendo que se programe o separe la bomba hasta el final de la obra durante todos los sábados.</li> </ul> |
| 05 de octubre | Gerente General<br>Maestro de Obra | <p>Se analiza el éxito de la aplicación del Lean y el Last Planner. Ingeniero y Maestro de Obra lo reconocen. Se planea la última etapa de trabajo correspondiente a los acabados. Ya con el dominio del tema se arman cuadrillas y trenes de trabajo que terminarán la obra en dos meses.</p>  |

### 5.3 PRIMER ETAPA: IMPLEMENTACIÓN

En paralelo a la capacitación se puso en práctica la primera etapa de la investigación en los 2280 m<sup>2</sup> de estacionamientos; se explican a continuación las características arquitectónicas y estructurales del proyecto y se adjunta en el ANEXO Nº12 los planos respectivos.

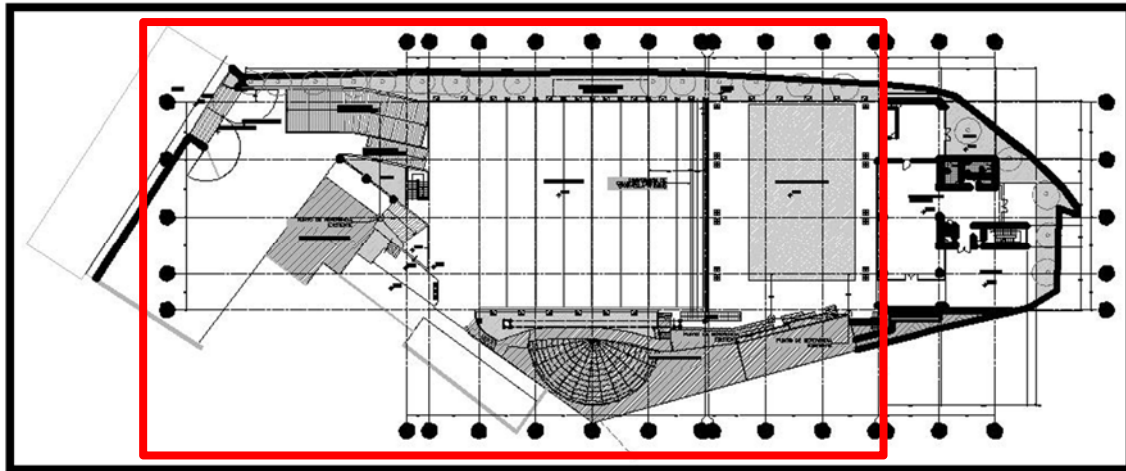
#### ARQUITECTURA

Los estacionamientos comprenden dos edificaciones con un Nivel de Piso Terminado del Sótano de - 3.50 metros y un Nivel de Piso Terminado de +0.00 para la Losa Polideportiva y de +0.70 para la Losa de Césped Artificial. Modulados a 8 metros por 8 metros, cuentan con un acceso formado por una Rampa de 12% de pendiente ubicado en la parte sur, para el ingreso de los 68 vehículos que conforman el número de estacionamientos del proyecto. Hay dos accesos con escaleras para los peatones, uno en la parte sur y otro en la parte norte. Cuenta además con un ascensor para el uso de peatones con y sin discapacidades físicas. El acabado en el sótano es solaqueado, con pintura reglamentaria para el control del tránsito vehicular y peatonal con un piso de concreto pulido.

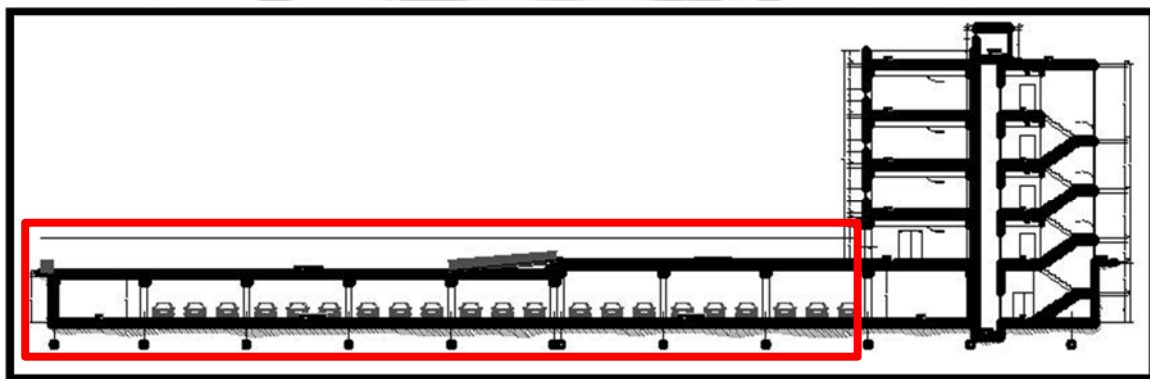


La losa Polideportiva tiene un acabado de piso de cemento pulido, con sardineles perimetrales que delimitan con los jardines aledaños. Cuenta con postes metálicos para sostener los reflectores de iluminación y una malla Raschel para la protección contra el sol. A esta losa pueden acceder vehículos livianos por la parte Sur con una rampa de 9%.

La losa de Césped Artificial tiene un perímetro de cemento pulido donde se instalaron vidrio Blocks para la iluminación del Sótano. En el centro se ubica la losa de césped artificial, que requiere unas pendientes dirigidas a los sumideros interiores para el drenaje pluvial. Se instalaron también postes metálicos para los reflectores y malla Raschel.

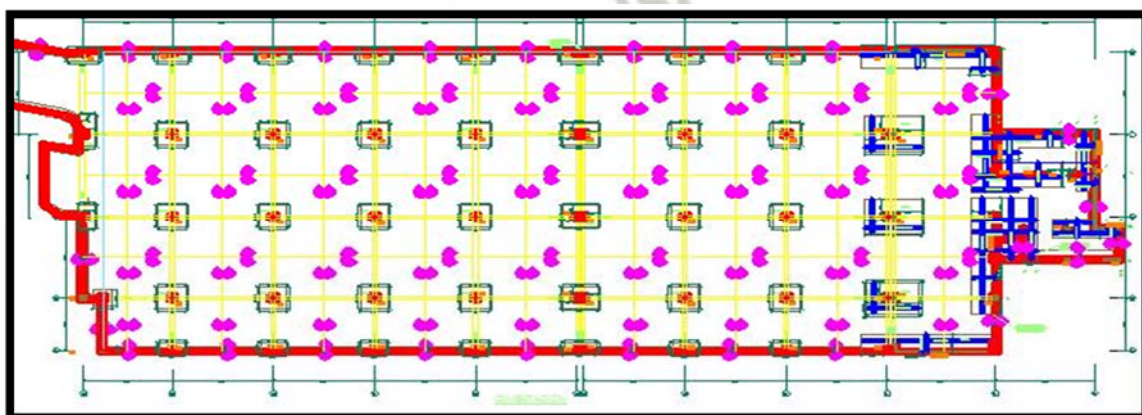


La altura de piso a techo del primer sótano (Bajo la Losa Polideportiva) es de 3.25 metros y de 2.65 metros al fondo de Viga. En el segundo sótano (Bajo la Losa de Césped Artificial) la altura de piso a techo es de 3.95 metros y de 3.35 metros al fondo de Viga.

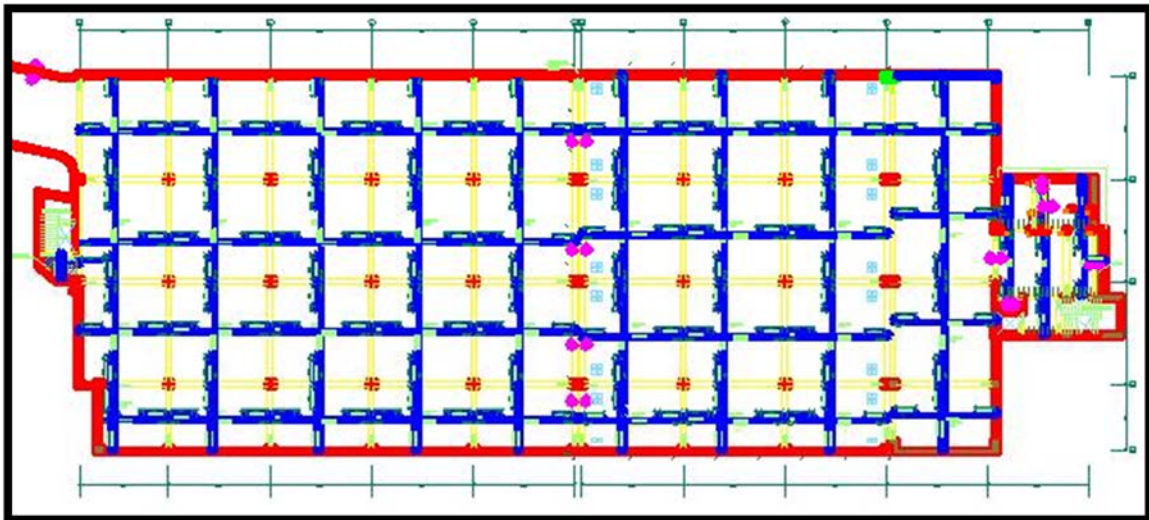


**ESTRUCTURAS**

Estructuralmente, los sótanos están separados por una junta sísmica y están conformados por muros de contención en todo su perímetro de 0.25 metros de ancho. Interiormente cuentan con columnas de 0.50 por 0.50 metros. La cimentación es de zapatas aisladas para las columnas, y zapatas corridas para los muros de contención, todas conectadas con vigas de cimentación.



La vigas interiores son de 0.40 metros por 0.80 metros de peralte y la losa es maciza de 20 cm, armada en ambas direcciones.



La gran área de la obra y los elementos estructurales repetitivos, junto a otras características la hicieron idónea para aplicar el enfoque Lean Construction y sus herramientas con el objetivo principal de conseguir SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EFICIENTES:

## **PASO 1: ASEGURAR QUE LOS FLUJOS NO PAREN**

### **5.3.1 PRESUPUESTO Y PROGRAMACIÓN MAESTRA**

La obra no contaba con un presupuesto detallado, se basó en un costo por metro cuadrado producto de la experiencia previa de la empresa con lo cual ganó el concurso. Incluye acabados, y se descompone en:

- A. Estacionamientos con un área de 2280 m<sup>2</sup> valorizados en \$ 800 000 dólares americanos. No incluye sistema contra incendios, cisterna ni cuarto de máquinas. NO INCLUYE I.G.V.
- B. Edificio de Aulas de 4 niveles con un área construida de 1455 m<sup>2</sup> valorizados en \$ 727 500 dólares americanos. No incluye Ascensor, sistema contra incendios, césped sintético, cisterna ni cuarto de máquinas. NO INCLUYE I.G.V.

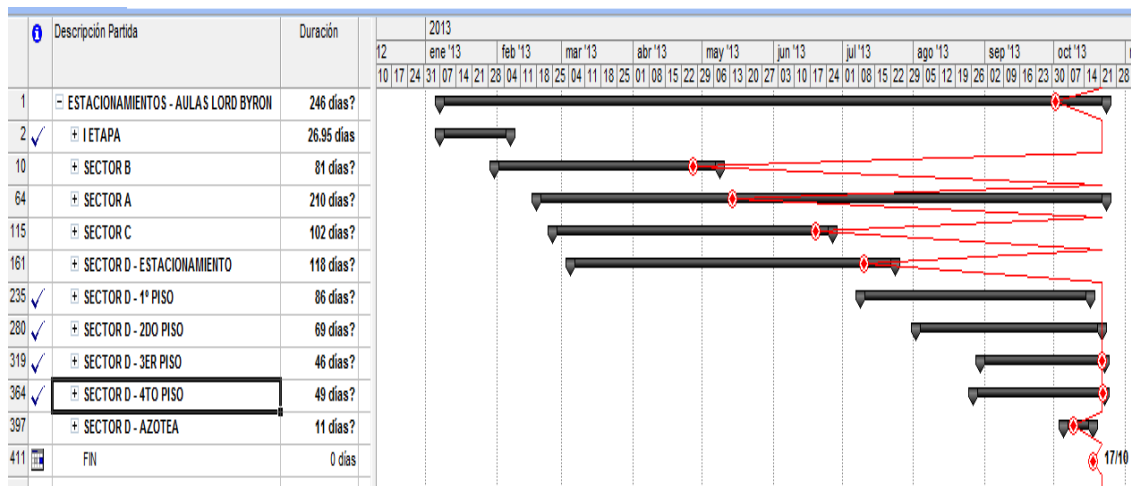
Dado que el objetivo de esta tesis es demostrar el ahorro económico conseguido con la implementación del Lean Construction, se elaboró por cuenta propia los metrados (ANEXO N°04) y el respectivo presupuesto (ANEXO N°05) que fueron aprobados por la empresa constructora. A partir de esos precios unitarios se obtuvieron los ratios a medir y comparar.

La empresa considera en su presupuesto la siguiente disposición:

|                             |                      |
|-----------------------------|----------------------|
| Estructuras                 | USD \$ 230.00        |
| Instalaciones               | USD \$ 15.00         |
| Acabados                    | USD \$ 85.00         |
| Gastos Generales y Utilidad | USD \$ 20.00         |
| <b>TOTAL</b>                | <b>USD \$ 350.00</b> |

El presupuesto realizado para esta investigación, demostró que las estructuras de los estacionamientos podían realizarse con un costo de \$ 210.00 dólares americanos aplicando la filosofía Lean Construction al poder reducir las pérdidas.

Además se coordinó con el cliente y la empresa sobre las fechas de entrega y plazos, y se armó al mismo tiempo una programación general usando MS Project que se muestra:



Así, en el Plan Maestro se plantearon los hitos que se requieren para cumplir con los objetivos propuestos:

| Sector   | Descripción   | Fecha de Entrega |
|--|---|------------------|
| <u>Sector A – B</u><br>100% de losas<br>100% acabado sobre<br>estacionamiento.<br>0% dentro del<br>estacionamiento               | “Día de la Madre Colegio Lord Byron”<br>10 de mayo  | 27 de Abril      |
| <u>Sector C – Sótano Sector D</u><br>100% de losas<br>100% acabado sobre<br>estacionamiento.<br>0% dentro del<br>estacionamiento | “Fiesta Familiar Colegio Lord Byron”<br>14 de julio | 06 de Julio      |

Tabla 8: Hitos Importantes del Proyecto Fuente: Propia

Se trabajó a nivel de grupos de actividades (fases) y se programó todo el proyecto en las etapas objetivo de esta investigación: Concreto, Acero y Encofrado.

A continuación se presenta la Planificación por Fases que contiene los hitos obtenidos del Plan Maestro para el estacionamiento y que cuyo cumplimiento fue fundamental para satisfacer al

cliente ya que la principal fuente de valor definida fue cumplir con cuidado todos los plazos establecidos.

**PLANIFICACIÓN POR FASES**  
**ESTACIONAMIENTOS**

| ACTIVIDAD                       | MESES |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                 | ENE   | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC |
| Obras Provisionales             | ⊙     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Movimiento de Tierras           | ⊙     | ⊙   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Cimentaciones                   |       | ⊙   | ⊙   | ⊙   | ⊙   |     |     |     |     |     |     |     |
| Muros de Contención             |       | ⊙   | ⊙   | ⊙   | ⊙   | ⊙   |     |     |     |     |     |     |
| Columnas                        |       | ⊙   | ⊙   | ⊙   | ⊙   | ⊙   |     |     |     |     |     |     |
| Vigas                           |       |     | ⊙   | ⊙   | ⊙   | ⊙   |     |     |     |     |     |     |
| Losas Macizas                   |       |     | ⊙   | ⊙   | ⊙   | ⊙   |     |     |     |     |     |     |
| Acabados sobre estacionamientos |       |     | ⊙   | ⊙   | ⊙   | ⊙   | ⊙   |     |     |     |     |     |
| Piso                            |       |     |     | ⊙   | ⊙   | ⊙   | ⊙   |     |     | ⊙   | ⊙   | ⊙   |

La planificación general tiene un grado muy bajo de confiabilidad y a las 3 semanas de haber realizado el Project, ya se encontraba desfasada y obsoleta. Por esa razón solo se tomaron los hitos como dato básico. Sin embargo, dado a que el MS Project permite llevar un grado de control y seguimiento fue utilizado como una herramienta que nos permitía medir el avance macro. Así, se estableció una Línea de Base y se usaron las propiedades de Control de Obra propias del programa y que serán explicadas en los capítulos siguientes. De esta manera se pudo integrar la visión macro de la programación general con el avance a mediano y corto plazo del Last Planner obteniendo resultados interesantes.

**5.3.2 LOOK AHEAD PLAN**

Para definir la ventana del *Look Ahead* se tomaron en cuenta las principales variables tales como el tiempo requerido para separar concreto premezclado, solicitar encofrado metálico al proveedor, reuniones de coordinación con el cliente sobre compatibilidad del proyecto en todas las disciplinas para garantizar su completa satisfacción y el ingreso de material dadas las condiciones de trabajo explicadas anteriormente (Se comenzó de adelante hacia atrás).

Entonces se determinó el lapso de un (1) mes como el indicado para nuestro proyecto. Asumiendo esta situación se diseñó una hoja de cálculo con un formato ideado para registrar la visión mensual del proyecto.

A continuación se muestra el instructivo empleado para el llenado del formato *Look Ahead* ya que la intención es crear un manual de procesos en la segunda etapa.



Se hacía un bosquejo del plan mensual y finalmente se trasladaba al formato antes mencionado, que era pegado en hojas A-3 dentro de la oficina en obra al alcance del maestro y trabajadores.

La clara ventaja del uso del *Look Ahead* es que permitió un control eficaz del proyecto en cuanto al cumplimiento de hitos. De esta manera se programaba el trabajo para que la duración de las tareas nos permita cumplir con estas fechas.

El ANEXO N°06 es una plantilla *Look Ahead* del Sector C, cuyo trabajo fue a un ritmo acelerado y con bastante presión, pero que con la correcta planificación se logró cumplir el plan.

Una vez armado un plan de 4 semanas se procede a analizar las restricciones. Las actividades que están sin restricciones pasan al plan semanal y se deben ejecutar en la primera semana de la ventana.

**DIFICULTADES – LECCIONES APRENDIDAS**  
**IMPLEMENTACIÓN LOOK AHEAD**

- ✘ Se pierde relación con la planificación maestra. Resulta muy complicado cumplir con la planificación maestra tras 1 mes de trabajo porque como se ha visto esta se desactualiza prácticamente a la primera semana. Es necesario actualizar el máster plan y retomar los hitos importantes.
- ✘ Resulta un trabajo tedioso rehacer todas las semanas el plan mensual, modificarlo y volverlo a imprimir pero es parte importante para el cumplimiento de tareas.
- ✓ No se recomienda copiar las partidas del presupuesto y pegarlas en el formato *Look Ahead* porque resulta muy largo y difícil de comprender. Es preferible agrupar las actividades por sus similitudes (horizontales, verticales, excavaciones) o usar un idioma más sencillo (en vez de “acero corrugado Grado 60 para columnas” usar “acero verticales”).
- ✓ Resulta más comprensible para el maestro de obra colocar las fechas importantes (principalmente de vaciados) en un calendario grande o anotado en la pizarra ya que no tiene práctica ni un claro conocimiento de diagramas de Gantt y otro tipo de esquemas.

**5.3.3 ANÁLISIS DE RESTRICCIONES**

El análisis de restricciones es una herramienta fundamental para la correcta implementación del Last Planner System® ya que su propósito directo es evitar que los flujos no paren (característica básica de un sistema de producción eficiente).

Se acondicionó un formato obtenido del know-how de empresas constructoras reconocidas en el país y se llenaba semanalmente. Sin embargo solo se imprimían cuando las restricciones eran muy grandes, tal es el caso de separar la bomba a la concretera o se necesitaban definir temas con el cliente. Esto básicamente porque en las reuniones en campo se acordaba la responsabilidad de cada integrante del equipo y los plazos de cumplimiento, también porque las actividades eran repetitivas y la cadena de producción siempre era la misma: Acero – Encofrado – Concreto (el sistema estructural era de pórticos y placas de concreto armado con losas macizas y aligeradas). Esto implica que la logística era la misma cíclicamente y los

proveedores siempre estaban preparados (a excepción de la concretera que representa la mayor pérdida y la más alta variabilidad).

Cuando las actividades están libres de restricciones pasan a la programación semanal y se encuentran aptas para su ejecución y posterior evaluación.

A continuación se muestra el instructivo empleado para el llenado del formato *Análisis de Restricciones*, y un ejemplo en el ANEXO N°07.

| <b>NOMBRE DEL DOCUMENTO</b>   |                                     |        |               |                             |  |                       |                  |  |           |                                 |           |           |           |    |
|---|-------------------------------------|--------|---------------|-----------------------------|--|-----------------------|------------------|--|-----------|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|----|
| <b>INSTRUCTIVO DE LLENADO DEL FORMATO</b>   |                                     |        |               |                             |  |                       |                  |  |           |                                 |           |           |           |    |
| <b>“ANÁLISIS DE RESTRICCIONES”</b>  |                                     |        |               |                             |  |                       |                  |  |           |                                 |           |           |           |    |
| OBRA: ESTACIONAMIENTOS - ANILAS COLEGIO LORD BYRON<br>RESPONSABLE: ING. DANTE YAGUA PADILLA<br>ANÁLISIS DE RESTRICCIONES: |                                     |        |               |                             |  |                       |                  |  |           |                                 |           |           |           |    |
| SEMANA 14   |                                     |        |               |                             |  |                       |                  |  |           |                                 |           |           |           |    |
| ACTIVIDADES DETALLADAS PARA: SEMANA 14  |                                     |        |               |                             |  |                       |                  |  |           |                                 |           |           |           |    |
| OBJ: PAVIMENTO  |                                     |        |               |                             |  |                       |                  |  |           |                                 |           |           |           |    |
| Nº  | CÓDIGO                              | SECTOR | De donde sale | DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD | DESCRIPCIÓN DE LA RESTRICCIÓN                                | FECHA REQUERIDA DE OB | RESPONSABLE      | OBSERVACIONES  | STATUS    | N.º DE RESTRICCIONES POR SEMANA |           |           |           |    |
|   |                                     |        |               |                             |  |                       |                  |  |           | SEMANA 14                       | SEMANA 15 | SEMANA 16 | SEMANA 17 |    |
|   |                                     |        |               |                             |  |                       |                  |  |           | 17                              | 1         | 0         | 0         | 0  |
| 1   | 01.02                               | SECTOR |               | MOVIMIENTO DE TIERRAS       | Definir dimensiones y profundidad de zanjas para el cableado | 18-abr                | Ing. Dante Yagua | Definir dimensiones y profundidad de zanjas para el cableado | Pendiente | 1                               | 1         | 1         | 202       | 06 |
| 2   | 01.02.01                            | SECTOR |               | MOVIMIENTO DE TIERRAS       | Definir dimensiones y profundidad de zanjas para el cableado | 18-abr                | Ing. Dante Yagua | Definir dimensiones y profundidad de zanjas para el cableado | Pendiente | 1                               | 1         | 1         | 1         | 1  |
| 3   | 01.02.01.01                         | SECTOR |               | CONCRETO SINI SARDINILE     | Definir y colocar la junta                                   | 18-abr                | Ing. Dante Yagua | Definir y colocar la junta                                   | Pendiente | 1                               | 1         | 1         | 1         | 1  |
| 4   | 01.02.01.01.01                      | SECTOR |               | CONCRETO SINI SARDINILE     | Trasero de la junta  | 18-abr                | Ing. Dante Yagua | Trasero de la junta  | Pendiente | 1                               | 1         | 1         | 1         | 1  |
| 5   | 01.02.01.01.01.01                   | SECTOR |               | CONCRETO SINI SARDINILE     | Colocar acero para el concreto                               | 18-abr                | Ing. Dante Yagua | Colocar acero para el concreto                               | Pendiente | 1                               | 1         | 1         | 1         | 1  |
| 6   | 01.02.01.01.01.01.01                | SECTOR |               | CONCRETO SINI SARDINILE     | Comenzar a preparar el concreto                              | 18-abr                | Ing. Dante Yagua | Comenzar a preparar el concreto                              | Pendiente | 1                               | 1         | 1         | 1         | 1  |
| 7   | 01.02.01.01.01.01.01.01             | SECTOR |               | CONCRETO SINI SARDINILE     | Comenzar a preparar el concreto                              | 18-abr                | Ing. Dante Yagua | Comenzar a preparar el concreto                              | Pendiente | 1                               | 1         | 1         | 1         | 1  |
| 8   | 01.02.01.01.01.01.01.01.01          | SECTOR |               | CONCRETO SINI SARDINILE     | Comenzar a preparar el concreto                              | 18-abr                | Ing. Dante Yagua | Comenzar a preparar el concreto                              | Pendiente | 1                               | 1         | 1         | 1         | 1  |
| 9   | 01.02.01.01.01.01.01.01.01.01       | SECTOR |               | CONCRETO SINI SARDINILE     | Comenzar a preparar el concreto                              | 18-abr                | Ing. Dante Yagua | Comenzar a preparar el concreto                              | Pendiente | 1                               | 1         | 1         | 1         | 1  |
| 10  | 01.02.01.01.01.01.01.01.01.01.01    | SECTOR |               | CONCRETO SINI SARDINILE     | Comenzar a preparar el concreto                              | 18-abr                | Ing. Dante Yagua | Comenzar a preparar el concreto                              | Pendiente | 1                               | 1         | 1         | 1         | 1  |
| 11  | 01.02.01.01.01.01.01.01.01.01.01.01 | SECTOR |               | CONCRETO SINI SARDINILE     | Comenzar a preparar el concreto                              | 18-abr                | Ing. Dante Yagua | Comenzar a preparar el concreto                              | Pendiente | 1                               | 1         | 1         | 1         | 1  |

- 1 Corresponde al ítem sacado del presupuesto. Por ejemplo, 01.02
- 2 Sub-ítem del presupuesto. Por ejemplo 01.02.01
- 3 Sector al que corresponde la restricción.
- 4 El nombre de la partida. (La plantilla Excel lo arrastra automáticamente)
- 5 El nombre de la sub-partida. (La plantilla Excel lo arrastra automáticamente)
- 6 Se describe concretamente la restricción. Es necesario ser claros y precisos. Por ejemplo: “Contactar con proveedor para definir la dimensión del poste”.
- 7 La fecha en que la actividad debe estar libre de restricciones para poder ser tomada en cuenta en el plan semanal.
- 8 El encargado de la levantar la restricción. Los 3 principales responsables eran el ing. Residente, el asistente en obra y el maestro de obra.
- 9 Las observaciones buscan especificar un poco más la restricción, pero básicamente definen la acción a realizar. Por ejemplo: “Coordinar reunión día Lunes”.
- 10 Se analiza la restricción y se compara con la realidad, de este modo se define el status que puede ser “OK!” o “PENDIENTE”.
- 11 Se debe colocar la fecha del punto 7 en este cronograma con el objetivo de controlar una estadística con el porcentaje de actividades sin restricciones en las 4 semanas siguientes.

|           |            |          |        |
|-----------|------------|----------|--------|
| CÓDIGO    | FECHA      | REVISIÓN | PÁGINA |
| LC-ILL-02 | JULIO 2013 | 01       | 1 de 1 |

**DIFICULTADES – LECCIONES APRENDIDAS**  
**IMPLEMENTACIÓN ANÁLISIS DE RESTRICCIONES**

- ✘ Es un poco complicado por la forma de trabajar a la que estamos acostumbrados poder anticiparnos a la fecha de requerimiento en obra con el 100% de las restricciones numeradas. Sin embargo la cantidad de procesos repetitivos y entender la importancia de este análisis permiten que se pueda mejorar con el transcurrir del tiempo.
- ✘ Muchas veces las actividades de la semana estaban con restricciones, y según la teoría solo se deben programar en el plan semanal aquellas que se encuentren libres de restricciones. Poco a poco se llegó a dominar el tiempo necesario para levantar una restricción. Así por ejemplo, al principio el pedido de acero se hacía con 2 días de anticipación.
- ✘ Comenzó a aparecer la principal restricción del proyecto: La disponibilidad del concreto premezclado para vaciados de un volumen considerable con la única concretera del medio. (Se analizará con detenimiento posteriormente).
- ✓ No se recomienda copiar las partidas del presupuesto y pegarlas en el formato *Look Ahead* porque resulta muy largo y difícil de comprender. Es preferible agrupar las actividades por sus similitudes (horizontales, verticales, excavaciones) o usar un idioma más sencillo (en vez de “acero corrugado Grado 60 para columnas” usar “acero verticales”).
- ✓ Es recomendable anotar las principales restricciones en una pizarra y las restricciones menos importantes o con un plazo mayor de tiempo para levantarlas alcanzárselas al responsable con el uso de post-it.
- ✓ Es necesario un seguimiento al cumplimiento de las restricciones porque de lo contrario el flujo puede parar al no haber mano de obra, recursos, equipos, insumos, etc.

**5.3.4 PROGRAMACIÓN SEMANAL**

De las actividades y tareas que se tienen listas, libres de restricciones importantes, se seleccionan aquellas que entrarán a la programación semanal. Si logran entrar a la ventana de la primera semana, deben contar con toda la información, espacio, materiales, equipos, actividades predecesoras cumplidas, mano de obra necesaria para su correcta realización.

Al entrar al plan semanal, una actividad se vuelve un compromiso a ser cumplido por el último planificador. Por esta razón es importante recordárselo constantemente mediante una anotación gráfica o esquemática. En este caso se decidió elaborar la programación semanal en la pizarra de la oficina con las actividades principales a realizar.

De esta manera el compromiso y la meta semanal queda claro y se utilizan los recursos de la manera más adecuada que permite alcanzar los objetivos propuestos para luego ser analizados y evaluados en el PPC.

El formato utilizado para esta labor y su hoja de procesos era el siguiente:

**NOMBRE DEL DOCUMENTO**  
**INSTRUCTIVO DE LLENADO DEL FORMATO**  
**“PLAN SEMANAL”**

OBRA: ESTACIONAMIENTOS - AULAS COLEGIO LORD BYRON  
RESPONSABLE: ING. DANTE YAGUA PADILLA  
PLAN SEMANAL:

SEMANA 21

| ÍTEM     | Actividad                 | Und      | Metrado Total | Metrado Semanal | SEMANA 21 |    |    |          |    |    |    |
|----------|---------------------------|----------|---------------|-----------------|-----------|----|----|----------|----|----|----|
|          |                           |          |               |                 | MAYO      |    |    |          |    |    |    |
|          |                           |          |               |                 | L         | M  | M  | J        | V  | S  | D  |
|          |                           |          |               |                 | 27        | 28 | 29 | 30       | 31 | 01 | 02 |
| <b>1</b> | <b>II ETAPA</b>           | <b>3</b> | <b>4</b>      | <b>5</b>        |           |    |    | <b>6</b> |    |    |    |
|          | <b>SECTOR C</b>           |          |               |                 |           |    |    |          |    |    |    |
| 4.1      | EXCAVACIÓN                | m3       |               |                 | X         | X  | X  |          |    |    |    |
| 4.2      | CONCRETO SOLADO           | m2       |               |                 |           | X  | X  |          |    |    |    |
| 4.3      | ACERO VC, ZAPATAS         | kg       |               |                 |           |    |    | X        |    |    |    |
| 4.4      | ACERO VERTICALES          | kg       |               |                 |           | X  | X  | X        | X  |    |    |
| 4.5      | CONCRETO VC, ZAPATAS      | m3       |               |                 |           |    |    |          |    | C² |    |
| 4.6      | ENCOFRADO VERTICALES      | m2       |               |                 |           |    |    |          |    |    |    |
| 4.7      | CONCRETO VERTICALES       | m3       |               |                 |           |    |    |          |    |    |    |
| 4.8      | DESENCOFRADO VERTICALES   | m2       |               |                 | X         | X  |    |          |    |    |    |
| 4.9      | RELLENO                   | m3       |               |                 |           |    |    | X        | X  |    |    |
| 4.10     | NIVELACIÓN                | m2       |               |                 | X         |    |    |          |    |    |    |
| 4.11     | PAVIMENTO                 | m2       |               |                 |           |    |    |          |    |    |    |
| 4.12     | ENCOFRADO HORIZONTALES    | m2       |               |                 | X         | X  | X  | X        | X  |    |    |
| 4.13     | ACERO HORIZONTALES        | kg       |               |                 | X         | X  | X  | X        | X  |    |    |
| 4.14     | CONCRETO HORIZONTALES     | m3       |               |                 |           |    |    |          | Z2 |    |    |
| 4.15     | CONTRAPISO                | m2       |               |                 |           |    |    |          |    |    |    |
| 4.16     | DESENCOFRADO HORIZONTALES | m2       |               |                 |           |    |    |          | X  |    |    |
| 4.17     | DETALLES ARQUITECTÓNICOS  |          |               |                 |           |    |    |          |    |    |    |

- |          |   |
|----------|---|
| <b>1</b> | Corresponde al ítem sacado del presupuesto. Por ejemplo, 01.02  |
| <b>2</b> | Nombre de la Actividad. En este caso no solo es copiar del presupuesto, se deben incrementar todas las actividades, trabajos, mandados, etc. que intervienen en la semana y son importantes. Por ejemplo: Concreto Verticales, Armar Winche, Reunión con Cliente. |
| <b>3</b> | Unidad de medida. Si no tiene unidad poner “ – ”  |
| <b>4</b> | Metrado Total extraído del presupuesto. Si no tiene metrado poner “ – ”   |
| <b>5</b> | Metrado semanal objetivo. Es el avance que se pretende tener en la semana. Si no tiene metrado poner “ – ”  |
| <b>6</b> | Se le asigna un día de la semana a cada actividad. Puede ponerse una “X”, colorearse, poner el sector al que pertenece; en general cualquier identificador que sea significativo para los que utilizarán el plan.   |

|           |            |          |        |
|-----------|------------|----------|--------|
| CÓDIGO    | FECHA      | REVISIÓN | PÁGINA |
| LC-ILL-03 | JULIO 2013 | 01       | 1 de 1 |

**DIFICULTADES – LECCIONES APRENDIDAS**  
**IMPLEMENTACIÓN PROGRAMACIÓN SEMANAL**

- ✘ Era común incluir actividades en el plan semanal sin que hayan sido liberadas a la fecha de programar por la costumbre de hacerlo un día antes o el mismo día. Por ejemplo, armando el plan un día viernes, y necesitando el acero para el miércoles, se esperaba

llamar el día martes para pedirlo sin ser conscientes de que podía fallarnos el proveedor principal o cualquier otra razón externa que podía detener el flujo.

- ✘ En esta primera etapa el plan semanal era impreso en hojas A-3 exactamente como el formato. Esto presentó ciertas dificultades porque no es muy fácil para el maestro de obra o el personal leer e interpretar el gráfico tipo Gantt. Así que se analizó una forma más sencilla y dinámica para la siguiente etapa.
- ✘ Si el plan semanal no es elaborado en conjunto no trae resultados y es simplemente una hoja pegada en la pared. Se debe realizar en equipo y con el compromiso de su realización.
- ✓ No se trata solo de copiar la primera semana del Look Ahead e imprimirla. Se debe realizar un análisis más profundo de ésta y explotar las actividades para determinar cómo controlar las restricciones.
- ✓ No se recomienda copiar las partidas del presupuesto y pegarlas en el formato *Look Ahead* porque resulta muy largo y difícil de comprender. Es preferible agrupar las actividades por sus similitudes (horizontales, verticales, excavaciones) o usar un idioma más sencillo (en vez de “acero corrugado Grado 60 para columnas” usar “acero verticales”).
- ✓ Es recomendable que las principales y más importantes actividades a realizar en la semana sean resaltadas por ser más críticas que las demás. Por ejemplo contratar la maquinaria para el día martes debe hacerse en el momento adecuado. De lo contrario significará el fracaso del Plan semanal.

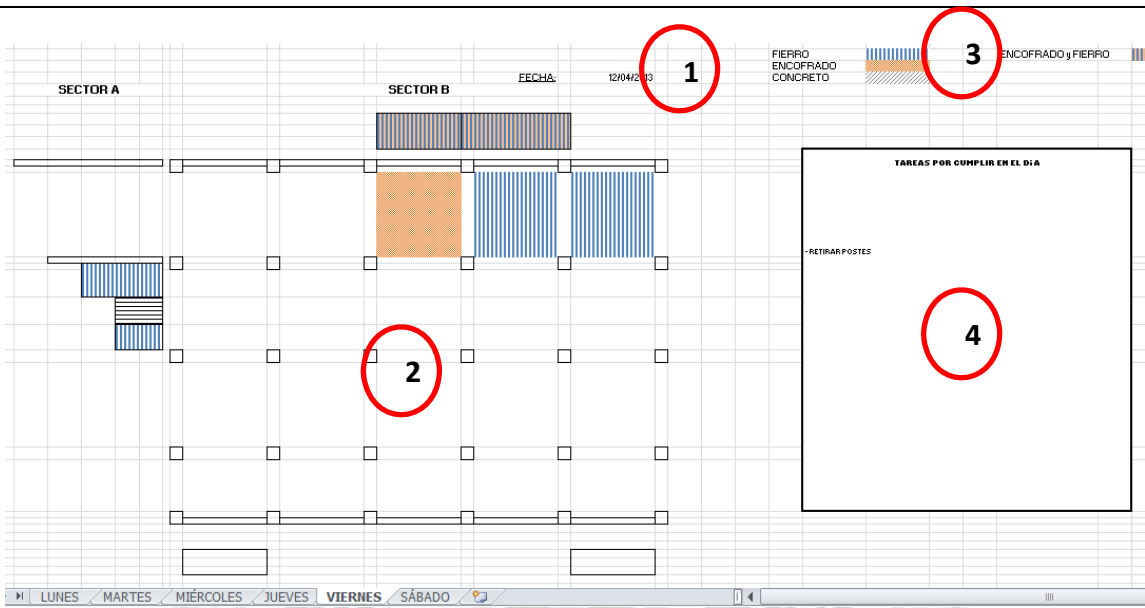
### 5.3.5 PROGRAMACIÓN DIARIA

La programación diaria o POD (Plan Of Day) se define una vez establecido el plan semanal, generalmente la tarde anterior y en obra para compararlo con el avance físico real. De este modo, el maestro de obra y el ingeniero anotan en su cuaderno de apuntes la idea para el día siguiente siempre mirando al objetivo semanal.

A primera hora de la mañana se hace una reunión diaria con el personal donde se les da a conocer el plan del día, se arman las cuadrillas, se les asignan la cantidad de recursos necesarios, se tratan aspectos de seguridad y por último se les motiva a seguir trabajando con el compromiso de la semana.

En esta etapa se puso a prueba el uso del Microsoft Excel como plantilla gráfica para la programación diaria. Se bosqueja con celdas del programa los elementos de la obra y se les asigna colores diferenciados para la tarea del día.

A continuación se muestra una plantilla para la programación del día y se explican las experiencias de mejora continua:

| <b>NOMBRE DEL DOCUMENTO</b><br><b>INSTRUCTIVO DE LLENADO DEL FORMATO</b><br><b>“PLAN DEL DÍA”</b> |   |          |        |
|---|---|----------|--------|
|                 |   |          |        |
| <b>1</b>  | Fecha del día de Trabajo. Se puede programar en Excel para que sea automatizado con una fórmula.  |          |        |
| <b>2</b>  | Esquema gráfico realizado con Celdas de Excel. Se pueden hacer fácilmente columnas, placas, muros. No es algo exacto pero tiene que permitir rellenar y colorear con facilidad.                                   |          |        |
| <b>3</b>  | Listado de actividades, cada una con su respectiva trama o color de relleno. De este modo si hay que encofrar o vaciar cierta zona se rellena con un color o trama diferente.                                     |          |        |
| <b>4</b>  | Tareas por Cumplir en el Día. En este cuadro se ponen las tareas como lista de actividades o se podría poner con horas, dependiendo del nivel de precisión y del personal de Soporte para el llenado de la ficha. |          |        |
| CÓDIGO  | FECHA   | REVISIÓN | PÁGINA |
| LC-ILL-04   | JULIO 2013  | 00       | 1 de 1 |

| <b><u>DIFICULTADES – LECCIONES APRENDIDAS</u></b><br><b><u>IMPLEMENTACIÓN PLAN DEL DÍA</u></b>  |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>✘ El llenado de este formato requiere de tiempo y para ello es necesario personal que tenga esta labor como una de sus responsabilidades.</li> <li>✘ Es fundamental el compromiso del grupo de trabajo porque de lo contrario va a ser simplemente una hoja sin sentido y que será desechada constantemente.</li> <li>✓ Es muy bueno realizar el plan del día siguiente en una pequeña reunión en campo con el Último Planificador ya que brindará aportes muy importantes sobre el avance real y las restricciones que se puedan tener que muchas veces no son de conocimiento del Ingeniero.</li> <li>✓ Resulta importante consultarle a los jefes de cuadrillas y operarios principales sobre su capacidad para realizar estas labores. Así, se llegan a comprometer y tienen el conocimiento de la labor que realizarán al día siguiente.</li> </ul> |

- ✓ Durante la preparación de este plan es importante considerar la cantidad de recursos que se utilizarán y sobretodo distribuir correctamente la mano de obra, de tal manera que en la reunión diaria sobre el Plan del Día, todo el personal tenga claro el trabajo que realizará y no se presente el caso de personal que no estaba considerado y que tenga que hacer otras labores o sobredimensione cuadrillas.

### 5.3.6 REUNIONES SEMANALES

El objetivo fundamental de las reuniones es elaborar el Plan para la siguiente Semana; pero también analizar, evaluar y tomar acciones correctivas sobre la semana anterior.

Se puede programar una o dos reuniones dependiendo de la carga de trabajo y del tiempo. Lo recomendado es una reunión semanal los días viernes, ya que permite corroborar el avance físico de la obra pero al mismo tiempo nos brinda el día sábado para levantar algunas restricciones de la siguiente semana.

Las reuniones pueden ser en la oficina y darse obligatoriamente con el Ingeniero Residente y el Maestro de Obra. La primera parte de la reunión sirve para evaluar el desempeño del personal y ver las causas de problemas y errores cometidos, implementando un sistema de mejora continua. La segunda parte extrae la siguiente semana del Look Ahead, la libera de restricciones, y la reestructura para que sea el plan de la siguiente.

**DIFICULTADES – LECCIONES APRENDIDAS**  
**IMPLEMENTACIÓN REUNIONES SEMANALES**

- ✗ Hay ocasiones en que el trabajo está tan cargado que se dejan de lado las reuniones o se hacen muy tediosas. Se debe buscar el compromiso serio para tenerlas el día pactado o de lo contrario al día siguiente pero hacerlas es fundamental.
- ✗ Es muy importante el compromiso del grupo de trabajo.
- ✓ La reunión puede ser en campo donde se aprecia con más claridad el avance y se toman mejor las decisiones. Los participantes de la reunión puede observar el desarrollo del trabajo y es más sencillo proyectarse al futuro.
- ✓ Es altamente recomendable incluir en las reuniones a jefes de cuadrillas o a operarios con una alta participación en el trabajo ya que escuchar sus necesidades y sugerencias incrementa la capacidad para proteger el plan.
- ✓ En este caso no hubo que firmar un documento, pero sería importante hacerlo para incrementar la seriedad y el compromiso asumido.

### 5.3.7 VARIABILIDAD

La Variabilidad es la ocurrencia de eventos distintos a los previstos por efectos internos o por efectos externos al sistema. Nada está libre de variabilidad porque sencillamente es una realidad de la vida; está presente en todos los proyectos y se incrementa con la complejidad y velocidad de los mismos.

Por lo tanto la obra tema de la investigación, no estuvo libre de los efectos de la variabilidad y por ello se tomaron todas las medidas necesarias para manejar la variabilidad y reducirla a su mínima expresión, puesto que de no hacerlo, ésta se incrementa y produce impactos más grandes.

La principal herramienta es el uso de Buffers, que se verá en el siguiente capítulo. A continuación se presenta y explican algunas de las técnicas utilizadas:

- ✓ Reducción del Tamaño del Lote: Sectorizar nos permite reducir el tamaño del Lote de Transferencia. Al hacer esto y convertir la producción en procesos repetitivos se logra aprender de los errores. Si no se pensó en manejar la variabilidad la primera vez y ésta ocurrió, gracias a la pequeña escala del Lote de Transferencia las pérdidas no son tan graves como hubiese ocurrido en Lotes mayores. Ejemplificándolo, si se programó un vaciado de 15 m<sup>3</sup> con concreto premezclado, las posibilidades de que sobre o falte son muy bajas; en cambio si el vaciado es de 100 m<sup>3</sup> puede faltar al final de la jornada 1 m<sup>3</sup> y dejar la estructura incompleta.

De este modo, se puede tener un mayor control de la variabilidad y reducir las pérdidas de una forma sencilla y sin ningún costo adicional.

- ✓ Entender mejor los procesos: Analizar y evaluar con detenimiento cada proceso permite al equipo técnico entender cómo funcionan, quienes intervienen, qué necesitan para trabajar, cantidad de recursos, el objetivo final, lo que se quiere producir, entre otros conocimientos requeridos para que los procesos sean eficientes. Así es como se consigue reducir la dependencia con las actividades predecesoras y reducir la variabilidad.

Si el proceso es muy complejo será necesaria la interacción de varias áreas ya que una sola de las partes no podrá saber todo lo que requiere dicha actividad. Para ello en obra se utilizaron modelos en 3 Dimensiones que permiten comprender lo que se quiere con mucha claridad, encontrar errores, solucionarlos en gabinete y producir en obra sin mayores inconvenientes.

- ✓ Reducir las dependencias entre procesos y actividades: Esta técnica consiste en identificar las actividades con alta variabilidad, y buscar independizarlas con alguna estrategia como un buffer de tiempo para que no afecte el ciclo ni el sistema de producción.

En obra se presentó en caso de la excavación de zapatas cerca a la torrentera y a un muro perimétrico con 3 árboles grandes. El proceso de excavación no podía ser controlado con precisión porque era un proceso altamente variable; apareció nivel freático, el muro corría peligro, los árboles podían caerse, hubo fuertes vientos en la ciudad, el terreno en esa zona era diferente a todos los demás y presentaba características inferiores, el talud tenía que ser vertical para vaciar los muros de contención. Ante tanta variabilidad, se independizó esta actividad y el perfilado de zanjas y vaciado de solado fueron liberados esa semana buscando otros frentes de trabajo hasta que se pueda terminar con el trabajo previo.

- ✓ Reorganización de Procesos: En muchas ocasiones los procesos de compra y logística conllevan cierta incertidumbre. Reorganizarlos permite que no falte material cuando sea necesario en obra, produciendo esperas y pérdidas de tiempo.

Para ello, se contactaron proveedores específicos y se centralizaron los pedidos en el ingeniero. La reorganización se dio al realizar los pagos con cheques de gerencia una vez enviado el material. De este modo no era necesario acercarse personalmente al distribuidor, hacer el pedido, llevar el dinero en efectivo y regresar con el producto sino que bastaba con una llamada telefónica dictando por ejemplo el acero requerido,

la fecha de entrega y el monto de la facturación; el pedido llegaba a tiempo y en el transcurso del día se entregaba el cheque con el pago. Así, de una manera eficaz se pudo controlar la variabilidad y trabajar “Just In Time”.

- ✓ Uso de Procedimientos Constructivos que reduzcan la incertidumbre: Esta forma de manejar la variabilidad es muy interesante y promueve la innovación. Básicamente consiste en cambiar y renovar los procedimientos constructivos anteriores que son muy afectados por la variabilidad y la incertidumbre. Se recomienda el uso de elementos prefabricados de concreto, prefabricar estructuras metálicas, entre otras técnicas novedosas. Por ejemplo la variabilidad que presenta la madera en los encofrados es que requiere de mucho cuidado y mantenimiento, se retacea, se seca, mojada se expande, quedan huecos por los clavos, ocupa mucho espacio en obra, genera desperdicios, si las medidas no coinciden se deben cortar, el desencofrado es lento, su resistencia es limitada, entre muchas otras desventajas en su uso (por supuesto que sigue teniendo ventajas y es muy difícil dejar de usar madera en la construcción).

En el proyecto se optó por usar encofrado metálico EFCO. Las ventajas alcanzadas y la productividad en esta partida fueron altísimas. Se evitaron muchos problemas que se presentan con la madera y el número de usos fue elevado. La capacidad para encofrar y desencofrar de los operarios se iba incrementando por ser como un rompecabezas debido a su gran versatilidad. Solo fue necesario ordenar y organizar el proceso y los resultados fueron óptimos.

Cabe mencionar que además del encofrado, se optó por usar concreto fibroreforzado para el vaciado del pavimento del sótano para evitar la variabilidad que genera la habilitación y colocación del acero de temperatura en esta losa.

También, se escogió usar topes de hule reciclado para la señalización del estacionamiento debido a que el procedimiento constructivo es más sencillo pues solo se deben hacer perforaciones para entornillar estos elementos después del vaciado del piso, reemplazando a los topes de concreto hecho en obra o prefabricado. De este modo, aunque el costo del material resulte un poco más caro, se incrementa la velocidad, el avance y la productividad de la obra al reducir la variabilidad.

### 5.3.8 **BUFFERS**

Los buffers son una buena manera de manejar la variabilidad. Llamados “colchones”, son mecanismos que permiten absorber las fluctuaciones y variaciones en el sistema de producción. En ciertas circunstancias ayudan a incrementar el rendimiento, pero si no están bien analizados, en otros casos pueden reducirlo.

En obra se creó una buena cultura de los buffers, al principio utilizados en base a la intuición o a aproximaciones informales pero después diseñados, controlados y monitoreados ya que el en foque Lean busca la mínima variabilidad y por ende el mínimo costo asociado a los buffers. Además todo buffer es una holgura intencional, y toda holgura es una pérdida.

Se presentan a continuación los buffers utilizados en obra, los beneficios y costos que significaron:

| Variabilidad                                 | Buffer  | Análisis  |
|--|---|---|
| Lluvias en la ciudad.                        | <b>Tiempo</b><br>Comenzar la jornada de trabajo más temprano por darse las lluvias generalmente a partir de la tarde. Además contar con tolderas y protección para trabajar con lluvia. | <u>Sin Buffer:</u><br>S/. 300 por hora sin trabajar.<br>La obra se paraliza hasta que pase la lluvia. Tiempos improductivos que son remunerados.<br><u>Con Buffer:</u><br>S/. 500 para seguir trabajando siempre.<br>Comprando ese material se puede seguir trabajando, quizás no con el mismo rendimiento pero se reducen las pérdidas.  |
| Errores e incompatibilidades en el proyecto. | <b>Tiempo</b><br>Analizar los planos con anticipación y prevenir los errores o incompatibilidades para ser consultadas con anticipación.  | <u>Sin Buffer:</u><br>S/. 300 por hora sin trabajar.<br>Se detiene el avance programado para la semana y se retrasa la obra.<br><u>Con Buffer:</u><br>S/. 0<br>Coordinando con anticipación se tienen las soluciones antes de que se presenten en obra.   |
| Horario de clases de los alumnos.            | <b>Tiempo</b><br>Programar los vaciados los días sábado o coordinar para hacerlo en la semana sin que existan molestias.  | <u>Sin Buffer:</u><br>S/. 300 por hora sin trabajar.<br>El vaciado se paraliza por el cruce de horarios con la salida de los alumnos.<br><u>Con Buffer:</u><br>S/. 0<br>Se establece un calendario con fechas de eventos del colegio y se programan los vaciados el día sábado.   |
| Falta de trabajadores.                       | <b>Tiempo</b><br>Considerar que se utilizarán horas extra en la semana.   | <u>Sin Buffer:</u><br>Muy variable.<br>S/. 340 por m <sup>3</sup> de concreto.<br>Si no se llega a terminar la meta del día sábado y no se termina de encofrar, el concreto despachado de la planta es desperdiciado y devuelto sin reembolso.<br><u>Con Buffer:</u><br>S/. 10 hora extra de todo el personal.<br>Se llega a la meta sin incrementar el número de trabajadores. |

|   |  |   |
|---|--|---|
| <p>Acabados del proyecto.</p>                                 | <p><b><u>Capacidad</u></b><br/>Los gustos del cliente suelen ser variables. Dejar arranques de acero tratando de prevenir las variaciones es una buena solución.</p> | <p><b><u>Sin Buffer:</u></b><br/>S/. 500 por elemento.<br/>Incluye demoler, picar, volver a encofrar, usar aditivos puentes de adherencia o de anclaje, volver a vaciar, horas hombre perdidas.<br/><b><u>Con Buffer:</u></b><br/>S/. 0.4 por 30 centímetros de acero para empalme.<br/>Dejar acero plantado en los bordes de la losa para sardineles con una altura por definir.</p> |
| <p>Retrasos / falla en vaciados con concreto pre-mezclado</p> | <p><b><u>Capacidad</u></b><br/>Agregados y cemento en cancha para vaciar con concreto en obra. Conversar con la concretera para evitar retrasos.</p>                 | <p><b><u>Sin Buffer:</u></b><br/>S/. 300 por hora de trabajo paralizados.<br/>S/. 10 hora extra por retrasos de vaciado que duran hasta después de la jornada de trabajo.<br/><b><u>Con Buffer:</u></b><br/>S/. 350 en materiales para preparar 1m<sup>3</sup> de concreto.</p>   |
| <p>Cercanía a torrentera.</p>                                 | <p><b><u>Capacidad</u></b><br/>Contar con una motobomba operativa ante la presencia de nivel freático.</p>   | <p><b><u>Sin Buffer:</u></b><br/>S/. 300 por hora de trabajo paralizados.<br/>S/. 200 para evacuar el agua acumulada.<br/><b><u>Con Buffer:</u></b><br/>S/. 50 para combustible y herramientas.<br/>Apenas se produce el afloramiento la bomba evitar su acumulación.</p>   |
| <p>Fuertes vientos en la zona.</p>                            | <p><b><u>Capacidad</u></b><br/>Entibar el talud del corte y amarrar los árboles con sogas.</p>   | <p><b><u>Sin Buffer:</u></b><br/>S/. Incalculable.<br/>Si los árboles eran tumbados por el viento y le caían a un trabajador o el talud los enterraba.<br/><b><u>Con Buffer:</u></b><br/>S/. 100 entre sogas y horas hombre de trabajo amarrando los árboles y entibando con la madera de la obra.</p>  |
| <p>Sobrantes de concreto premezclado.</p>                     | <p><b><u>Capacidad</u></b><br/>Tener siempre solados, zapatas, encofrados para vaciar el exceso de mezcla.</p>   | <p><b><u>Sin Buffer:</u></b><br/>S/. 340 por m<sup>3</sup> de concreto desperdiciado.<br/><b><u>Con Buffer:</u></b><br/>S/. 50 en horas hombre para encofrar unos metros lineales de</p>  |

|                                   |  |  |
|-----------------------------------|--|--|
|                                   |  | sardinel para los sobrantes del vaciado.   |
| Falta de personal los días lunes. | <b><u>Capacidad</u></b><br>Contratos con los trabajadores semanales. Depende de su rendimiento y avances.                      | <b><u>Sin Buffer:</u></b><br>Muy variable.<br>S/. 340 por m <sup>3</sup> de concreto.<br>Si no se llega a terminar la meta del día sábado y no se termina de encofrar, el concreto despachado de la planta es desperdiciado y devuelto sin reembolso.<br><b><u>Con Buffer:</u></b><br>S/. 0<br>Esto permite tener un personal más selecto y con mayor responsabilidad. |
| Trabajadores conflictivos.        | <b><u>Capacidad</u></b><br>Al percibir a un trabajador conflictivo o sindicalista, éste era retirado de la obra el día sábado. | <b><u>Sin Buffer:</u></b><br>S/. Variable<br>Los trabajadores de este tipo pueden influenciar a los demás y generar retrasos y pérdidas. Ya que la presión y el trabajo crítico con los trenes de trabajo, los retrasos resultan muy costosos.<br><b><u>Con Buffer:</u></b><br>S/. 0<br>Observar la actitud del trabajador y estar atentos para retirarlo a tiempo.    |
| Falta de algunos materiales.      | <b><u>Inventario</u></b><br>Tener siempre un stock de materiales para utilizarlos si los pedidos no llegan a tiempo.           | <b><u>Sin Buffer:</u></b><br>S/. 60 por hora de los operarios fierros sin se quedan sin acero.<br><b><u>Con Buffer:</u></b><br>S/. 1000 en acero de 3/8" y 1/2" para fabricar estribos o habilitarlo para elementos estructurales.   |
| Problemas con los equipos.        | <b><u>Inventario</u></b><br>Tener siempre gasolina, piezas de recambio y herramientas en almacén.                              | <b><u>Sin Buffer:</u></b><br>S/. 200 por hora la cuadrilla de vaciado de concreto sin mezcladora.<br><b><u>Con Buffer:</u></b><br>S/. 200 al mes y una sola vez para un mantenimiento preventivo.<br>S/. 50 para gasolina en stock.  |

Como se aprecia, los buffers representan gastos y deben ser analizados con detenimiento antes de usarlos sin control.

## PASO 2: FLUJOS EFICIENTES

### 5.3.9 SECTORIZACIÓN

Dada la gran extensión de área de terreno el proyecto se dividió estructuralmente en 4 bloques y por eso se aprovechó esta separación para definir los sectores principales. Posteriormente cada sector principal se fue dividiendo en sectores secundarios para aplicar los trenes de trabajo con efectividad.

#### 5.3.9.1 Sectores Principales

- Sector A: Comprende el Acceso Principal y está formado por una rampa, muros de contención y escaleras. De un área de 222 m<sup>2</sup> aproximadamente.
- Sector B: Abarca la primera parte de los estacionamientos, formado por columnas interiores, muros de contención perimetrales, vigas peraltadas y losas macizas. De un área aproximada de 1208 m<sup>2</sup>.
- Sector C: De similar estructura que el sector B pero de menor área: 733.75 m<sup>2</sup>
- Sector D: Comprende el edificio de 5 pisos incluyendo un sótano y cuenta con un área de terreno de 364 m<sup>2</sup> y 1880 m<sup>2</sup> de área construida.

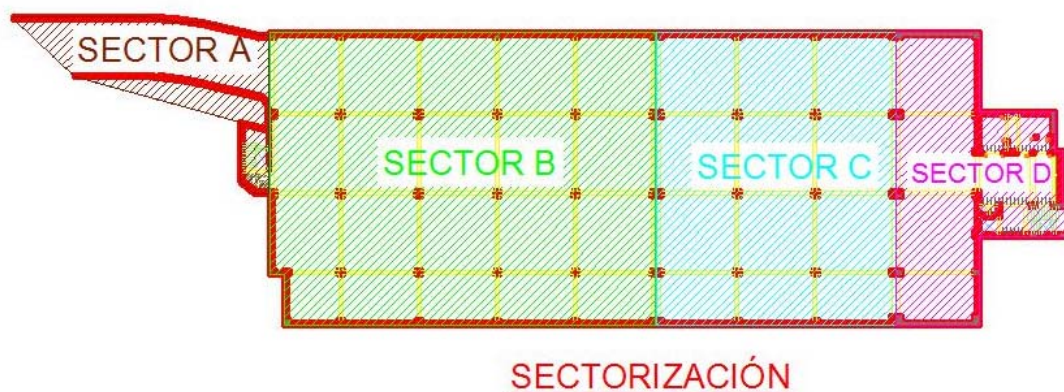


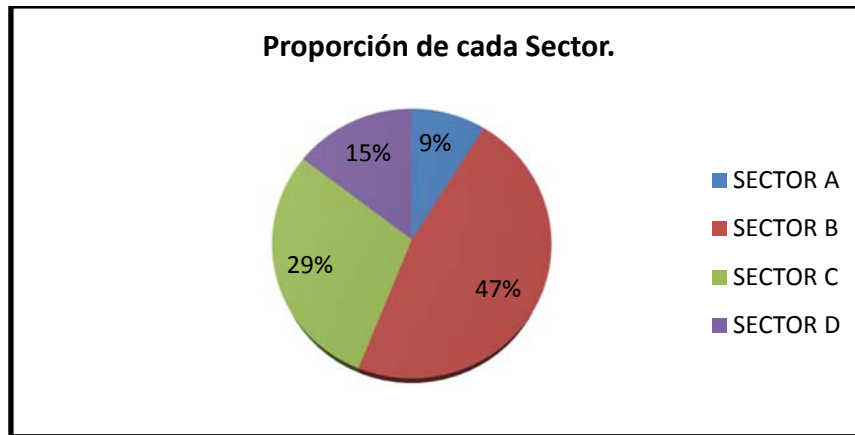
Ilustración 1: Sectorización global de la obra. *Fuente: Propia*

Se muestra una tabla y un gráfico que muestran la proporción de cada sector con respecto al total usando valores de áreas, concreto en Elementos Horizontales y Acero de horizontales:

| ZONA     | ÁREA (m <sup>2</sup> ) | CONCRETO (m <sup>3</sup> ) | FIERRO (kgf) | PORCENTAJE (%) |
|----------|------------------------|----------------------------|--------------|----------------|
| SECTOR A | 222.00                 | 1.18                       | 263.52       | 9%             |
| SECTOR B | 1175.27                | 306.89                     | 21211.00     | 47%            |
| SECTOR C | 732.75                 | 195.38                     | 13554.00     | 29%            |
| SECTOR D | 363.68                 | 77.72                      | 30024.00     | 15%            |
| TOTAL    | 2493.70                | 581.17                     | 65052.52     | 100%           |

Tabla 9: Proporción de cada Sector. *Fuente: Propia*

Estos valores se pueden graficar de la siguiente forma:



### **5.3.9.2 Sectores Principales**

Se procedió a dividir cada Sector en Subsectores de menor tamaño para poder usar lotes de producción y transferencia más pequeños y manejables. Es importante destacar que hubo una restricción importante en la obra: Solo se podían hacer vaciados con concreto premezclado los días sábados o en ocasiones especiales por tratarse de un colegio con los estacionamientos en construcción.

Debido al alto costo del alquiler del encofrado metálico, se buscó alquilar la menor cantidad posible y hacerla rotar rápidamente, para lo cual fue necesario hacer cortes al vaciado de elementos horizontales vigas y losas macizas, usar puentes de adherencia y acelerantes de resistencia.

Ante la incredulidad de la gerencia que pretendía encofrar el 100% de cada sector, se consultó al ingeniero estructural sobre la factibilidad de cortar vaciados al tercio de la losa y la respuesta fue positiva siempre y cuando la zona de corte tenga una inclinación cercana a 45°.

Se consiguió la ficha técnica de un producto epóxico para usarlo en vaciados con más de 15 días entre ellos ya que a los 7 días (de sábado a sábado) se decidió no usar puentes de adherencia. Se adjunta en el ANEXO N°08 las especificaciones técnicas del aditivo.

Además se comparó el costo de usar concreto con acelerantes de resistencia con la intención de desencofrar rápidamente y rotar el encofrado en algunos casos y en otros porque tener encofrado el acceso representaba costos de transporte.

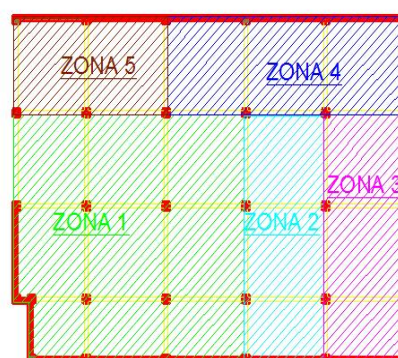
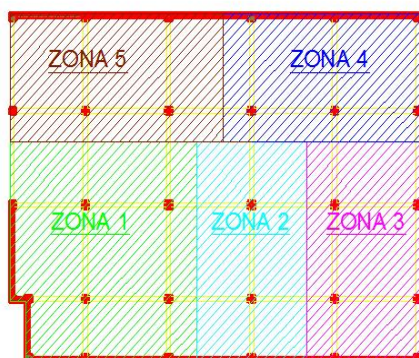
Con esta información bien clara, la gerencia se convenció de que iba a resultar un ahorro y nos permitiría avanzar con rapidez para cumplir con los hitos.

#### **SECTOR B**

El sector B se dividió en 4 zonas con metrados similares para tener lotes de producción y transferencia manejables. La primera zona fue de gran tamaño debido al desconocimiento y a la novedad del método. Se presentan a continuación dos esquemas para definir los límites de cada zona: según el concreto los márgenes están a los tercios de vigas y losas y según el encofrado por vigas y losas completas ya que es necesario encofrarlas en su totalidad.

CONCRETO

ENCOFRADO



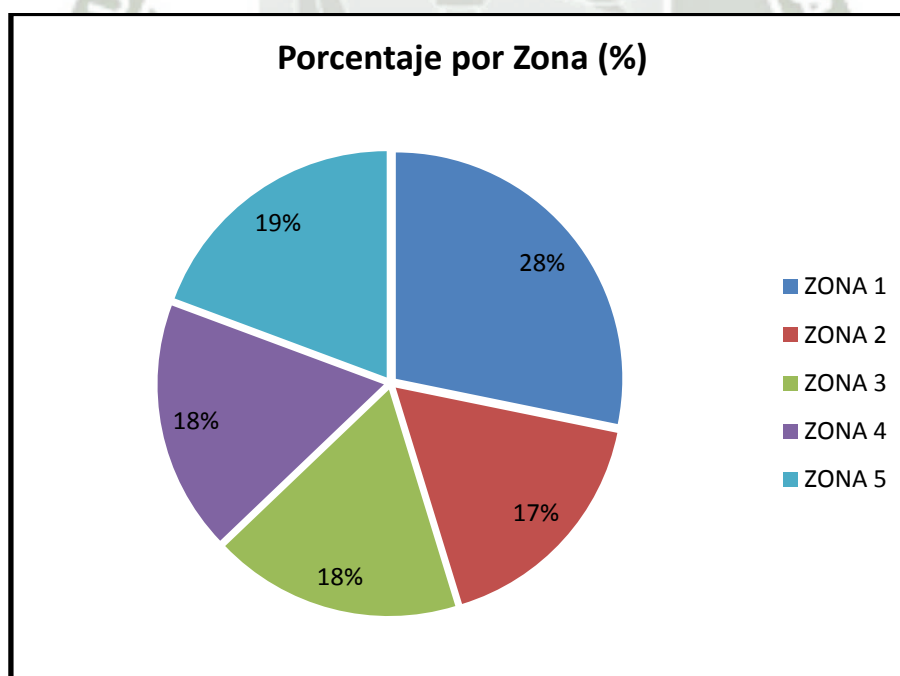
SECTOR B

SECTOR B

En la siguiente tabla se muestra el área de cada zona y el volumen de concreto por vaciado.

| ZONA   | ÁREA (m <sup>2</sup> ) | CONCRETO (m <sup>3</sup> ) | ACERO (kgf) | PORCENTAJE (%) |
|--------|------------------------|----------------------------|-------------|----------------|
| ZONA 1 | 331.50                 | 86.40                      | 5982.84     | 28%            |
| ZONA 2 | 200.34                 | 50.50                      | 3615.69     | 17%            |
| ZONA 3 | 206.95                 | 56.34                      | 3734.99     | 18%            |
| ZONA 4 | 209.40                 | 55.13                      | 3779.20     | 18%            |
| ZONA 5 | 227.08                 | 58.52                      | 4098.29     | 19%            |
| TOTAL  | 1175.27                | 306.89                     | 21211.00    | 100%           |

Tabla 10: Porcentajes Sector B. Fuente: Propia

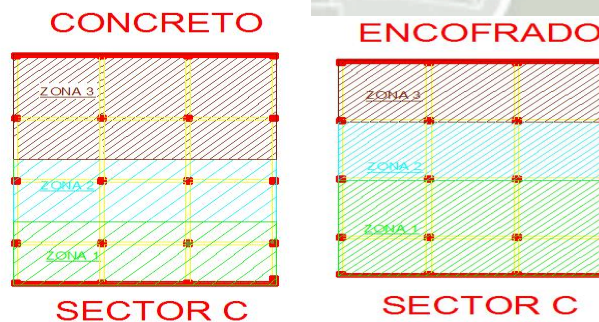


Se presentan a continuación una secuencia fotográfica referenciada con fechas reales de los vaciados según la sectorización real en obra.



**SECTOR C**

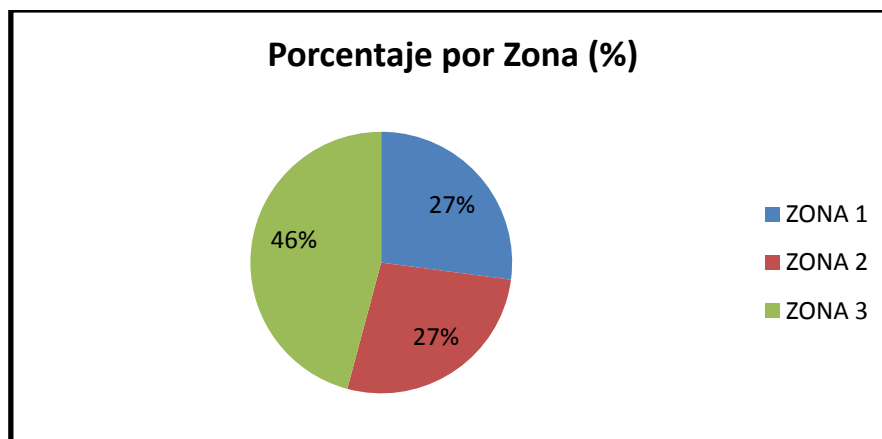
Tras el éxito de la sectorización anterior, el sector C se hizo con más facilidad y con un sistema diseñado para rotar encofrados hasta considerar el edificio. Se presenta a continuación esquemas similares a los del sector B para determinar los límites. Estos esquemas estaban en obra para que los trabajadores tengan conocimiento del plan.



En la siguiente tabla se muestra el área de cada zona y el volumen de concreto por vaciado.

| ZONA   | ÁREA (m <sup>2</sup> ) | CONCRETO (m <sup>3</sup> ) | FIERRO (kgf) | PORCENTAJE (%) |
|--------|------------------------|----------------------------|--------------|----------------|
| ZONA 1 | 198.45                 | 54.00                      | 3671.82      | 27%            |
| ZONA 2 | 198.50                 | 53.96                      | 3672.74      | 27%            |
| ZONA 3 | 335.60                 | 87.42                      | 6209.44      | 46%            |
| TOTAL  | 732.55                 | 195.38                     | 13554.00     | 100%           |

Tabla 11: Porcentajes Sector C. Fuente: Propia



El sector D se verá con detalle en la “SEGUNDA ETAPA”.



### 5.3.10 TRENES DE TRABAJO

Los trenes de trabajo fueron muy utilizados en la obra debido a la cantidad de actividades repetitivas. Por esta razón se crearon cuadrillas que cambiaban de estación y avanzaban una

consecutivamente a la otra. Se comprendió que la tarea principal del último planificador y del equipo de trabajo era asegurarse que los flujos no paren, ya que si una cuadrilla se detenía o fallaba en su producción, la cuadrilla predecesora la alcanzaba y teníamos una pérdida muy común: ESPERAS.

Este tipo de programación convierte todas las actividades en críticas, a diferencia del tradicional CPM, en el que al tomarse una sola ruta crítica se está considerando que existen holguras para otras actividades que a la larga se convierten en “pérdidas”. Cabe mencionar que existe el peligro que, al no contar con holguras, cada retraso de una actividad genere atraso al resto de actividades. Por ello, para su aplicación se prefieren Proyectos con poca variabilidad o como en este caso controlar la variabilidad con el Last Planner.

Sin embargo es importante mencionar que la gerencia no creía en la especialización del trabajo y por más que se intentó no se pudo cambiar la forma de pensar. Es así que en muchos casos la mitad del personal que encofraba ayudaba después en el fierro o los que excavaban tenía que vaciar solados. De esta manera los lotes de producción en algunos casos eran exactamente iguales a los lotes de transferencia.

Se analizarán dos de los principales trenes de actividades y los resultados de su aplicación.

**ACTIVIDAD: ELEMENTOS VERTICALES**

Todas las actividades estaban siempre restringidas por el hecho de que el vaciado tenía que ser solo los días sábados así que se trataron de amoldar los trenes para que el lote de producción final sea vaciado del día sábado.



**ACTIVIDAD: ELEMENTOS HORIZONTALES**

El tren de trabajo formado para los elementos horizontales en el sector C fue la mejor expresión que se tuvo. Del mismo modo la restricción del vaciado al día sábado produjo que el lote de producción final sea el necesario para conseguir la meta de la semana. Sin embargo los lotes de producción en actividades más pequeñas se pudieron observar con más precisión:

| ACTIVIDAD                                   | DÍA 1      | DÍA 2      | DÍA 3       | DÍA 4       | DÍA 5       | DÍA 6       |
|---|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN                   | PAÑO 1-2-3 | PAÑO 4-5-6 |             |             |             |             |
| FONDOS DE VIGAS                             |            | PAÑO 1-2-3 | PAÑO 4-5-6  |             |             |             |
| ACERO VIGAS                                 |            |            | PAÑO 1 AL 6 |             |             |             |
| COSTADOS DE VIGAS Y APUNTALAMIENTO DE LOSAS |            |            |             | PAÑO 1 AL 6 |             |             |
| ACERO LOSAS                                 |            |            |             |             | PAÑO 1 AL 6 |             |
| CONCRETO                                    |            |            |             |             |             | PAÑO 1 AL 6 |

Tabla 12: Tren de actividades partida “Elementos Horizontales”. Fuente: *Propia*.



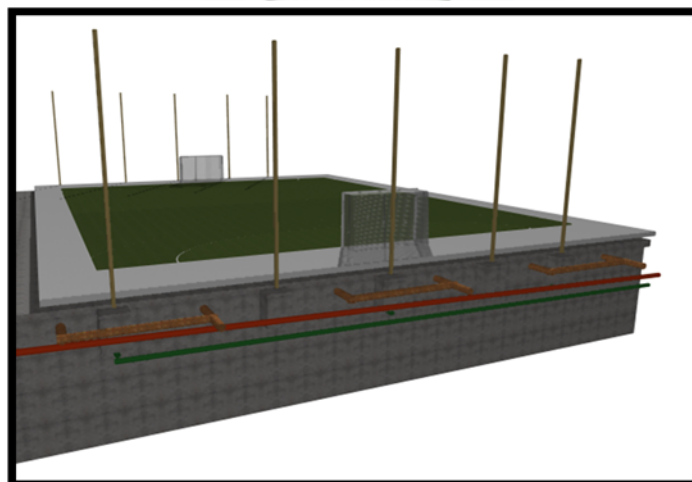
### 5.3.11 BUILDING INFORMATION MODELING

Dada la gran extensión de terreno del proyecto, tener una visión macro y controlar todo resultaba bastante complicado. Una herramienta poderosa para llegar a entenderlo fue la tecnología BIM.

Para el modelamiento se usó el software ARCHICAD 2013 con una interfaz bastante amigable y una librería completa. Si bien es cierto, este programa no puede calcular estructuras ni instalaciones, pero nos permitió lo que se quería: condensar la información gráfica en una maqueta virtual en 3 dimensiones. Es así que se aprendió a usar este complejo el programa pero la versatilidad del mismo lo hizo sencillo a este nivel (modelamiento, mas no se profundizó en cortes, elevaciones u otros detalles propios de su uso en la arquitectura).

Se decidió hacer primero un modelo de todo el estacionamiento y en un trabajo conjunto con el ingeniero residente se adicionó la información de estructuras, instalaciones y arquitectura. En paralelo hacer un modelo 3D que represente el avance de la obra, lo que significaba actualizaciones al final del día.

Es importante mencionar que el arquitecto como parte de su trabajo modeló todo el proyecto arquitectónico, pero nunca nos pudo facilitar el archivo digital, más solo fotografías de diferentes vistas pero que eran de mucha utilidad.



Esta forma de trabajo resultó muy importante porque definitivamente permite evitar errores constructivos por obviar detalles, no revisar planos, incompatibilidades del proyecto, entre otros factores que son disminuidos usando BIM.

A continuación se mencionan algunas de las principales ayudas que nos brindó BIM en los sectores B y C (la ayuda en el sector D es mucho mayor por la cantidad de detalles y se verá posteriormente) y una estadística de cuánto representa en porcentaje.

Arquitectura:

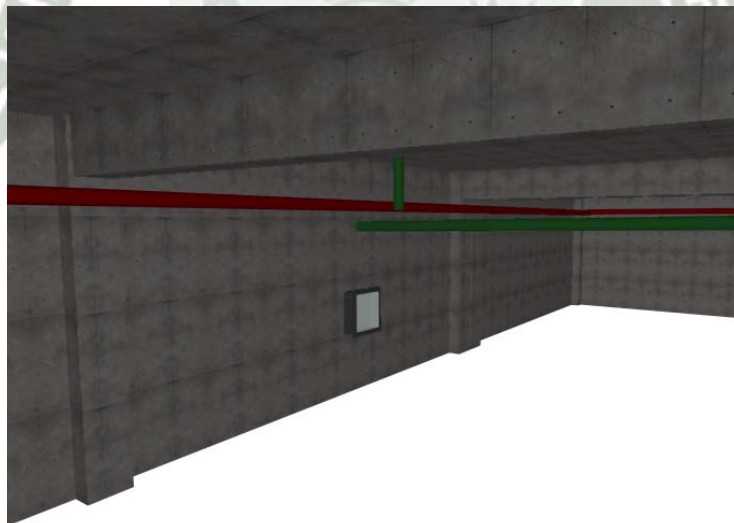
- ✓ Definir la ubicación de los postes para la malla raschel y evitar la intersección con tuberías enterradas.

Estructuras:

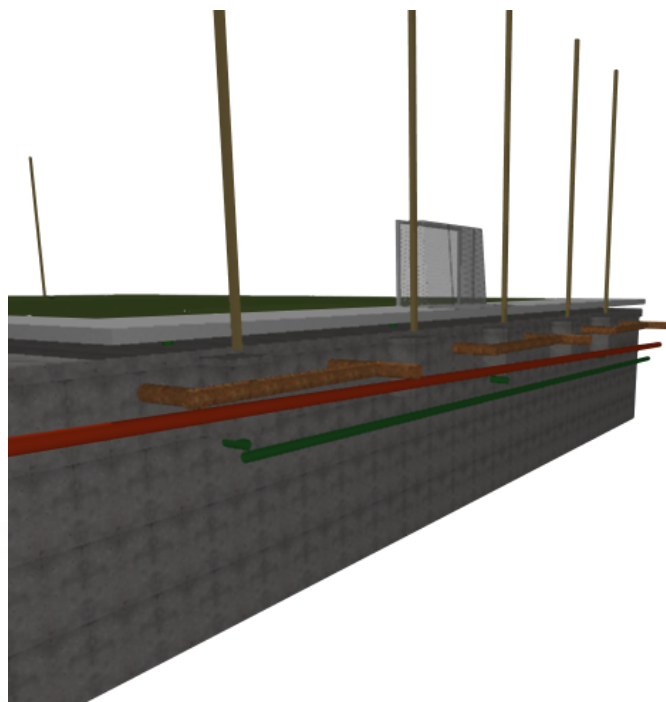
- ✓ Aprender las alturas de vaciado en elementos verticales. Especialmente en placas a las que llegaban vigas con diferentes peraltes.
- ✓ Profundidad de cimentación en la placa del ascensor (pozo inferior).

Instalaciones Sanitarias:

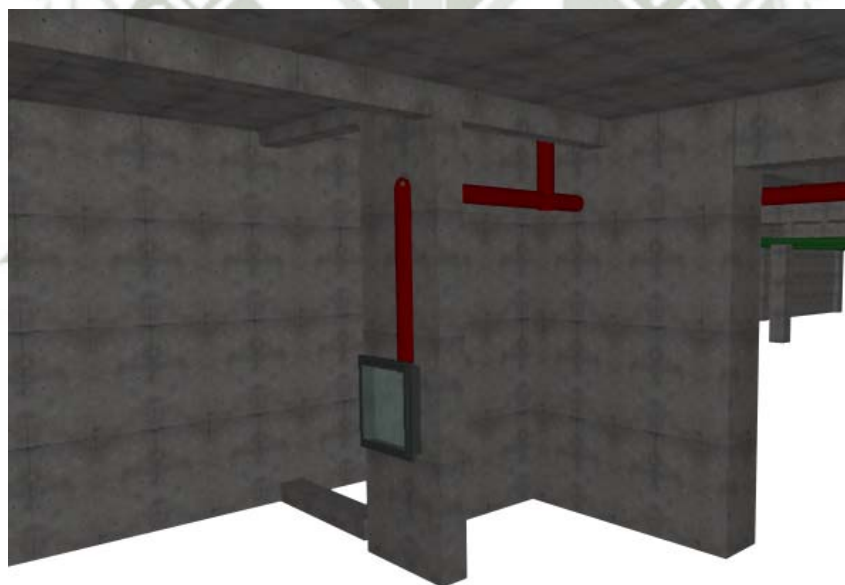
- ✓ Evitar la superposición de las tuberías colgadas de agua contra incendio y drenaje pluvial.



- ✓ Evitar la superposición de la tubería de drenaje pluvial, desagüe, agua de riego y ventilación.



- ✓ Dejar pases para tuberías de desagüe, ventilación y agua contra incendios.

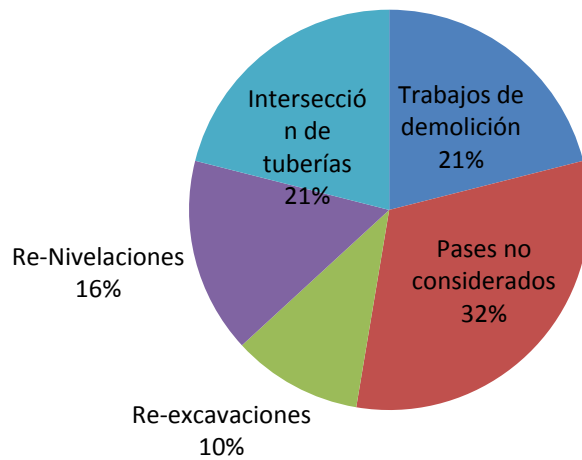


Instalaciones Eléctricas:

- ✓ Ubicar correctamente los pozos a tierra.

Todo esto permitió evitar trabajos de demolición, picar el concreto para abrir pases, rellenar para volver a excavar, ahorrar materiales y tiempo, etc.

## PÉRDIDAS EVITADAS



Se aprecia que en este caso la tecnología BIM nos ayudó principalmente a dejar pases en elementos estructurales a tiempo y a evitar la intersección de tuberías al ser colocadas posteriormente.

### **PASO 3: PROCESOS EFICIENTES**

#### **5.3.12 OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS**

La optimización de procesos se logra mejorando la productividad y se consigue con el análisis detallado de cada proceso mediante el uso de algunas herramientas de la ingeniería industrial.

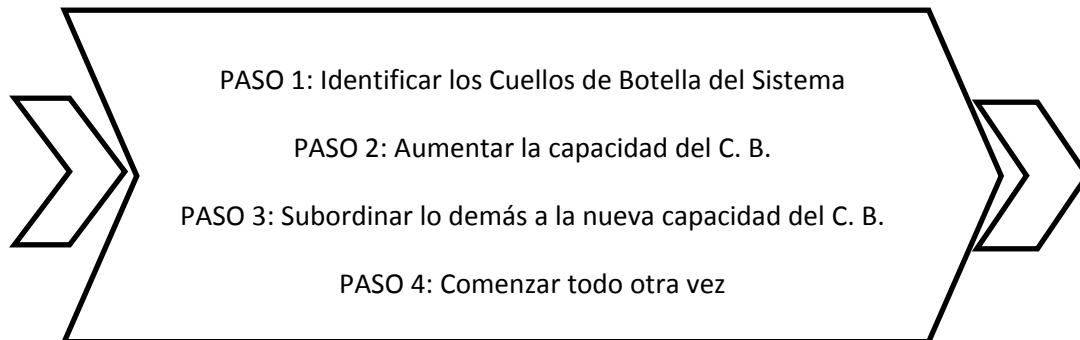
Toda operación de construcción es susceptible de ser mejorada ya sea al inicio de la misma o durante su ejecución. Dentro de un proceso de mejora continua, se debe buscar la optimización de los procesos constructivos a lo largo de todo el tiempo que dure el Proyecto.

En este caso se aplicaron una serie de herramientas que se desarrollarán en los siguientes capítulos, pero la que se ampliará en éste es la que más se utilizó: **Observación y Medición de Tiempos.**

Todas las herramientas de la ingeniería industrial requieren de un procesamiento de datos de una muestra, análisis de resultados, gráficos estadísticos, etc. que son muy útiles pero en una segunda instancia, la mejora continua.

Son tantas las pérdidas en los procesos de construcción que una simple observación permite detectar errores y fallas en los procesos, susceptibles a optimizarse sin hacer un estudio detallado en una primera etapa.

El objetivo fundamental de la optimización es encontrar el **CUELLO DE BOTELLA** del proceso, aquella fase de la cadena de producción más lenta y que determina la verdadera capacidad del sistema, para lo cual se plantean 4 pasos que terminan en una retroalimentación:



Es así que por las características de la forma de trabajar tradicional, se hace muy sencillo a simple vista encontrar cuellos de botella y dar una primera mejora simplemente observando el proceso y tomando tiempo del ciclo de producción.

Se implementó un procedimiento maestro para almacenar la información de esta mejora, ya que tras la primera observación y su respectiva corrección, la segunda e incluso hasta la tercera mejora pueden darse por observación, las siguientes ya requieren un estudio más detallado.

Se presenta a continuación un ejemplo de optimización en el desarrollo de la investigación y el procedimiento maestro empleado:

**MEDICIÓN N° 01**

| <b><u>NOMBRE DEL DOCUMENTO</u></b>   |            |
|--|------------|
| <b>PROCEDIMIENTO MAESTRO PARA OPTIMIZAR PROCESOS</b>   |            |
| <b>FASE 1: SIMPLE OBSERVACIÓN</b>  |            |
| <b>1. ÍNDICE</b>   |            |
| <b>2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</b>  |            |
| Preparación de Concreto f'c 210 kgf/cm <sup>2</sup> para elementos verticales con transporte horizontal y vertical |            |
| <b>3. NÚMERO DE MEDICIÓN Y FECHA</b>   |            |
| MEDICIÓN N°:   | 1          |
| FECHA:   | 05/04/2013 |
| <b>4. OBJETIVO</b>   |            |
| Mejorar la producción de mezcla  |            |

Incrementar el Rendimiento  
Eliminar tiempos de espera  
Mejorar el uso de los recursos

**5. RESPONSABLE**

Ingeniero de producción o Maestro de Obra

**6. OBSERVACIONES**

Grabación de video "CONCRETO EN OBRA 01"

**7. RECURSOS**

Mano de Obra

15 OBREROS

Equipos

01 Mezcladora de 11 p3

01 Winche Eléctrico de 2

baldes

01 Vibradora

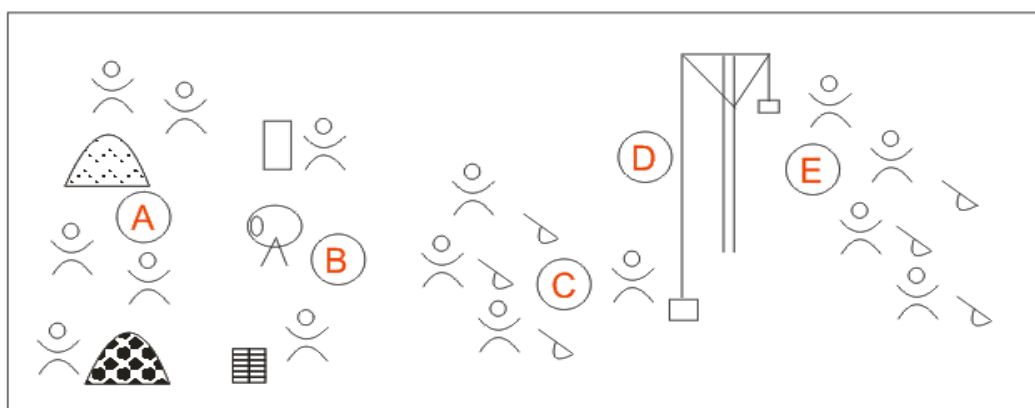
Herramientas

Lampas

Baldes

Boogies de 1.5 pies cúbicos

**8. GRÁFICO DEL PROCESO**



**9. CONTROL DE TIEMPOS**

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | M. O. | DURACIÓN (s) | ACUMULADO (s) |
|--------|-------------|-------|--------------|---------------|
| A      | AGUA        | 1     | 18           |               |
|        | CEMENTO     | 1*    | 9            |               |
|        | AGREGADOS   | 5     | 38           | 65            |
| B      | MEZCLADO    | 1*    | 15           | 80            |

|   |                               |           |            |     |
|---|-------------------------------|-----------|------------|-----|
| C | DESCARGA A BOOGIES            |           | 2          |     |
|   | TRANSPORTE A WINCHE           | 3         | 17         |     |
|   | DESCARGA A WINCHE             |           | 28         | 127 |
| D | ELEVACIÓN DE CONCRETO         | 1         | 19         | 146 |
| E | DESCARGA A BOOGIES            | 1         | 13         | 197 |
|   | TRANSPORTE A PUNTO DE VACIADO | 3         | 13         |     |
|   | DESCARGA A ELEMENTO           |           | 25         |     |
|   | REGRESO                       |           | 22         | 219 |
|   | FIN                           |           | 14         | 233 |
|   | <b>TOTAL</b>                  | <b>15</b> | <b>233</b> |     |

### 10. ANÁLISIS

- Volumen Producido: 0.26 m<sup>3</sup>
- Horas Hombre: 15 obreros \* 233 seg = 0.97 hh
- Ratio de Producción: 0.97hh/0.26 m<sup>3</sup> = 3.73 hh/m<sup>3</sup>
- Cuellos de Botella: Sub-proceso A, Subproceso C
- Pérdidas: Esperas en el sub-proceso A, Esperas en el sub-proceso C.

### 11. ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN

- Usar rampa para dosificar con boogies.
- Colocar más cerca el agregado
- Usar una Tina para colocar la producción de la mezcladora
- Acercar la mezcladora al Winche

### MEDICIÓN Nº 02

|  |            |
|--|------------|
| <b><u>NOMBRE DEL DOCUMENTO</u></b>   |            |
| <b>PROCEDIMIENTO MAESTRO PARA OPTIMIZAR PROCESOS</b>   |            |
| <b>FASE 1: SIMPLE OBSERVACIÓN</b>  |            |
| <b>1. ÍNDICE</b>   |            |
| <b>2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</b>  |            |
| Preparación de Concreto f'c 210 kgf/cm <sup>2</sup> para elementos verticales con transporte horizontal y vertical |            |
| <b>3. NÚMERO DE MEDICIÓN Y FECHA</b>   |            |
| MEDICIÓN Nº:   | 2          |
| FECHA:   | 10/04/2013 |
| <b>4. OBJETIVO</b>   |            |
| Mejorar la producción de mezcla  |            |
| Incrementar el Rendimiento   |            |
| Eliminar tiempos de espera   |            |

Mejorar el uso de los recursos

**5. RESPONSABLE**

Ingeniero de producción o Maestro de Obra

**6. OBSERVACIONES**

Grabación de video "CONCRETO EN OBRA 02"

**7. RECURSOS**

Mano de Obra

8 OBREROS

Equipos

01 Mezcladora de 11 p3

01 Winche Eléctrico de 2

baldes

01 Vibradora

Herramientas

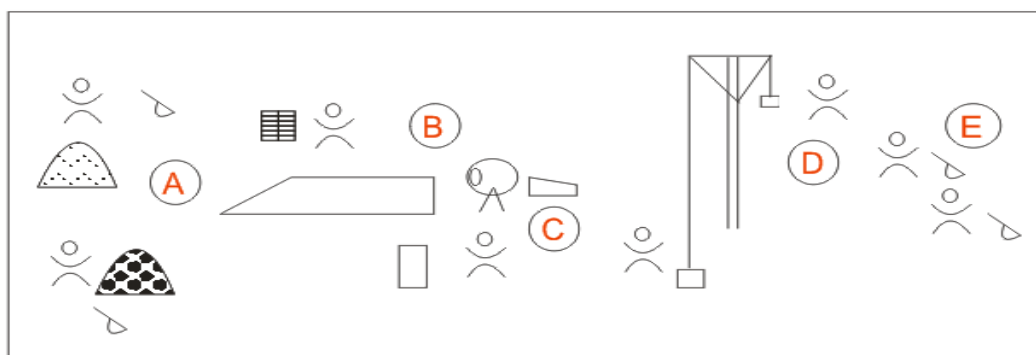
Lampas

Baldes

Boogies de 1.5 pies

cúbicos

**8. GRÁFICO DEL PROCESO**



**9. CONTROL DE TIEMPOS**

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN     | M.O. | DURACIÓN (s) | ACUMULAD O (s) |
|--------|-----------------|------|--------------|----------------|
| A      | AGUA - CEMENTO  | 1    |              |                |
|        | ARENA GRUESA    | 1    |              |                |
|        | PIEDRA CHANCADA | 1    |              | 180            |
| B      | MEZCLADO        |      |              | 201            |
| C      | DESCARGA A TINA | 2    |              |                |

|   |  |   |     |
|---|--|---|-----|
|   | DESCARGA A WINCHE                                      |   | 210 |
| D | ELEVACIÓN DE CONCRETO                                  | 1 |     |
| E | DESCARGA A BOOGIES<br>TRANSPORTE A PUNTO DE<br>VACIADO | 2 | 382 |
|   | DESCARGA A ELEMENTO                                    |   |     |
|   | REGRESO  |   |     |
|   | FIN  |   | 398 |
|   | TOTAL  | 8 | 398 |

## 10. ANÁLISIS

- Volumen Producido: 0.52 m<sup>3</sup>
- Horas Hombre: 8 obreros \* 398 seg = 0.88 hh
- Ratio de Producción: 0.88hh/0.52 m<sup>3</sup> = 1.70 hh/m<sup>3</sup>
- Cuellos de Botella: Sub-proceso A, Subproceso D, Subproceso E
- Pérdidas: Esperas en el sub-proceso A, Esperas en el sub-proceso C.
- Elevación de concreto con Winche en su máxima capacidad. Se ajusta todo a este límite.

## 11. ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN

- Usar un chute para no derramar agregado al vaciar boogie-mezcladora
- Colocar más cerca el agregado
- Mantenimiento preventivo al Winche por ser el cuello de botella a su máxima capacidad.
- Dimensionar la cantidad de gente para transporte Winche-Punto de Vaciado.

Este simple análisis implementado en obra y sustentado con datos de campo permitió optimizar este proceso un 119% mejorando notablemente la productividad al reducir el consumo de horas hombre por metro cúbico de concreto un 10%, incrementar el tiempo un 70.81%, pero duplicar la capacidad de producción. Es decir que consumiendo un poco más de recursos, se pudo producir el doble de lo que se hacía anteriormente.

| <b><u>NOMBRE DEL DOCUMENTO</u></b>                   |   |
|--|---|
| <b>PROCEDIMIENTO MAESTRO PARA OPTIMIZAR PROCESOS</b> |   |
| <b>FASE 1: SIMPLE OBSERVACIÓN</b>                    |   |
| 1.   | <b><u>ÍNDICE</u></b>  |
| 1.   | ÍNDICE  |
| 2.   | DESCRIPCIÓN DEL PROCESO   |
| 3.   | NÚMERO DE MEDICIÓN Y FECHA  |
| 4.   | OBJETIVO  |
| 5.   | RESPONSABLE   |
| 6.   | OBSERVACIONES   |
| 7.   | RECURSOS  |
| 8.   | GRÁFICO DEL PROCESO   |
| 9.   | CONTROL DE TIEMPOS  |
| 10.  | ANÁLISIS  |
| 11.  | ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN   |
| 2.   | <b><u>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</u></b>   |
|  | Se describe el proceso específico a analizar.   |
| 3.   | <b><u>NÚMERO DE MEDICIÓN Y FECHA</u></b>  |
|  | Es necesario llevar un control de las mediciones para la retroalimentación. Así también la fecha de |

implementación.

**4. OBJETIVO**

Se plantea el objetivo que se planea alcanzar en el proceso. Puede definir objetivos por sub-proceso en base a experiencias previas.

**5. RESPONSABLE**

El ingeniero Residente, asistente o encargado de Producción. Puede hacerlo el Maestro de Obra a un Nivel Básico pero efectivo.

**6. OBSERVACIONES**

Se deben mencionar características particulares de alguno de los sub-procesos. Se recomienda hacer una grabación de video y guardarla como respaldo del trabajo.

**7. RECURSOS**

Mencionar la mano de obra (clasificada por rango o sin clasificar), Equipos, Herramientas, Materiales.

**8. GRÁFICO DEL PROCESO**

Un gráfico sencillo que detalla el proceso. Sirve para tener noción de los desplazamientos y flujo de tareas.

**9. CONTROL DE TIEMPOS**

Se subdivide el proceso y se controla la duración de cada uno de ellos.

**10. ANÁLISIS**

- a. Metrado Producido (Con su Unidad de Medida)
- b. Horas Hombre utilizadas.
- c. Ratio de Producción (b/a)
- d. Cuellos de botella
- e. Pérdidas observadas
- f. Otros Análisis

**11. ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN**

Se plantean todas las alternativas posibles para ser analizadas y aplicadas para la mejora continua.

| CÓDIGO    | FECHA      | REVISIÓN | PÁGINA |
|-----------|------------|----------|--------|
| LC-PRO-01 | JULIO 2013 | 00       | 1 de 1 |

**5.3.13 DIMENSIONAMIENTO DE CUADRILLAS**

El sobre-dimensionamiento de cuadrillas es un defecto común en la construcción y representa una pérdida porque provoca esperas, movimientos, sobre-procesamientos y defectos. Determinar la cantidad adecuada de personal por cuadrilla ayuda a optimizar los procesos rumbo a la mejora continua.

Como se mencionó en el capítulo anterior, la primera etapa de la optimización consiste en la observación y se centra en el proceso en sí, para hacerlo más productivo y eficiente con recomendaciones basadas en la experiencia del ingeniero o maestro de obra y pequeñas mediciones de tiempos.

Una vez realizada esta primera etapa, identificar pérdidas ya no resulta tan sencillo a simple vista y requiere de otras herramientas propias de la ingeniería industrial. A continuación se mencionarán los procedimientos aplicados con éxito en este trabajo.

- a) Tanteo: Una vez introducida la filosofía Lean y haber aceptado que existen pérdidas tan comunes en la construcción, el equipo conformado por el ingeniero Residente y el Maestro de Obra asumieron con gran responsabilidad y decisión la optimización constante. De este modo las cuadrillas eran armadas en la programación diaria o

semanal con un análisis previo que evite el sobre-dimensionamiento, tanteando por la mejor alternativa.

Por ejemplo, el vaciado de concreto premezclado comenzó con 9 personas distribuidas y escogidas en las reuniones. Siempre se busca formar cuadrillas para especializarlas en cierta actividad.

- b) Nivel General de Actividad: Esta herramienta se utiliza para detectar y cuantificar numerosas pérdidas en varios puntos de la obra por realizarse la muestra sobre todos los obreros.
- c) Cartas Balance: Al analizar una actividad con una Carta Balance es muy fácil identificar el sobre-dimensionamiento puesto que en la cuadrilla aparecen trabajadores con un alto porcentaje de trabajos no contributivos.

### 5.3.14 NIVEL GENERAL DE ACTIVIDAD

El Nivel General de Actividad es una herramienta interesante porque permite encontrar pérdidas en todo el sistema de producción, pero sobretodo porque ayuda a localizar el proceso que las origina y por tanto nos orienta hacia dónde utilizar todas las herramientas de optimización y mejora continua.

Esta herramienta es una foto que indica cómo se está usando el tiempo de la mano de obra distribuido en 3 categorías: El trabajo productivo, contributivo y no contributivo.

A continuación se presentan los resultados de la medición del Nivel General de Actividades en la etapa de implementación y al analizar los resultados finales se puede comparar la diferencia con un uso idóneo de las herramientas Lean Construction.

Se realizaron 4 mediciones a lo largo de la construcción de los estacionamientos, una por cada mes de trabajo.

|     |            | TP     | TC     | TNC    | TOTAL   |
|-----|------------|--------|--------|--------|---------|
|     | Fecha      |        |        |        |         |
|     | 27/03/2013 | 7      | 15     | 6      | 28      |
|     | 03/04/2013 | 8      | 9      | 9      | 26      |
|     | 16/05/2013 | 21     | 22     | 9      | 52      |
|     | 11/06/2013 | 11     | 13     | 4      | 28      |
| I   | 27/03/2013 | 25.00% | 53.57% | 21.43% | 100.00% |
| II  | 03/04/2013 | 30.77% | 34.62% | 34.62% | 100.00% |
| III | 16/05/2013 | 40.38% | 42.31% | 17.31% | 100.00% |
| IV  | 11/06/2013 | 39.29% | 46.43% | 14.29% | 100.00% |
|     | I          | 25.00% | 53.57% | 21.43% | 100.00% |
|     | II         | 30.77% | 34.62% | 34.62% | 100.00% |
|     | III        | 40.38% | 42.31% | 17.31% | 100.00% |
|     | IV         | 39.29% | 46.43% | 14.29% | 100.00% |

PROMEDIO

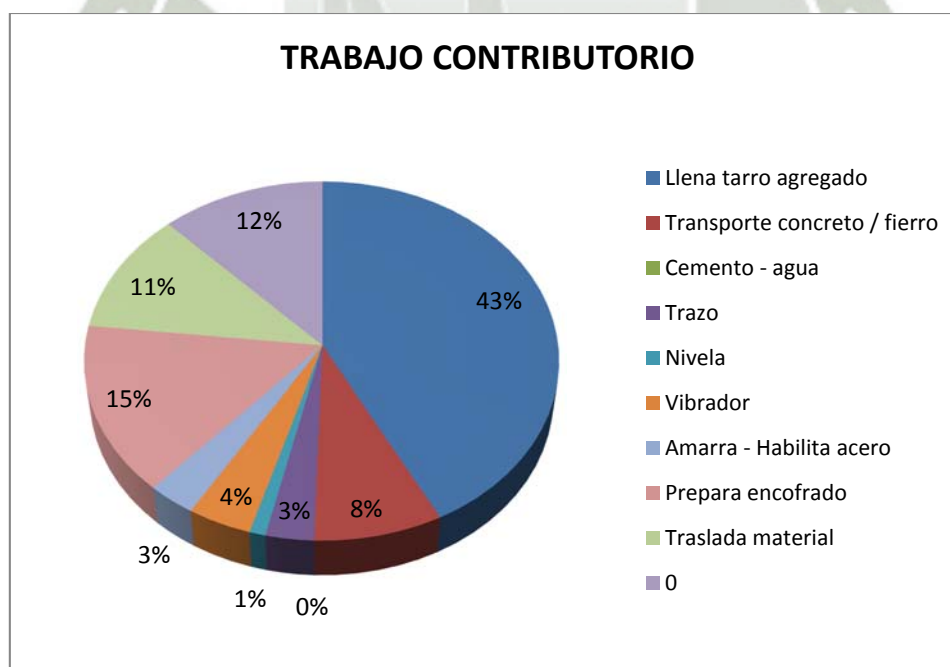
35.07% 44.03% 20.90% 100.00%

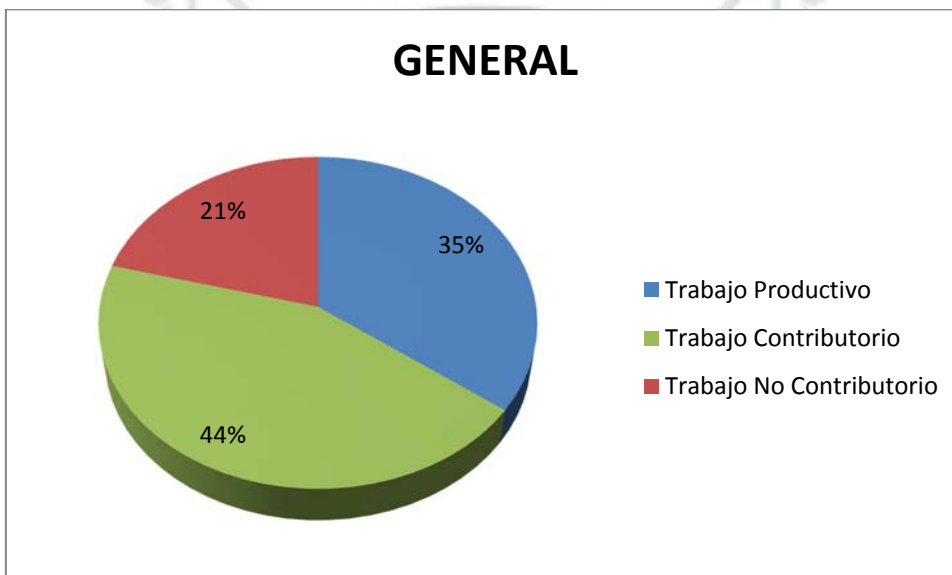
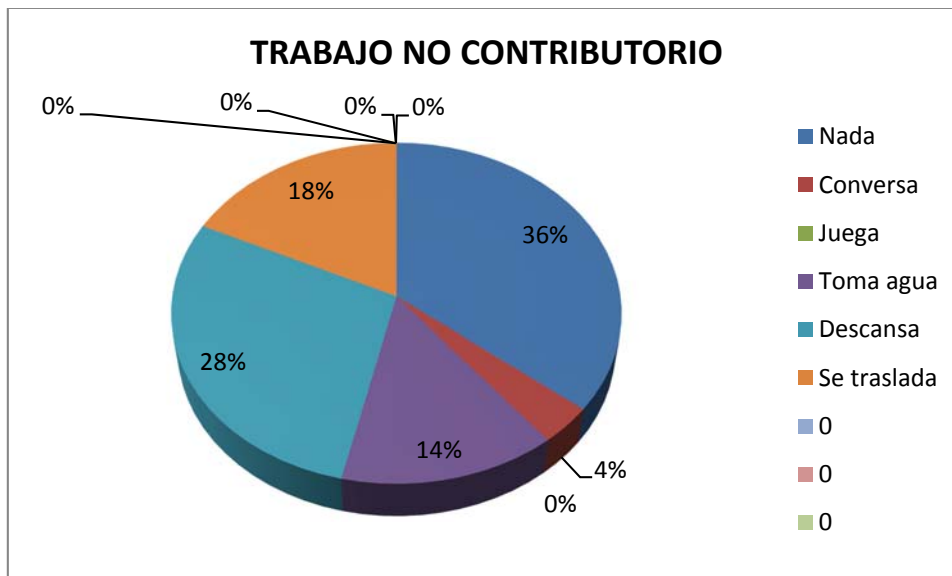
Los trabajos contributivos y no contributivos, identificados en esta etapa fueron los siguientes:

| Trabajo Contributorio |                              |
|-----------------------|------------------------------|
| 1                     | Llena tarro agregado         |
| 2                     | Transporte concreto / fierro |
| 3                     | Cemento - agua               |
| 4                     | Trazo                        |
| 5                     | Nivela                       |
| 6                     | Vibrador                     |
| 7                     | Amarra - Habilita acero      |
| 8                     | Prepara encofrado            |
| 9                     | Traslada material            |

| Trabajo No Contributorio |             |
|--------------------------|-------------|
| 1                        | Nada        |
| 2                        | Conversa    |
| 3                        | Juega       |
| 4                        | Toma agua   |
| 5                        | Descansa    |
| 6                        | Se traslada |

Finalmente los resultados sobre los trabajos “pérdida” identificados fueron los siguientes:





Al analizar la información de la gráfica, se puede identificar varios puntos importantes:

- ✓ Menos del 50% del trabajo es productivo.
- ✓ El trabajo contributorio y el no contributorio alcanzan el 65%.
- ✓ Del trabajo contributorio, el 43% se da en llenar tarros de agregado, lo que nos lleva a la actividad preparación de concreto como una fuente de pérdidas importante.
- ✓ Del trabajo contributorio, el 8% se da en preparar encofrado, lo que nos lleva a la actividad encofrado de vigas y losas como una oportunidad para optimizar.
- ✓ Del trabajo no contributorio, el 36% del tiempo los obreros no hacen nada. Esto implica probablemente cuadrillas sobre-dimensionadas, esperas en el proceso, cuellos de botella, etc. que deben ser analizados con más cuidado en las actividades que las incluyen.
- ✓ El 42% del trabajo No contributorio se conforma por actividades que son improproductivas como descansar y tomar agua. Lo que requiere un cuidado en cuanto al

exceso de confianza por los casos registrados de “ir al baño” pero en realidad van a esconderse a un lugar alejado de la obra.

- ✓ El 18% del trabajo No Contributorio se produce por traslados, esto puede significar una mala distribución en planta de la obra y es necesario revisar el Layout de la misma.

Como se puede apreciar, la información que proporciona esta herramienta es importante porque nos clarifica en un nivel global, donde se encuentran las pérdidas y de todo tipo para que en las reuniones se puedan tomar medidas como realizar cartas balance, observar con detenimiento la actividad, conversar con los trabajadores de la cuadrilla, etc. y de este modo optimizar el proceso en una mejor continua.

Los formatos para esta herramienta fueron obtenidos de la empresa que sirvió como Benchmark para este trabajo.

**NOMBRE DEL DOCUMENTO**  
**INSTRUCTIVO DE LLENADO DEL FORMATO**  
**“NIVEL GENERAL DE ACTIVIDAD”**

3
4
5
6

| Partida                             | TC |   |   |   |   |   |   |   |   |    | TNC |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Fecha      |
|-------------------------------------|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------|
|                                     | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11  | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |            |
| 1 Concreto hecho en Obra            |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 2 Concreto hecho en Obra            |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 3 Concreto hecho en Obra            |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 4 Concreto hecho en Obra            |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 5 Concreto hecho en Obra            |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 6 Concreto hecho en Obra            |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 7 Concreto hecho en Obra            |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 8 Acero corrugado en Losas / Vigas  |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 9 Acero corrugado en Losas / Vigas  |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 10 Concreto hecho en Obra           |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 11 Concreto hecho en Obra           |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 12 Encofrado Metálico Vigas         |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 13 Encofrado Metálico Vigas         |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 14 Concreto hecho en Obra           |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 15 Concreto hecho en Obra           |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 16 Trazo y Replanteo                |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 17 Concreto hecho en Obra           |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 18 Concreto hecho en Obra           |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 19 Concreto hecho en Obra           |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 20 Acero corrugado en Losas / Vigas |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 21 Instalaciones Sanitarias         |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 22 Instalaciones Sanitarias         |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 23 Acero corrugado en Losas / Vigas |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 24 Acero corrugado en Losas / Vigas |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 25 Trazo                            |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 26 Encofrado Metálico Vigas         |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 27 Encofrado Metálico Vigas         |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |
| 28 Encofrado Metálico Vigas         |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 27/03/2013 |

Obra: Colegio Lord Byron

| Trabajo Contributivo |                              |   |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------|------------------------------|---|--|--|--|--|--|--|--|
| 1                    | Llena tarro agregado         |   |  |  |  |  |  |  |  |
| 2                    | Transporte concreto / fierro |   |  |  |  |  |  |  |  |
| 3                    | Cemento - agua               |   |  |  |  |  |  |  |  |
| 4                    | Trazo                        |   |  |  |  |  |  |  |  |
| 5                    | Nivela                       | 4 |  |  |  |  |  |  |  |
| 6                    | Vibrador                     |   |  |  |  |  |  |  |  |
| 7                    | Amarra - Habilita ace        |   |  |  |  |  |  |  |  |
| 8                    | Prepara encofrado            |   |  |  |  |  |  |  |  |
| 9                    | Traslada material            |   |  |  |  |  |  |  |  |
| 10                   |                              |   |  |  |  |  |  |  |  |

| Trabajo No Contributivo |               |   |  |  |  |  |  |  |  |
|-------------------------|---------------|---|--|--|--|--|--|--|--|
| 11                      | Nada          |   |  |  |  |  |  |  |  |
| 12                      | Conversa      |   |  |  |  |  |  |  |  |
| 13                      | Juega         |   |  |  |  |  |  |  |  |
| 14                      | Toma agua     |   |  |  |  |  |  |  |  |
| 15                      | Descanso      |   |  |  |  |  |  |  |  |
| 16                      | Se trasladada | 5 |  |  |  |  |  |  |  |
| 17                      |               |   |  |  |  |  |  |  |  |
| 18                      |               |   |  |  |  |  |  |  |  |
| 19                      |               |   |  |  |  |  |  |  |  |
| 20                      |               |   |  |  |  |  |  |  |  |

|          |   |
|----------|---|
| <b>1</b> | Numeración en función a la cantidad de trabajadores en obra el día de la medición.  |
| <b>2</b> | Nombre de la partida de la que son integrantes, para poder reconocer e identificar la actividad que realizan.   |
| <b>3</b> | Trabajo Productivo. No se especifica la labor exacta, simplemente si la actividad que realizan es productiva, se debe anotar en esta columna.           |
| <b>4</b> | Del Listado de trabajos Contributivos, se escoge el que esté realizando el obrero en el momento de la medición. Es la imagen instantánea que se genera. |
| <b>5</b> | Del listado de trabajos No contributivos, se escoge el que esté realizando el obrero en el momento de la medición.                                      |
| <b>6</b> | Fecha de la medición. Se pueden hacer varias mediciones en un día hasta conseguir la muestra de 384 para generar la confiabilidad del 95%.              |

|           |            |          |        |
|-----------|------------|----------|--------|
| CÓDIGO    | FECHA      | REVISIÓN | PÁGINA |
| LC-ILL-04 | JULIO 2013 | 00       | 1 de 1 |

| <b><u>DIFICULTADES – LECCIONES APRENDIDAS</u></b><br><b><u>IMPLEMENTACIÓN NIVEL GENERAL DE ACTIVIDAD</u></b> |   |
|--|---|
| ✘  | Cuando la obra es muy grande a veces es complicado encontrar un punto que tenga una visión panorámica de todos los trabajadores. Se debe hacer un recorrido y encontrarlos a todos para registrar su actividad. |
| ✘  | Debe haber un personal dedicado a la medición y productividad porque de nada van a servir los resultados si son entregados semanas o meses después por la falta de tiempo del encargado.                        |
| ✓  | La toma de datos no demanda mucho tiempo, si la cantidad de trabajadores es grande, puede obtenerse la muestra de 384 datos en una sola medición.   |
| ✓  | Se puede diseñar en una hoja de Excel en la que solo se pongan las mediciones y se obtengan las gráficas tan solo para ser analizadas.  |

### 5.3.15 CARTAS BALANCE

El uso de las cartas Balance fue sin duda una innovación ya que los resultados mostraron algo que no se ve a simple vista y que incluso se representa gráficamente. Resultan un arma fundamental para optimizar procesos ya que ayudan a balancear la cantidad de trabajadores en las cuadrillas, permiten detectar pérdidas en los procesos tales como tiempos contributorios exageradamente altos, tiempos no contributorios elevados, flujos incompletos, control de tiempos y rendimientos, etc., y adicionalmente, aunque no es el fin principal, permite hacer un seguimiento a trabajadores con niveles de productividad demasiado bajos para luego tomar medidas correctivas que van desde un mejor uso del recurso en otras actividades hasta el despido (generalmente de peones que por el sistema de trabajo de la empresa ingresan cada lunes y están “a prueba” por una semana, escogiendo a los mejores).

A continuación se analizan 3 partidas, cada cual tenía una gran cantidad de trabajadores por cuadrilla, por esa razón se escogieron para la aplicación de Cartas Balance:

#### A. ENCOFRADO LOSA MACIZA

El encofrado de las losas en esta primera etapa fue mediante un Sub-contrato debido a la falta de mano de obra calificada en el uso del encofrado metálico dentro del personal de la empresa. Así, se quedó un costo por metro cuadrado y se coordinaban los plazos para poder cumplir los tiempos de entrega.

#### Rasgos Generales:

|                   |                                     |
|-------------------|-------------------------------------|
| <b>EMPRESA:</b>   | Nueva Andina S.A.                   |
| <b>OBRA:</b>      | Estacionamientos - Aulas Lord Byron |
| <b>ACTIVIDAD:</b> | ENCOFRADO METÁLICO DE LOSAS MACIZAS |

|                              |             |
|------------------------------|-------------|
| <b>TRABAJO PRODUCTIVO</b>    | <b>COD.</b> |
| COLOCAR VIGAS Z              | 1           |
| <b>TRABAJO CONTRIBUTORIO</b> | <b>COD.</b> |

|                                 |             |
|---------------------------------|-------------|
| ARREGLAR POSTES                 | 6           |
| TRANSPORTAR MATERIAL            | 7           |
| AJUSTAR CABEZALES               | 8           |
| IZAR VIGAS Z                    | 9           |
| SELECCIONAR PIEZAS              | 10          |
| VERIFICAR MEDIDAS               | 11          |
| <b>TRABAJO NO CONTRIBUTORIO</b> | <b>COD.</b> |
| NADA                            | 12          |
| CONVERSAR                       | 13          |
| OBSERVAR                        | 14          |
| TRASLADARSE                     | 15          |
| BAÑO                            | 16          |
| DA / RECIBE INDICACIONES        | 17          |

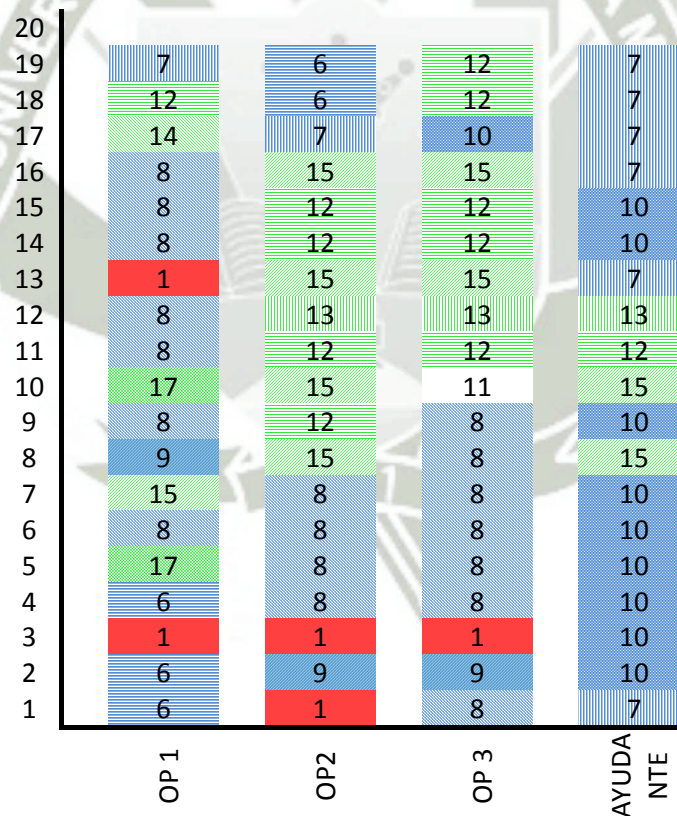
**MEDICIÓN Nº1:**

ACTIVIDAD:

ENCOFRADO METÁLICO DE  
LOSAS MACIZAS

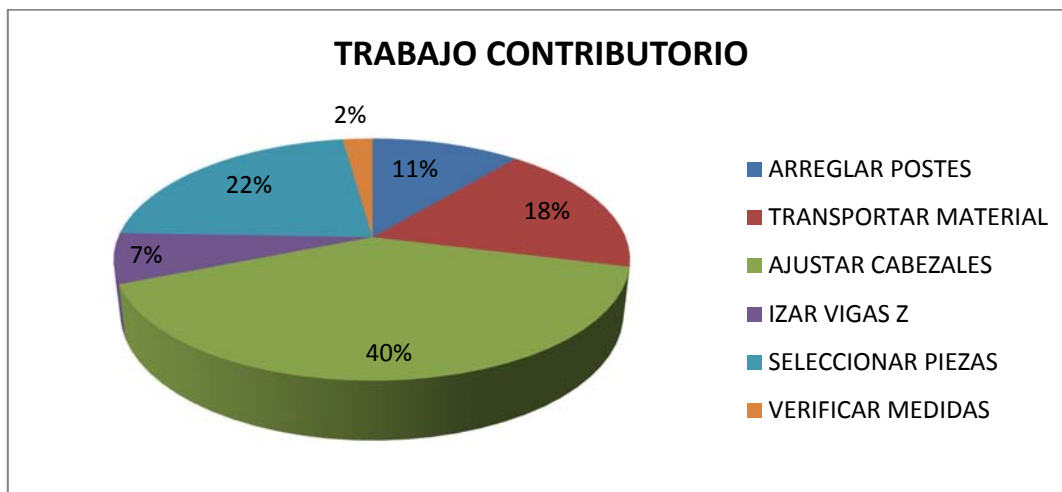
FECHA/HORA:

06/04/2013 - 3:25 PM

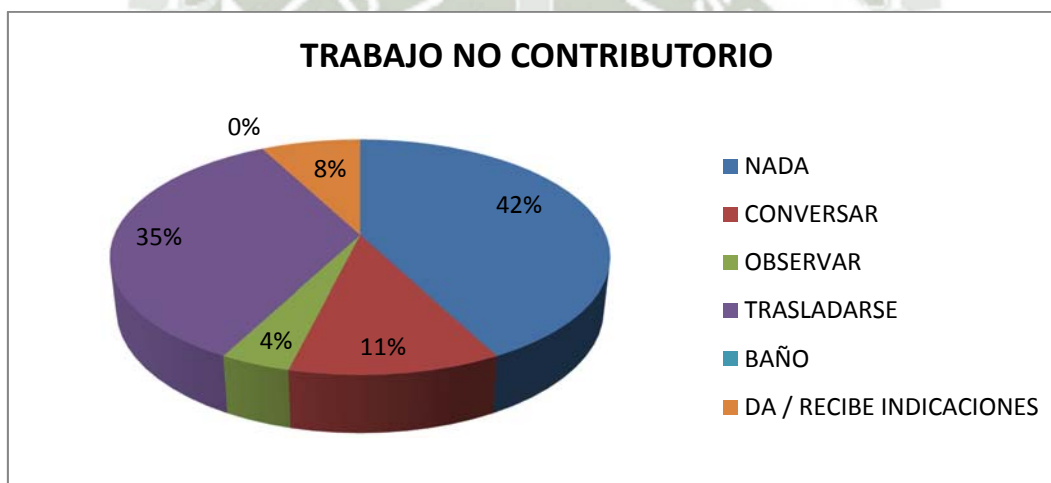


**GRÁFICOS MEDICIÓN Nº1**

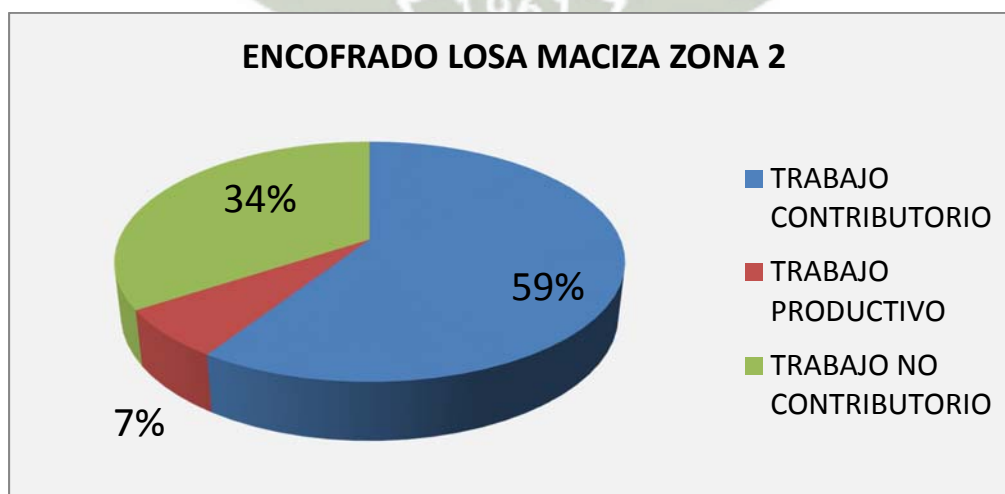
I. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO CONTRIBUTORIO



II. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO NO CONTRIBUTORIO



III. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO DE LA PARTIDA: MEDICIÓN Nº1



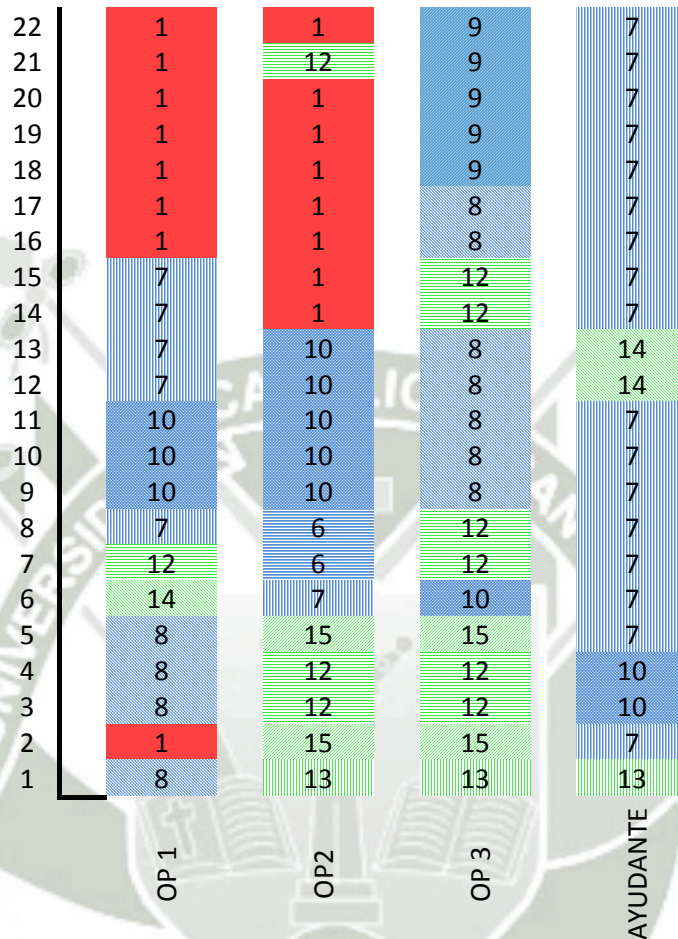
**MEDICIÓN Nº2:**

**ACTIVIDAD:**

ENCOFRADO METÁLICO DE  
LOSAS MACIZAS

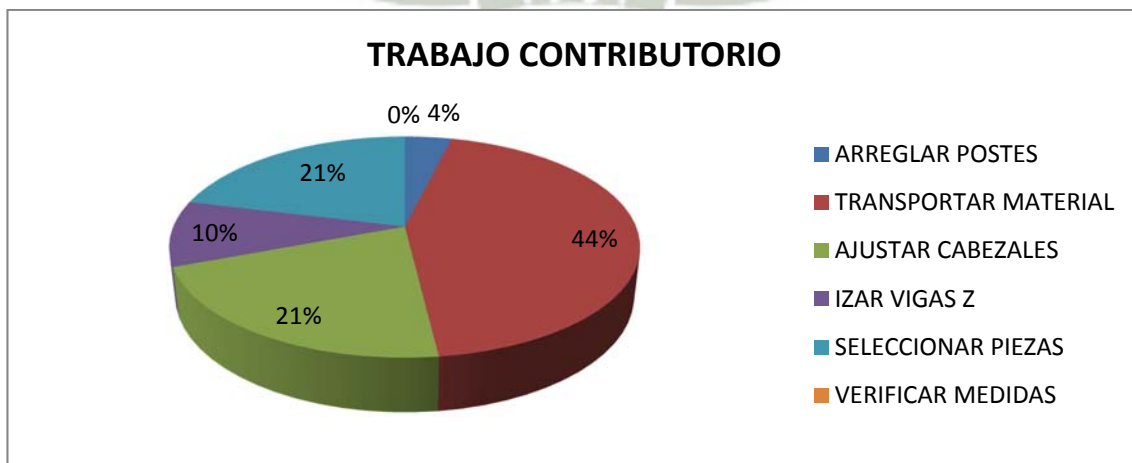
**FECHA/HORA:**

28/05/2013 – 10:45 AM

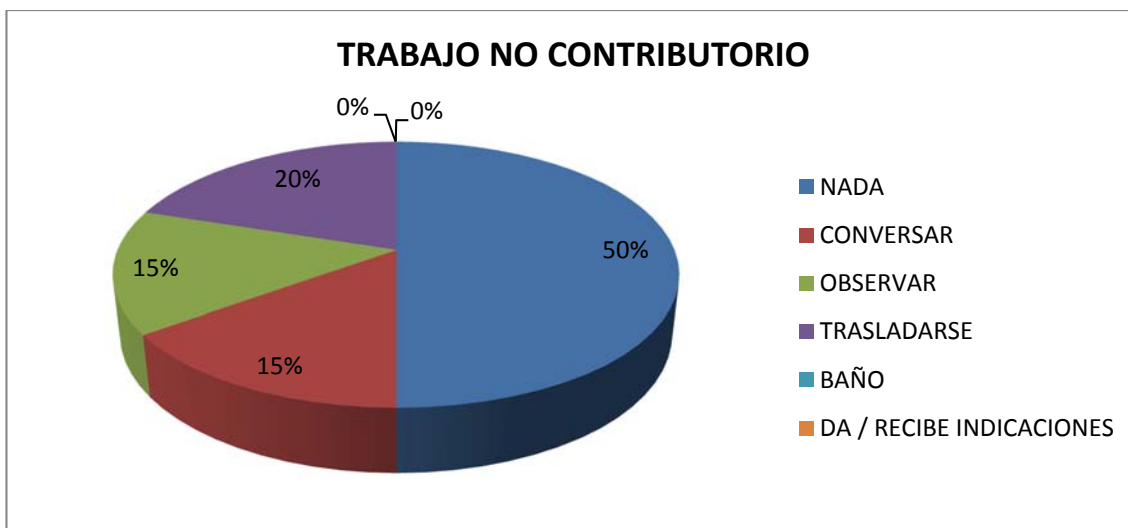


**GRÁFICOS MEDICIÓN Nº2**

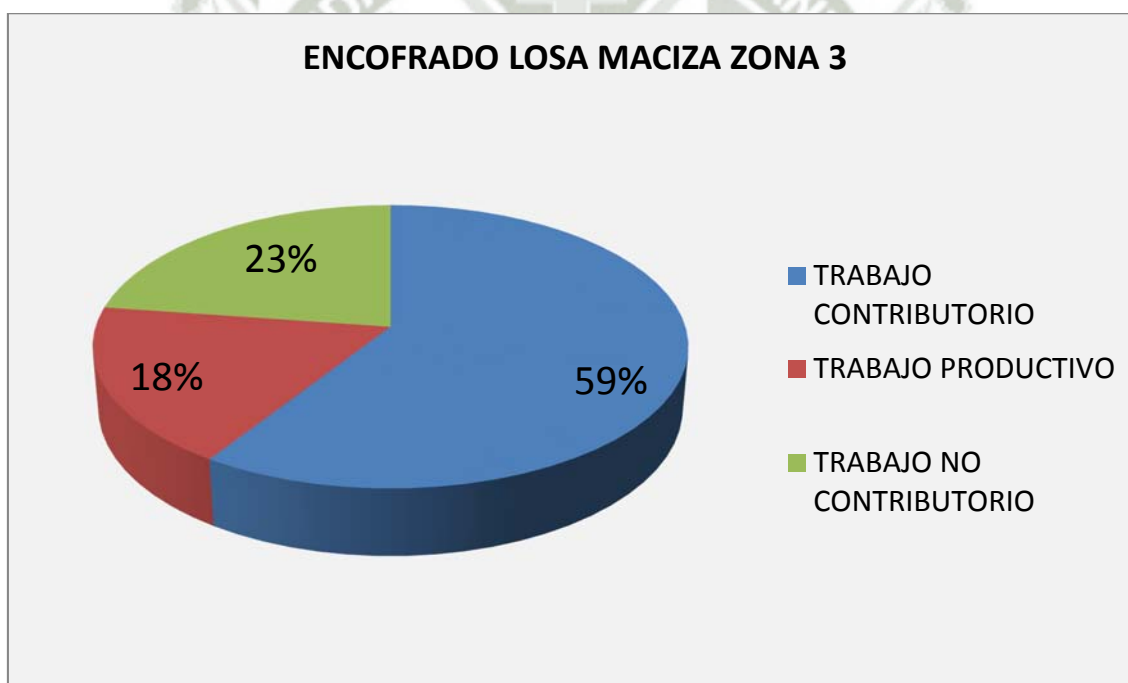
I. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO CONTRIBUTORIO



II. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO NO CONTRIBUTORIO



III. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO DE LA PARTIDA: MEDICIÓN Nº2



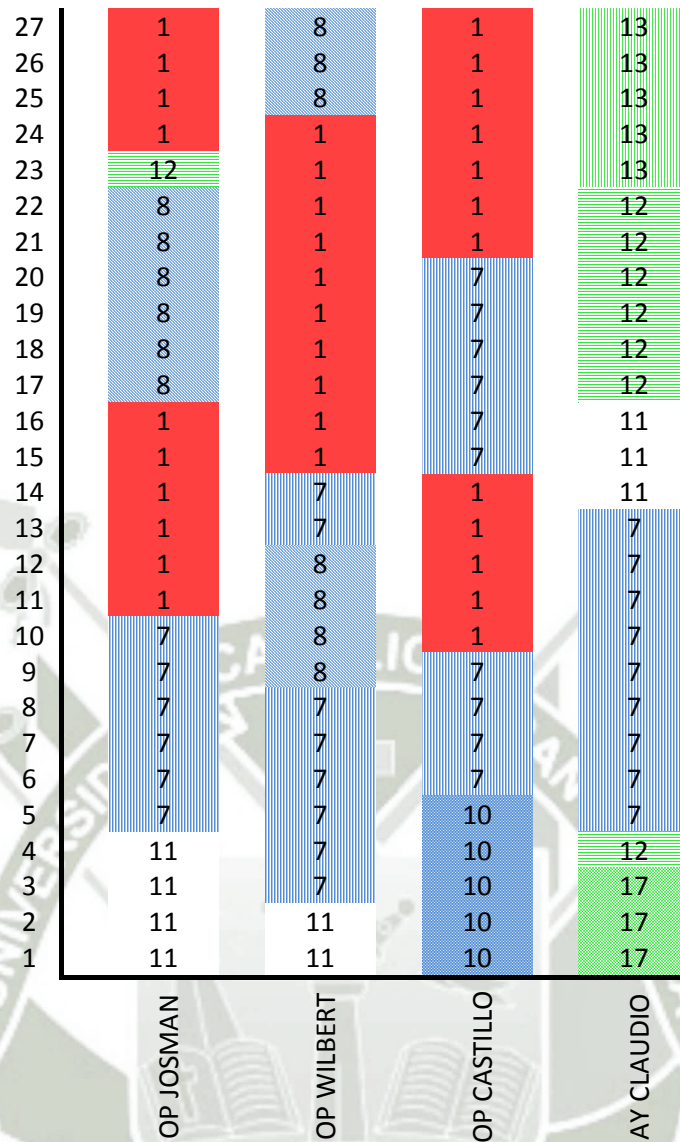
**MEDICIÓN Nº3:**

**ACTIVIDAD:**

ENCOFRADO METÁLICO DE  
LOSAS MACIZAS

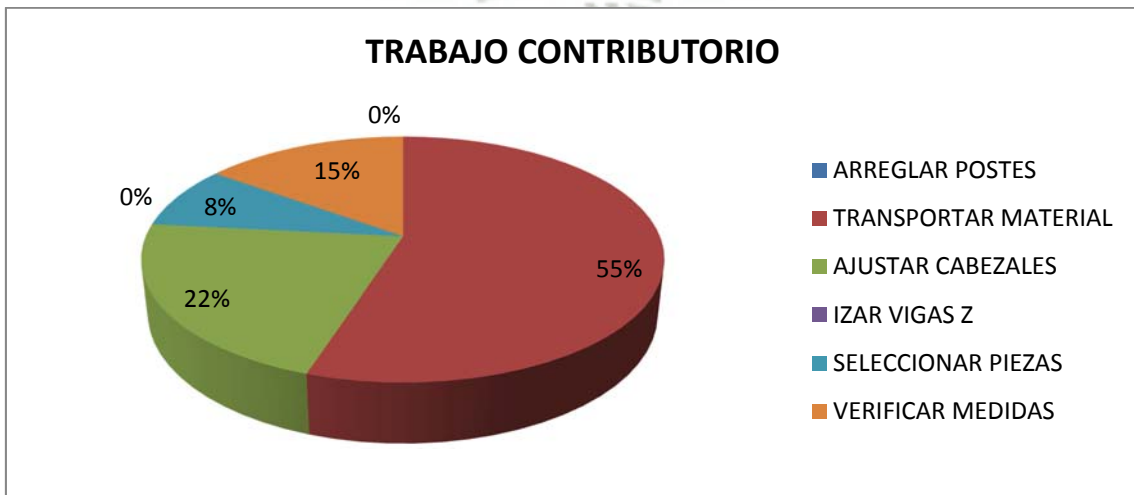
**FECHA/HORA:**

05/06/2013 – 11:30 AM

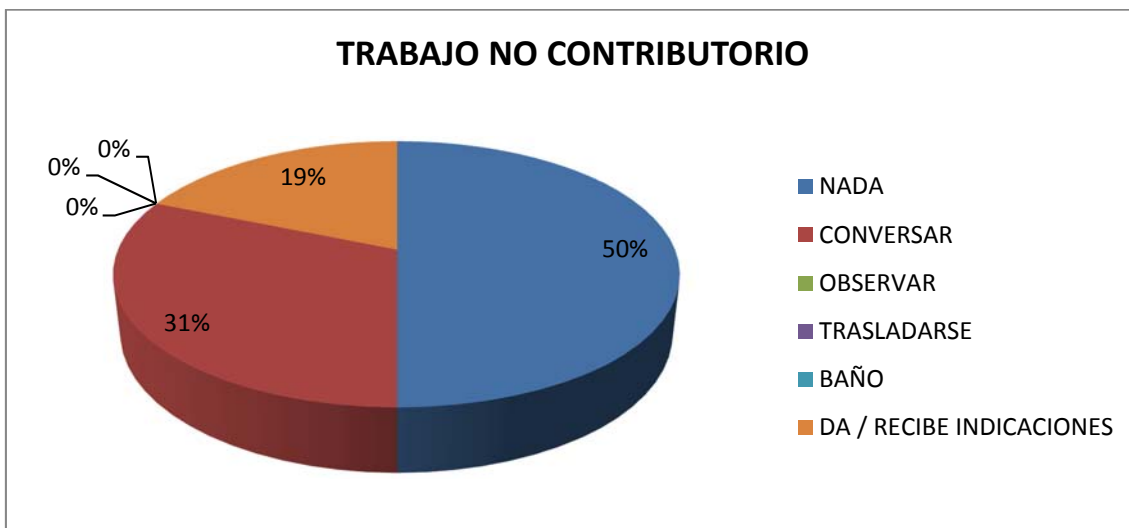


**GRÁFICOS MEDICIÓN Nº3**

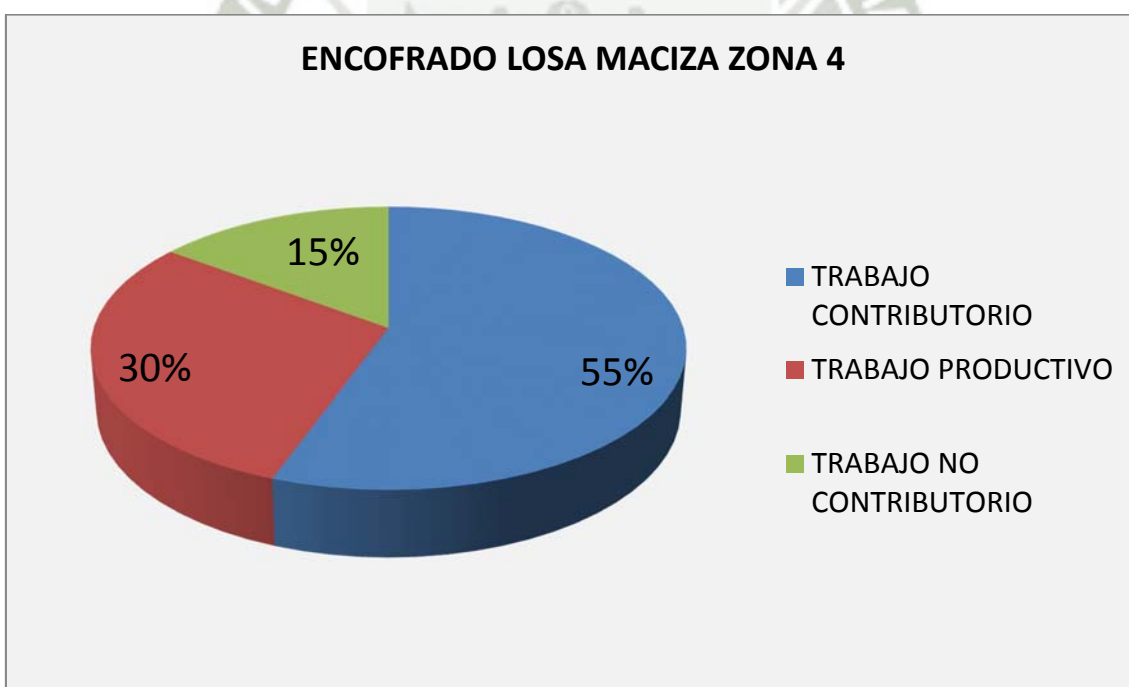
I. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO CONTRIBUTORIO



II. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO NO CONTRIBUTORIO



III. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO DE LA PARTIDA: MEDICIÓN Nº3

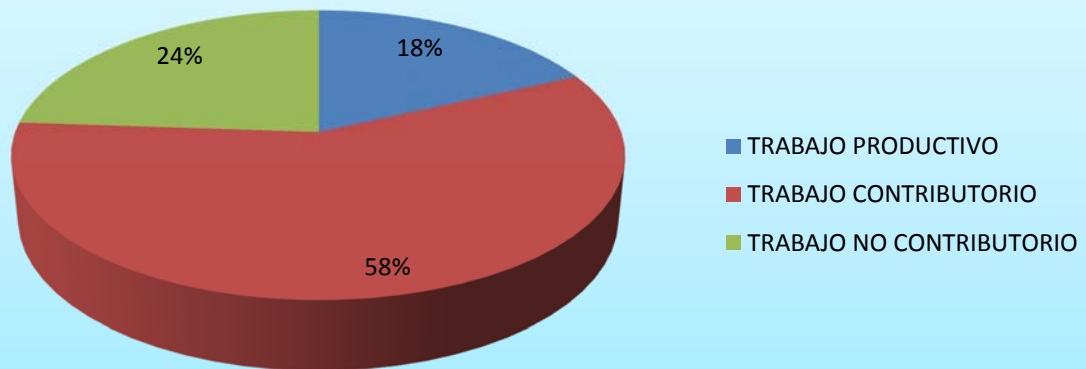


**CONCLUSIÓN:**

Para obtener conclusiones, se analiza un gráfico que promedia las 3 mediciones:

|                                 |   |     |
|---------------------------------|---|-----|
| <u>TRABAJO PRODUCTIVO</u>       | : | 18% |
| <u>TRABAJO CONTRIBUTORIO</u>    | : | 58% |
| <u>TRABAJO NO CONTRIBUTORIO</u> | : | 24% |

**ENCOFRADO DE LOSAS MACIZAS**



Las cuadrillas óptimas para encofrados a raíz de este estudio, usando encofrado metálico y que dieron resultados positivos permitiendo alcanzar la meta semanal de vaciados sabatinos son:

|                    |                           |   |             |               |
|--------------------|---------------------------|---|-------------|---------------|
| FONDOS DE VIGAS:   | ( 6m <sup>2</sup> /día)   |   |             |               |
|                    | 1 Operario                | + | 1 Ayudante  |               |
| COSTADOS DE VIGAS: | ( 10 m <sup>2</sup> /día) |   |             |               |
|                    | 1 Operario                | + | 1 Ayudante  |               |
| LOSAS MACIZAS:     | ( 75 m <sup>2</sup> /día) |   |             |               |
|                    | 2 Operarios               | + | 1 Oficial   | + 3 Ayudantes |
| COLUMNAS:          | ( 30 m <sup>2</sup> /día) |   |             |               |
|                    | 1 Operario                | + | 1 Ayudante  |               |
| PLACAS:            | ( 40 m <sup>2</sup> /día) |   |             |               |
|                    | 2 Operario                | + | 2 Ayudantes |               |

**B. ACERO CORRUGADO G-60 EN LOSA MACIZA**

El acero corrugado de la losa maciza consistía en un doble enmallado con acero de 3/8" y refuerzos de 1/2" en ambos sentidos. El diseño original no llevaba acero en la parte central superior (acero negativo) por no ser necesario estructuralmente, pero en los primeros vaciados se presentó fisuración así que se decidió colocar una malla con acero de 8 mm en ambos sentidos para controlar estos efectos. Además para mejorar la calidad del trabajo y

poder cumplir con los requerimientos exigidos por los planos se utilizaron separadores prefabricados marca Z-Aditivos de 3 centímetros.

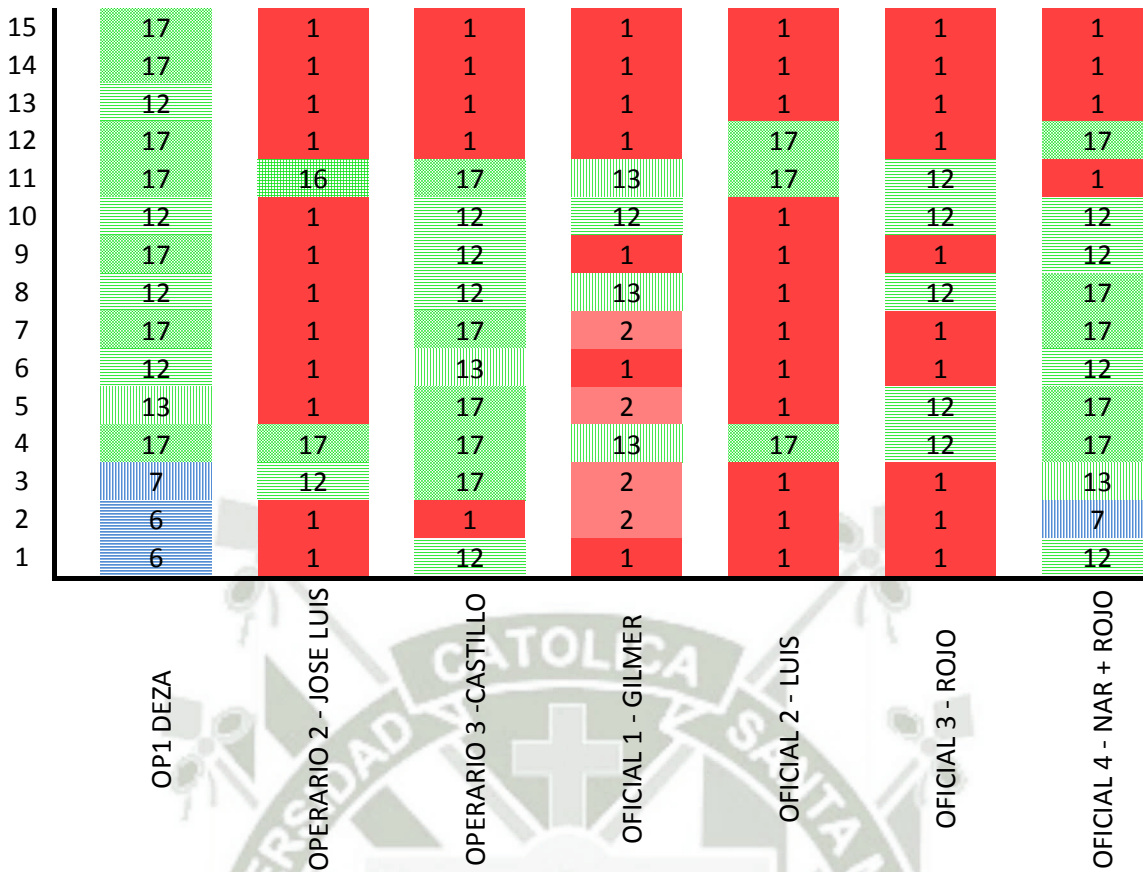
|                   |                                     |
|-------------------|-------------------------------------|
| <b>EMPRESA:</b>   | Nueva Andina S.A.                   |
| <b>OBRA:</b>      | Estacionamientos - Aulas Lord Byron |
| <b>ACTIVIDAD:</b> | COLOCACIÓN ACERO LOSA zona 1        |

| TRABAJO PRODUCTIVO      | COD. |
|-------------------------|------|
| AMARRA FIERRO           | 1    |
| COLOCAR FIERRO          | 2    |
| TRABAJO CONTRIBUTIVO    | COD. |
| MEDIR                   | 6    |
| TRASLADAR FIERRO        | 7    |
| DAR INDICACIONES        | 8    |
| PONER SEPARADORES       | 9    |
| RECOLECTAR SEPARADORES  | 10   |
| TRABAJO NO CONTRIBUTIVO | COD. |
| NADA                    | 12   |
| CONVERSAR               | 13   |
| OBSERVAR                | 14   |
| TOMAR GASEOSA           | 15   |
| BAÑO                    | 16   |
| TRASLADARSE             | 17   |

### MEDICIÓN N°1:

|                    |                              |
|--------------------|------------------------------|
| <b>ACTIVIDAD:</b>  | COLOCACIÓN ACERO LOSA zona 2 |
| <b>FECHA/HORA:</b> | 29/05/2013                   |

|    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 30 | 17 | 12 | 13 | 12 | 12 | 1  | 2  |
| 29 | 15 | 17 | 13 | 12 | 12 | 1  | 2  |
| 28 | 2  | 12 | 15 | 12 | 17 | 17 | 2  |
| 27 | 2  | 15 | 15 | 15 | 17 | 1  | 2  |
| 26 | 12 | 15 | 15 | 12 | 15 | 1  | 2  |
| 25 | 17 | 15 | 2  | 15 | 15 | 12 | 17 |
| 24 | 12 | 17 | 2  | 17 | 13 | 12 | 12 |
| 23 | 12 | 12 | 2  | 16 | 13 | 1  | 17 |
| 22 | 17 | 12 | 2  | 16 | 13 | 1  | 17 |
| 21 | 17 | 12 | 2  | 17 | 1  | 1  | 13 |
| 20 | 17 | 1  | 2  | 17 | 1  | 1  | 17 |
| 19 | 17 | 1  | 1  | 1  | 1  | 12 | 17 |
| 18 | 17 | 1  | 17 | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 17 | 17 | 1  | 1  | 13 | 1  | 12 | 1  |
| 16 | 17 | 1  | 1  | 1  | 1  | 12 | 1  |

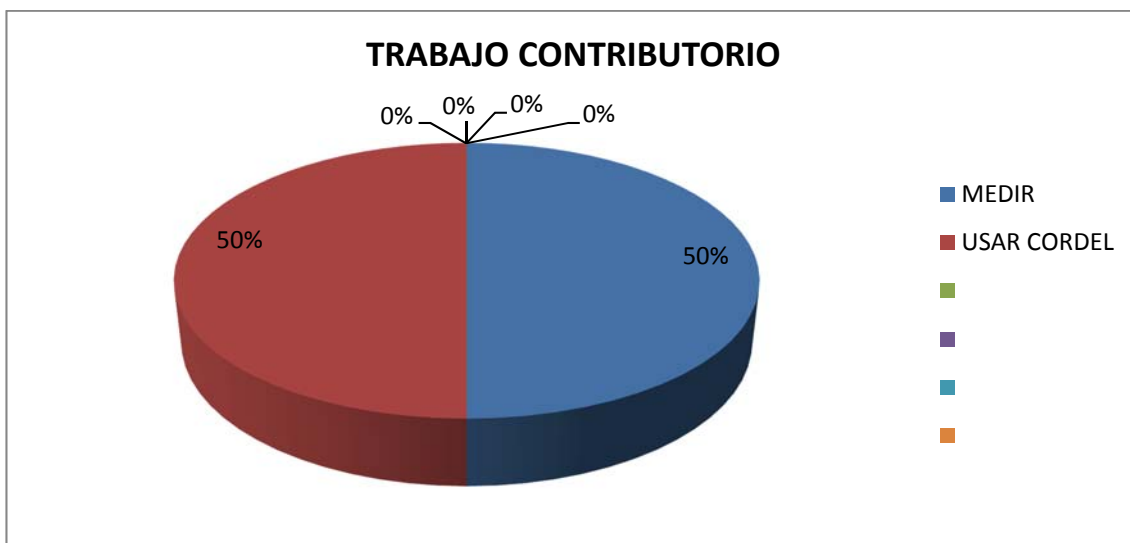


**GRÁFICOS MEDICIÓN Nº1**

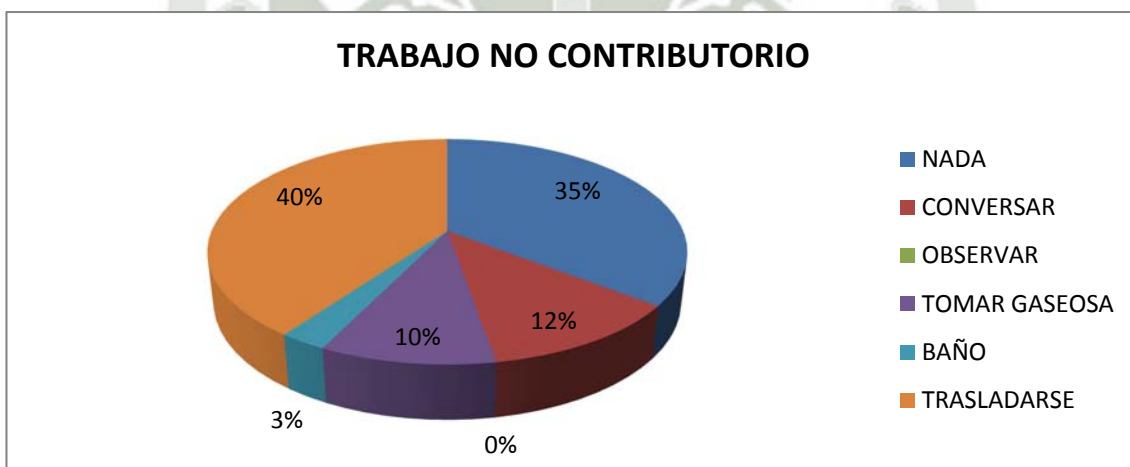
I. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO PRODUCTIVO



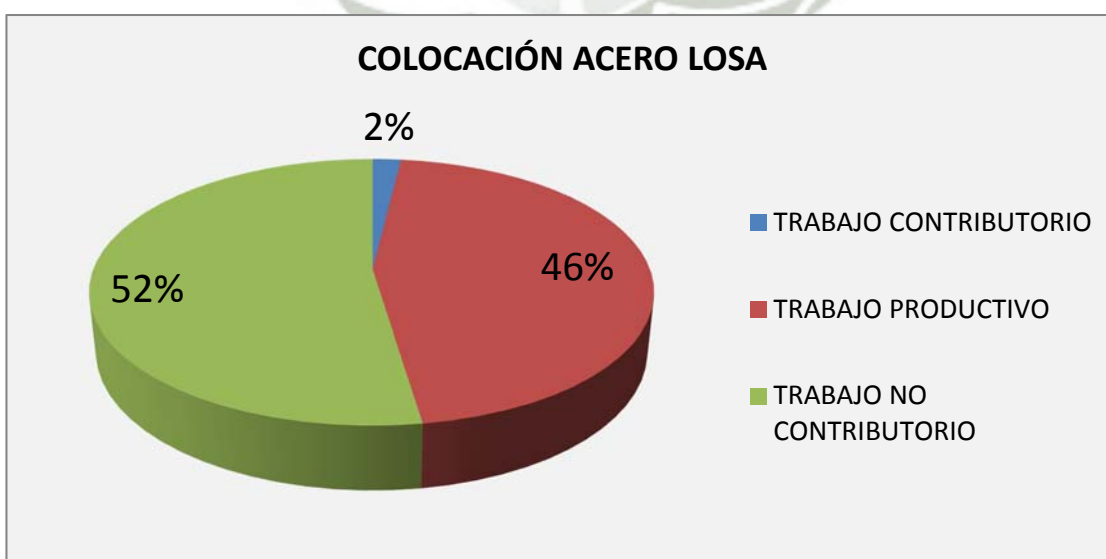
II. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO CONTRIBUTORIO



III. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO NO CONTRIBUTORIO



IV. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO DE LA PARTIDA: MEDICIÓN Nº1



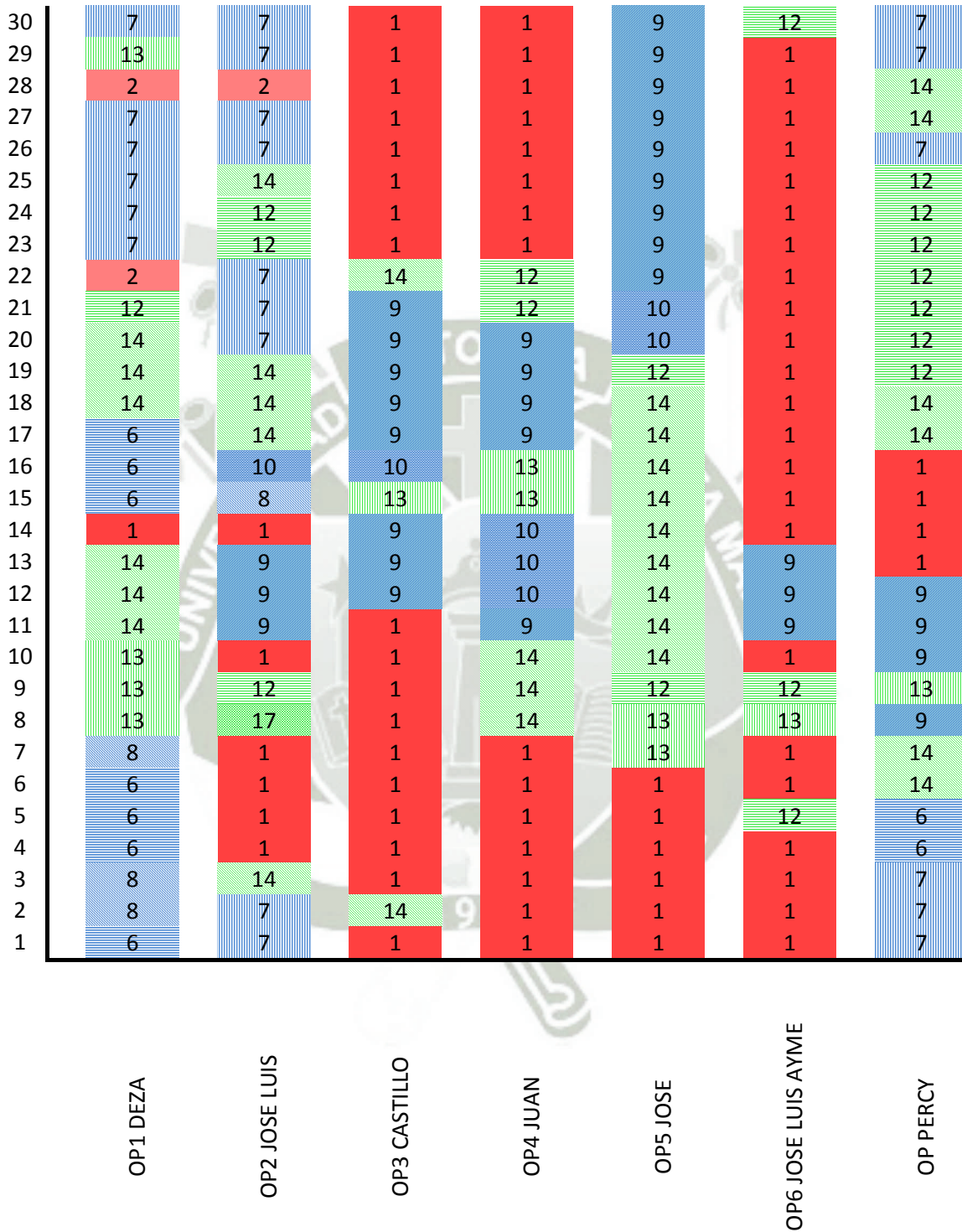
**MEDICIÓN Nº2:**

**ACTIVIDAD:**

COLOCACIÓN ACERO LOSA zona 2

**FECHA/HORA:**

26/03/2013 - 4:10 pm

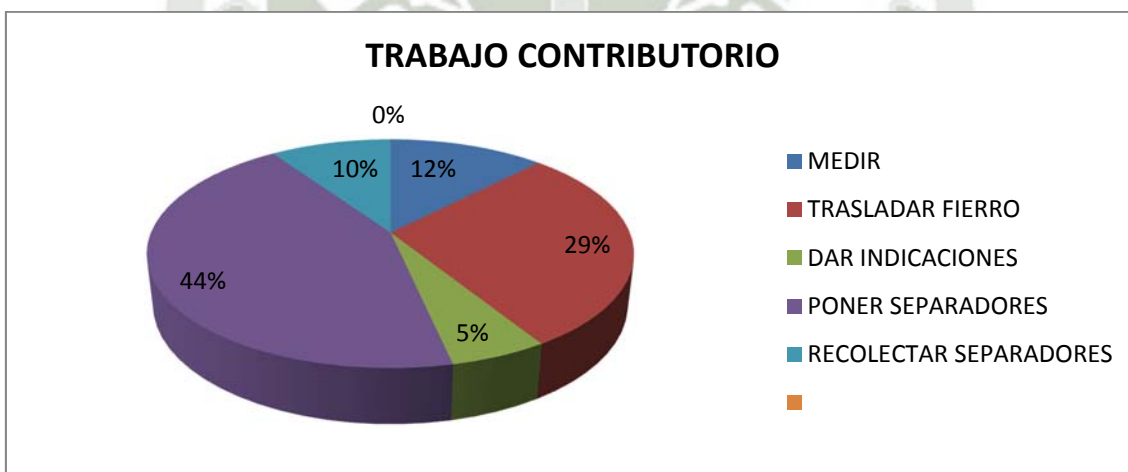


**GRÁFICOS MEDICIÓN Nº2**

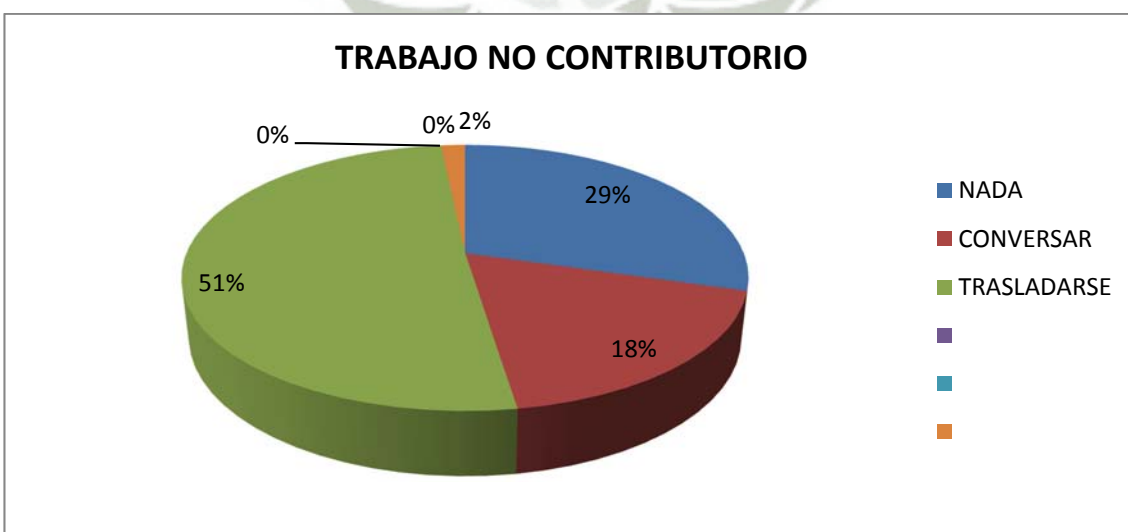
I. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO PRODUCTIVO



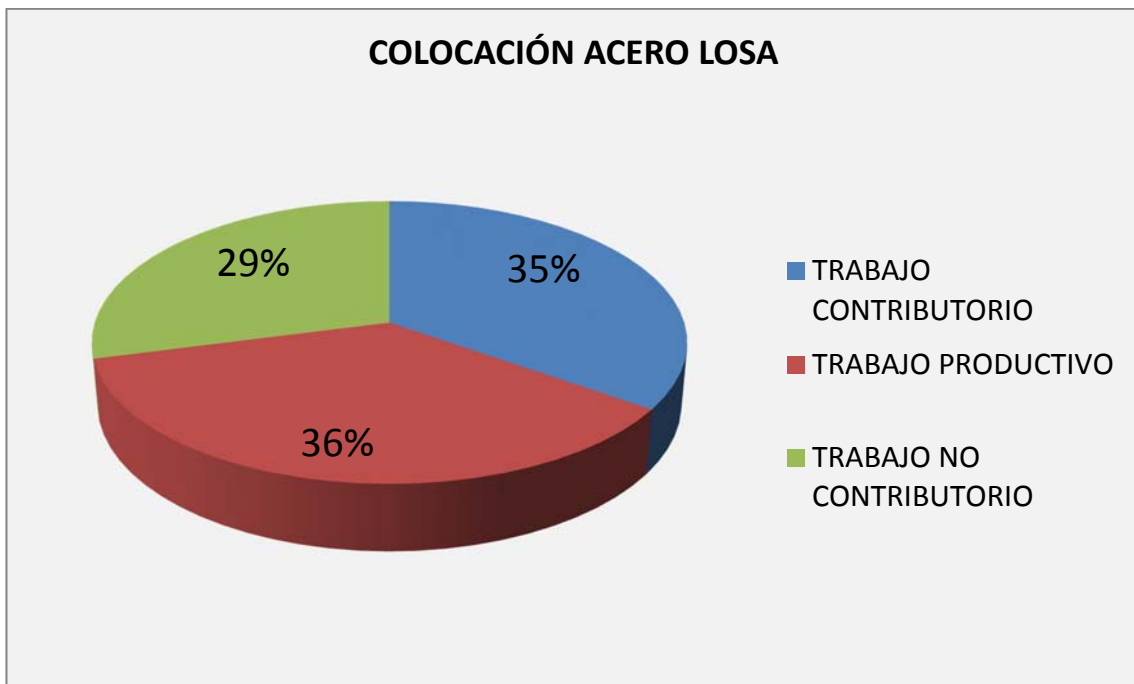
II. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO CONTRIBUTORIO



III. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO NO CONTRIBUTORIO

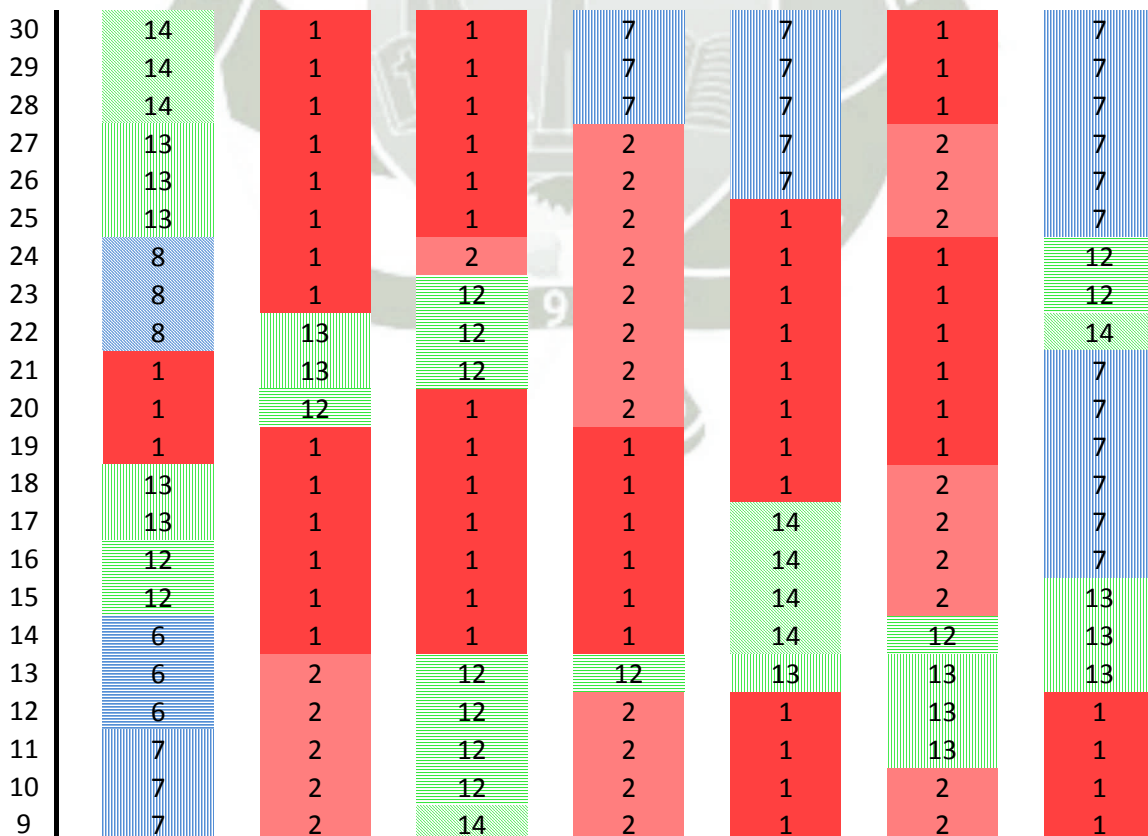


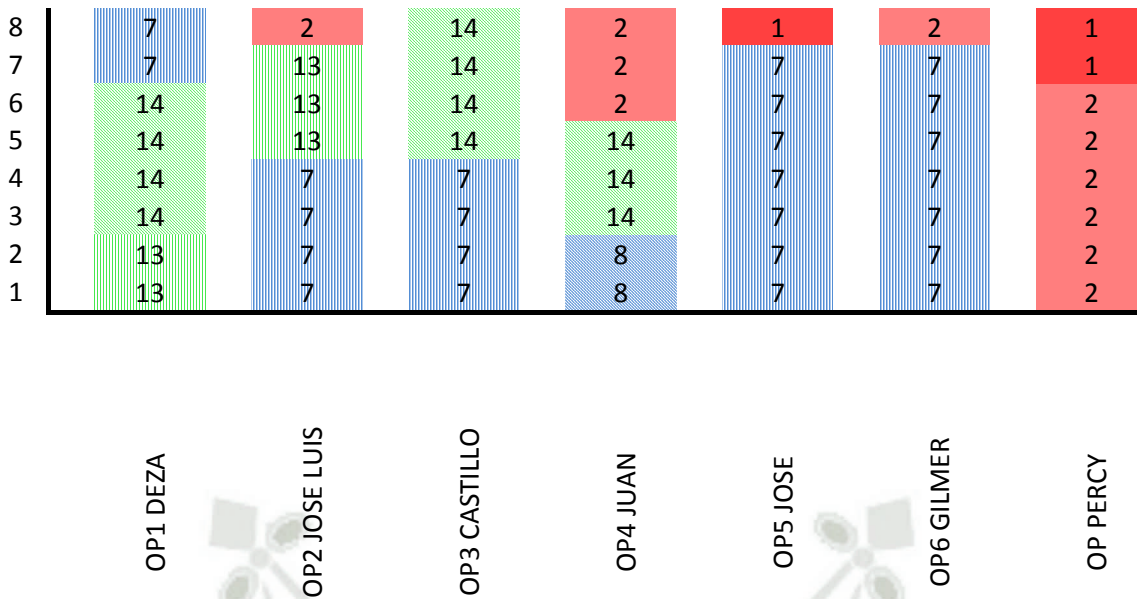
IV. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO DE LA PARTIDA: MEDICIÓN Nº2



**MEDICIÓN Nº3:**

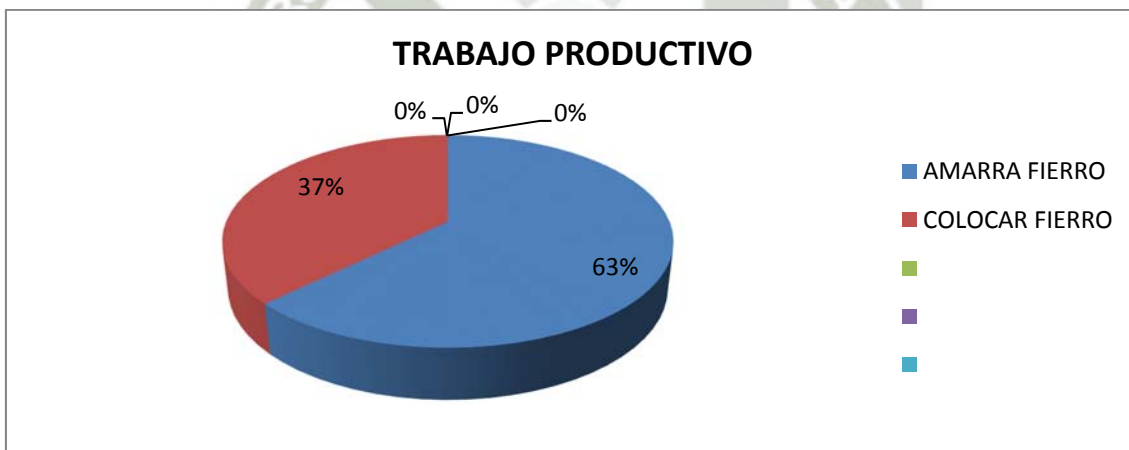
**ACTIVIDAD:** COLOCACIÓN ACERO LOSA zona 2  
**FECHA/HORA:** 29/05/2013



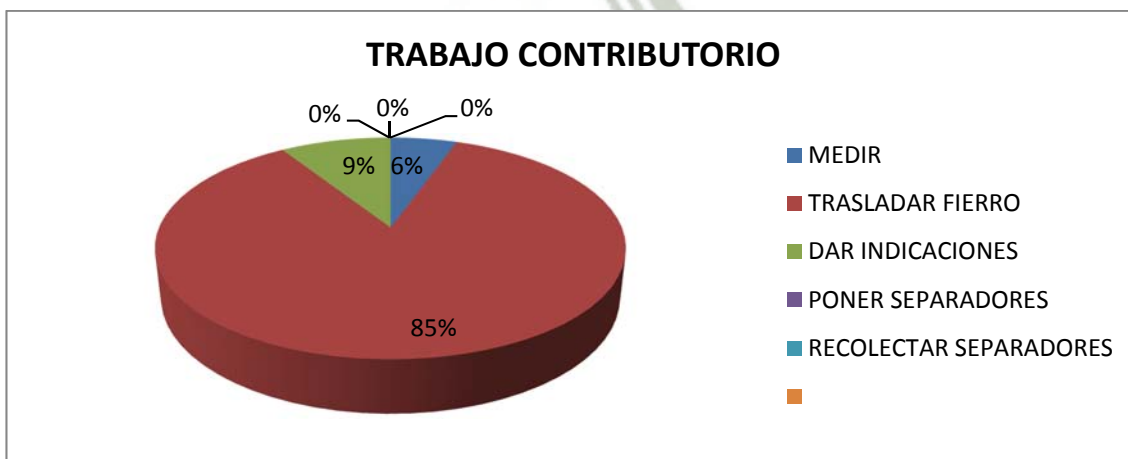


**GRÁFICOS MEDICIÓN N°3**

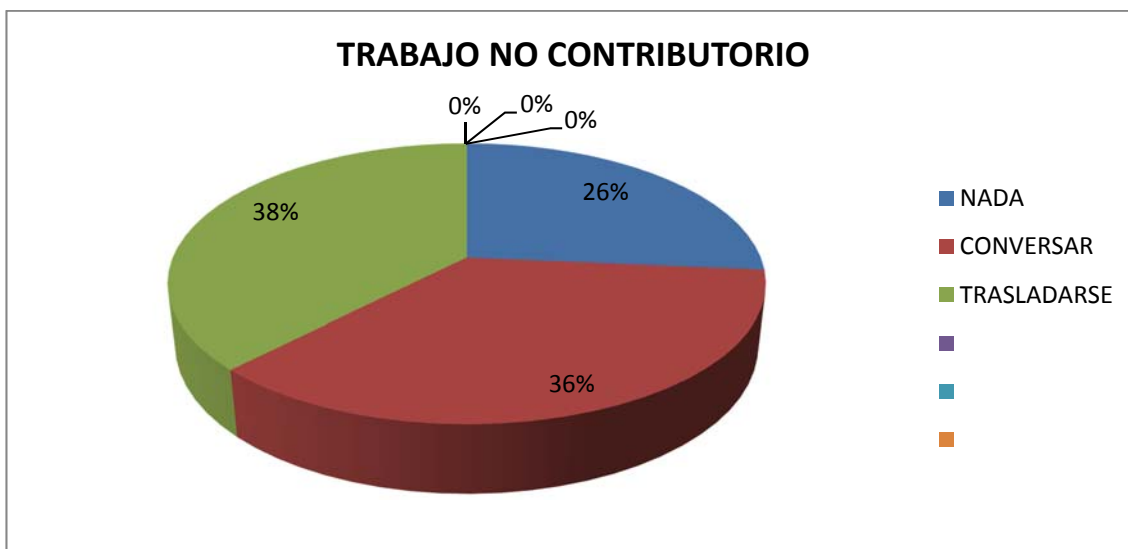
I. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO PRODUCTIVO



II. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO CONTRIBUTORIO



III. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO NO CONTRIBUTORIO



IV. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO DE LA PARTIDA: MEDICIÓN N°3

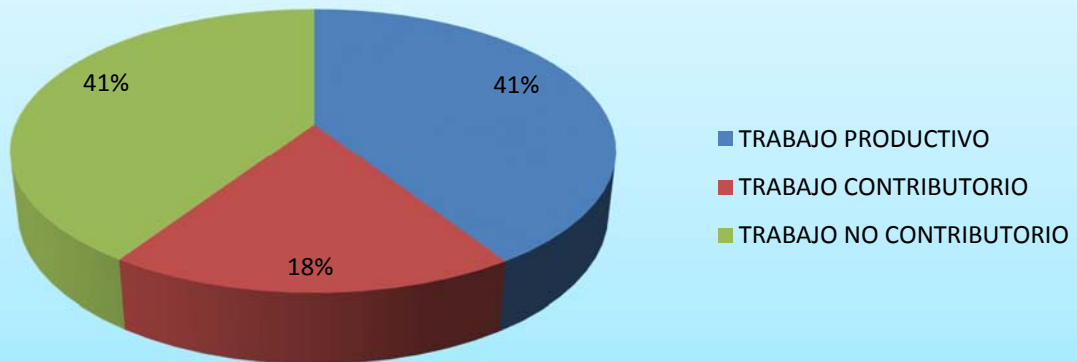


**CONCLUSIÓN:**

Para obtener conclusiones, se analiza un gráfico que promedia las 3 mediciones:

|                                 |   |     |
|---------------------------------|---|-----|
| <u>TRABAJO PRODUCTIVO</u>       | : | 41% |
| <u>TRABAJO CONTRIBUTORIO</u>    | : | 18% |
| <u>TRABAJO NO CONTRIBUTORIO</u> | : | 41% |

### COLOCACIÓN ACERO LOSA



Esta carta Balance permite identificar que la actividad Colocación de Acero Losa presenta temas muy interesantes que se deben corregir en la construcción:

- Ergonomía en la construcción: Malas posiciones para amarrar, jalar, trasladar peso provocan cansancio más frecuente en los trabajadores, por esa razón el trabajo es continuo por un promedio de 5 minutos y los siguientes 3 son para descansar.
- En este caso particular el frente para el acero siempre era amplio y por ello la cuadrilla se dimensionaba en función de la velocidad requerida y la cantidad de recursos.
- La cantidad de acero del sector B era de 35 kgf/m<sup>2</sup> y para el sector C eran 42 kgf/m<sup>2</sup>, esta diferencia se debía a la mayor altura del Sector C con respecto al B.
- Para horizontales la proporción era la misma: 10 kgf/m<sup>2</sup>.
- Conclusión: Con una cuadrilla de mínimo 6 personas, podría realizarse 1 paño de losa de 640 kgf en un día y la productividad bordear el 40%.

### C. CONCRETO PREMEZCLADO F' C 210 KGF/CM2 EN LOSA MACIZA

Debido a la cantidad de concreto a colocar, la mejor opción fue usar concreto premezclado, y dadas las condiciones de la obra, en una primera etapa se pudo contar con la bomba telescópica ofrecida por el proveedor y posteriormente con la bomba estacionaria. El proceso de vaciado de concreto presenta un problema en la ciudad que será analizado con mayor detenimiento en el capítulo relacionado a la Variabilidad, sin embargo es importante mencionar que las principales pérdidas en esta actividad se daban en el cambio de mixers, que podía durar desde 8 minutos hasta en algún caso una hora y media. Tiempo que representa directamente una pérdida para la empresa.

A continuación se analizará la carta balance de concreto premezclado, que fue usada con éxito para optimizar y dimensionar la cuadrilla para el vaciado.

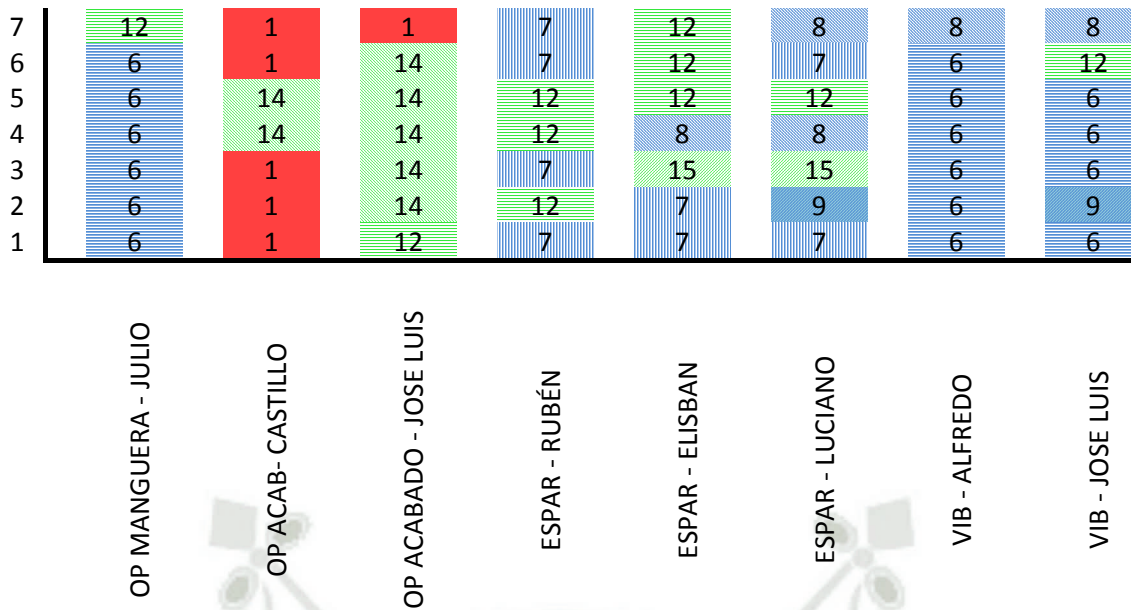
|                   |                                     |
|-------------------|-------------------------------------|
| <b>EMPRESA:</b>   | Nueva Andina S.A.                   |
| <b>OBRA:</b>      | Estacionamientos - Aulas Lord Byron |
| <b>ACTIVIDAD:</b> | CONCRETO PREMEZCLADO ZONA 2         |

| TRABAJO PRODUCTIVO         | COD. |
|----------------------------|------|
| ACABADO                    | 1    |
| TRABAJO CONTRIBUTORIO      | COD. |
| OPERA VIBRADORA / MANGUERA | 6    |
| ESPARCIR CONCRETO          | 7    |
| TRASLADA VIBRADORA         | 8    |
| ARREGLA VIBRADORA          | 9    |
| TRABAJO NO CONTRIBUTORIO   | COD. |
| NADA                       | 12   |
| CONVERSAR                  | 13   |
| OBSERVAR                   | 14   |
| TRASLADARSE                | 15   |
| BAÑO                       | 16   |
| DA / RECIBE INDICACIONES   | 17   |

**MEDICIÓN Nº1:**

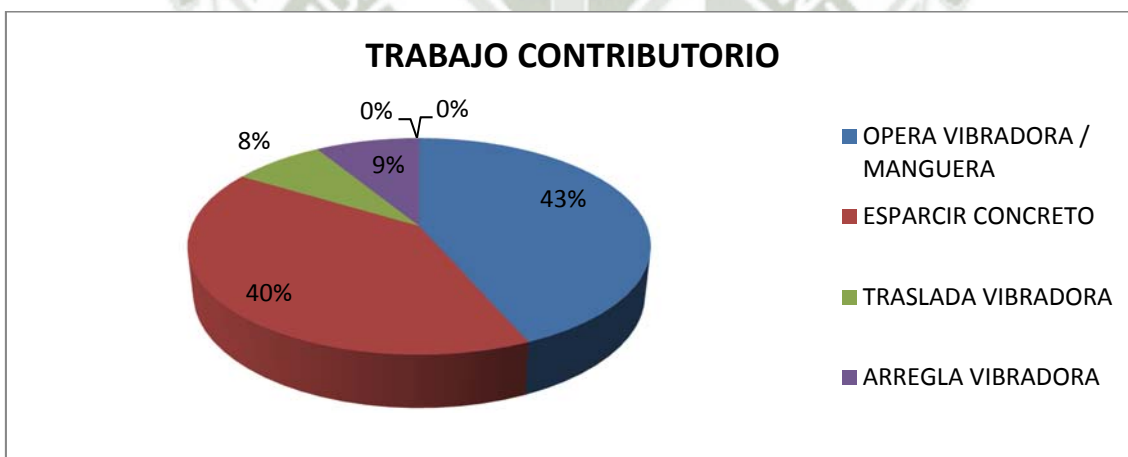
|                    |   |
|--------------------|---|
| <b>ACTIVIDAD:</b>  | CONCRETO PREMEZCLADO (Bomba Telescópica)<br>ZONA 2 – SECTOR B |
| <b>FECHA/HORA:</b> | 27/3/2013 - 5:00 PM   |

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 29 | 12 | 1  | 1  | 7  | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 28 | 13 | 1  | 12 | 7  | 13 | 12 | 12 | 12 |
| 27 | 12 | 1  | 12 | 7  | 8  | 7  | 8  | 6  |
| 26 | 12 | 1  | 12 | 7  | 15 | 7  | 12 | 6  |
| 25 | 12 | 1  | 1  | 1  | 1  | 12 | 6  | 6  |
| 24 | 12 | 1  | 1  | 7  | 1  | 7  | 6  | 6  |
| 23 | 12 | 1  | 1  | 13 | 1  | 7  | 9  | 6  |
| 22 | 6  | 1  | 7  | 7  | 1  | 7  | 9  | 6  |
| 21 | 6  | 1  | 1  | 7  | 7  | 7  | 9  | 6  |
| 20 | 6  | 1  | 1  | 7  | 1  | 7  | 9  | 6  |
| 19 | 6  | 14 | 1  | 7  | 12 | 7  | 9  | 6  |
| 18 | 6  | 1  | 1  | 7  | 7  | 7  | 6  | 6  |
| 17 | 6  | 17 | 14 | 7  | 7  | 7  | 6  | 6  |
| 16 | 6  | 17 | 17 | 12 | 12 | 9  | 6  | 6  |
| 15 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 14 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 13 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 11 | 12 | 1  | 1  | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 10 | 12 | 1  | 12 | 12 | 12 | 7  | 12 | 12 |
| 9  | 12 | 1  | 12 | 7  | 12 | 7  | 12 | 12 |
| 8  | 17 | 1  | 1  | 7  | 12 | 12 | 12 | 12 |

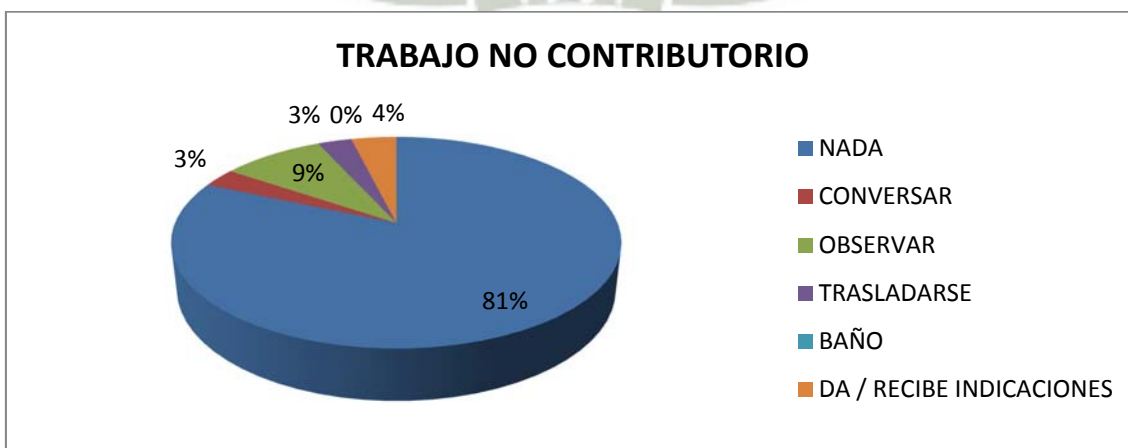


**GRÁFICOS MEDICIÓN N°1**

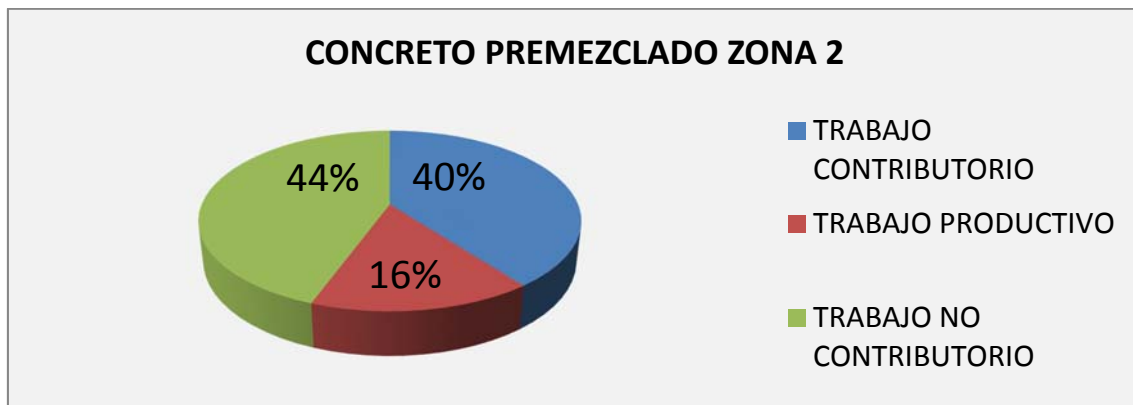
I. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO CONTRIBUTORIO



II. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO NO CONTRIBUTORIO



III. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO DE LA PARTIDA: MEDICIÓN Nº1



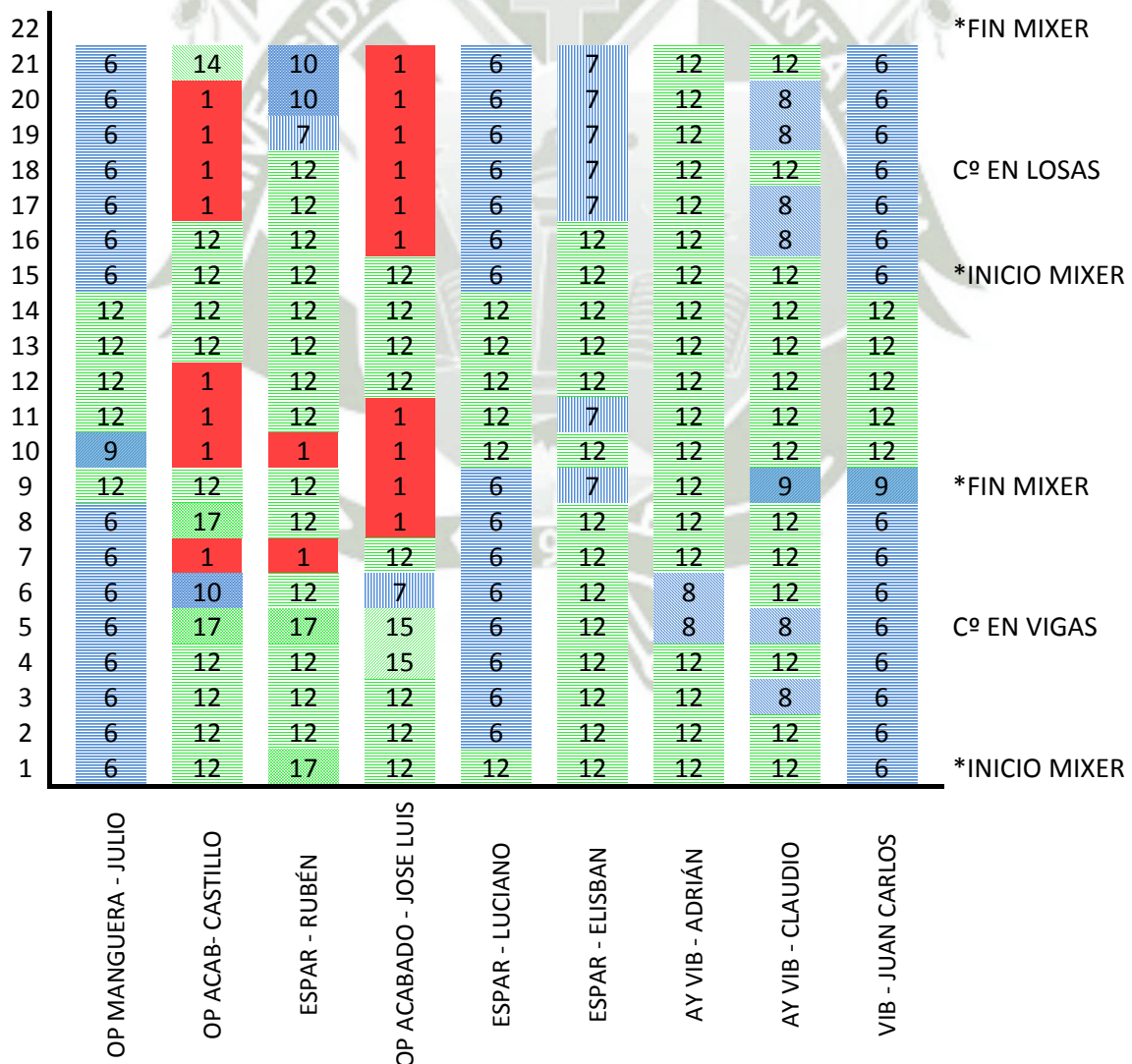
**MEDICIÓN Nº2:**

ACTIVIDAD:

CONCRETO PREMEZCLADO (Bomba telescópica)  
ZONA 3 – SECTOR B

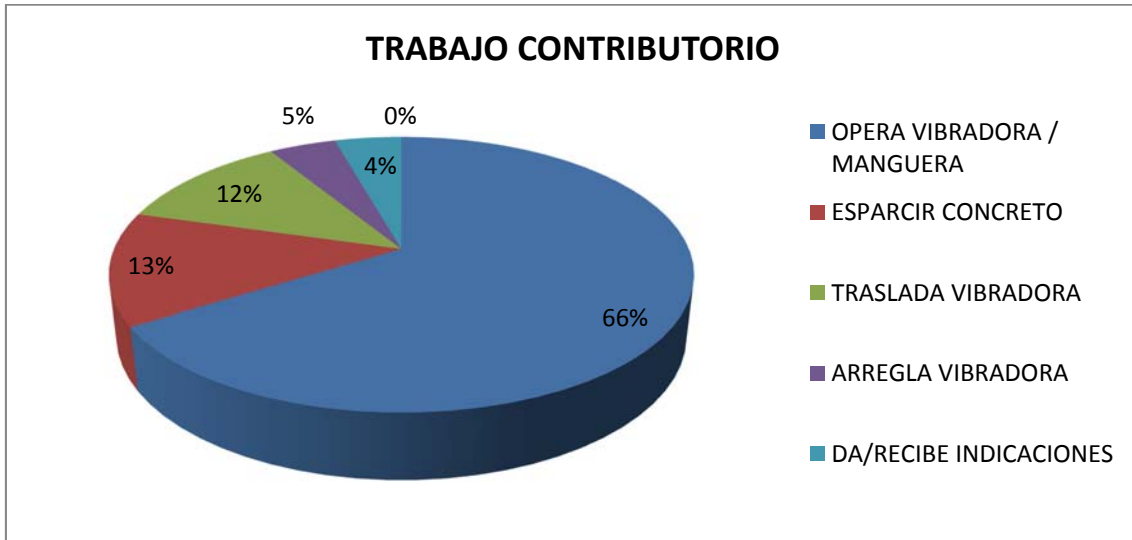
FECHA/HORA:

04-abr

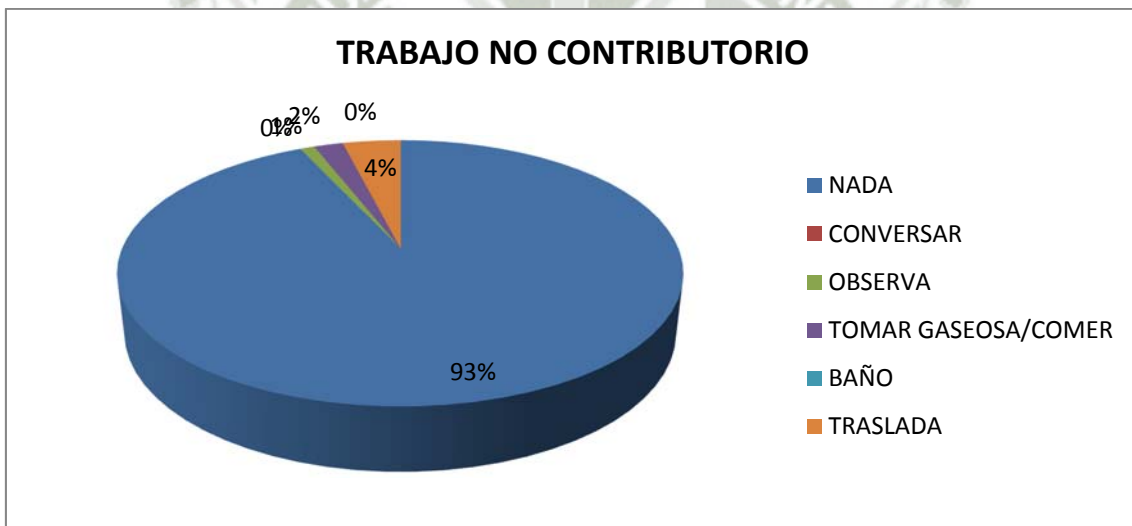


**GRÁFICOS MEDICIÓN Nº2**

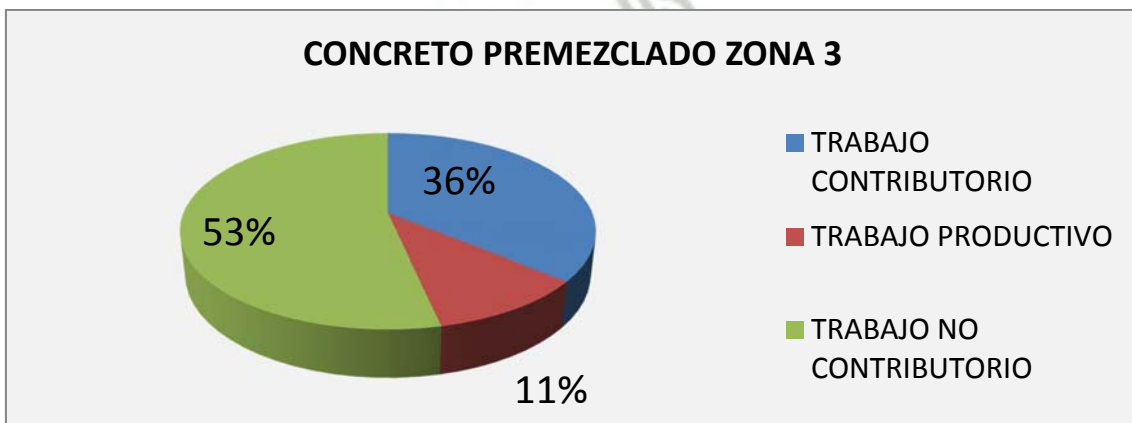
I. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO CONTRIBUTORIO



II. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO NO CONTRIBUTORIO



III. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO DE LA PARTIDA: MEDICIÓN Nº2



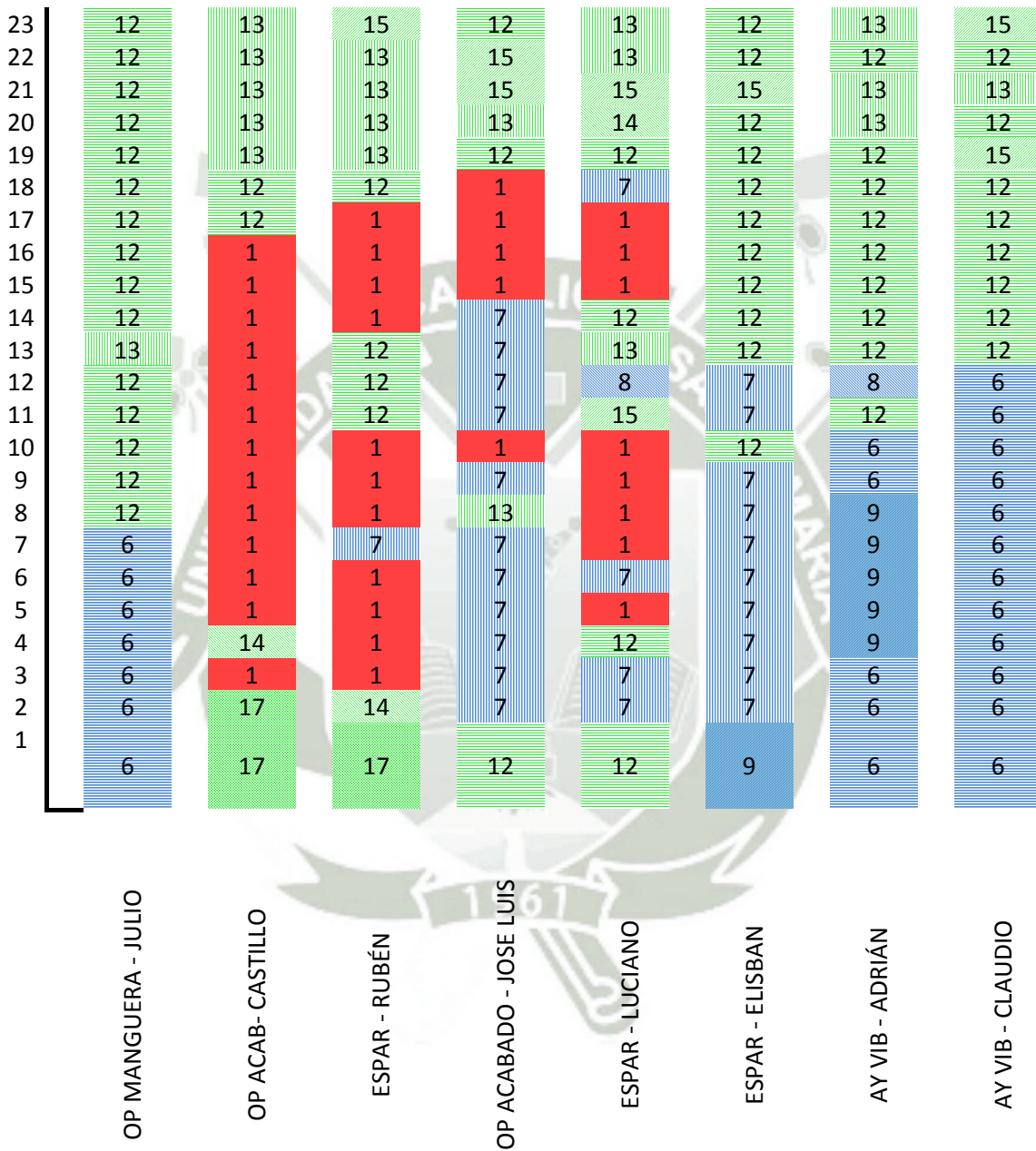
**MEDICIÓN Nº3:**

**ACTIVIDAD:**

CONCRETO PREMEZCLADO (Bomba Estacionaria)  
ZONA 1 - SECTOR C

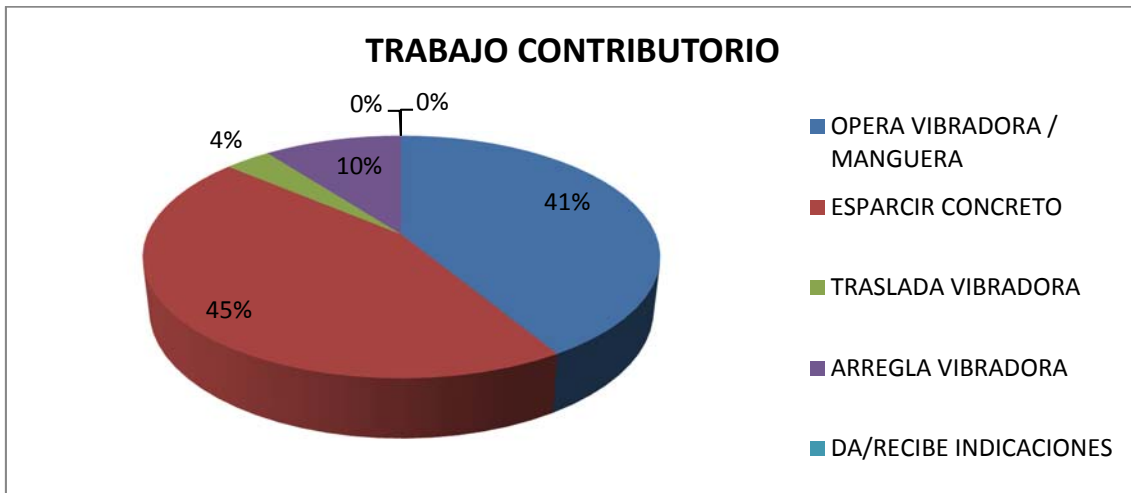
**FECHA/HORA:**

31-may

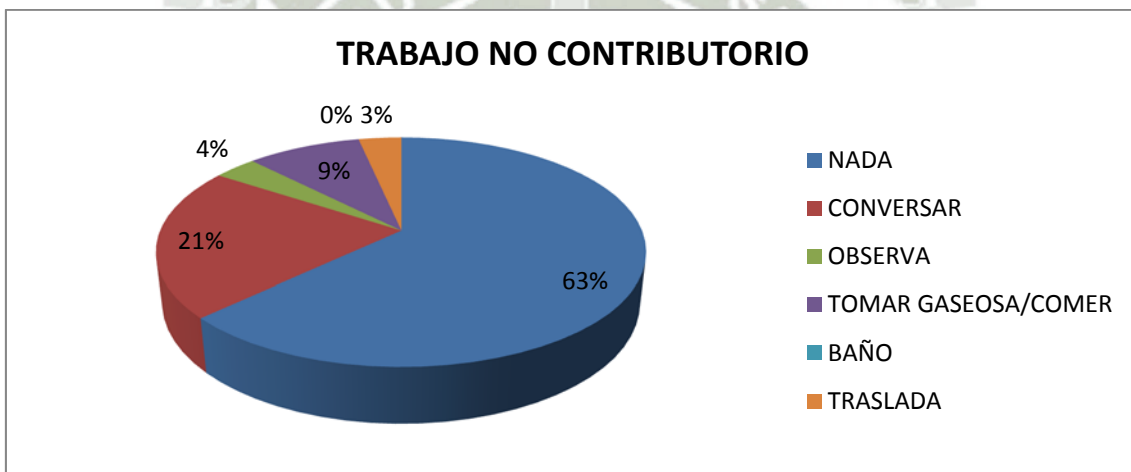


**GRÁFICOS MEDICIÓN N°3**

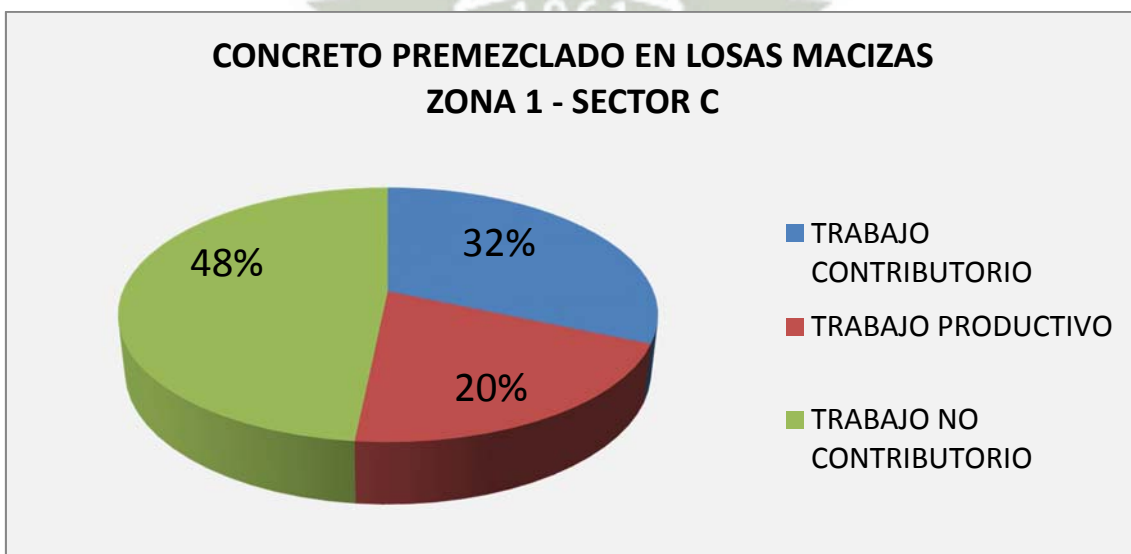
I. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO CONTRIBUTORIO



II. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO NO CONTRIBUTORIO



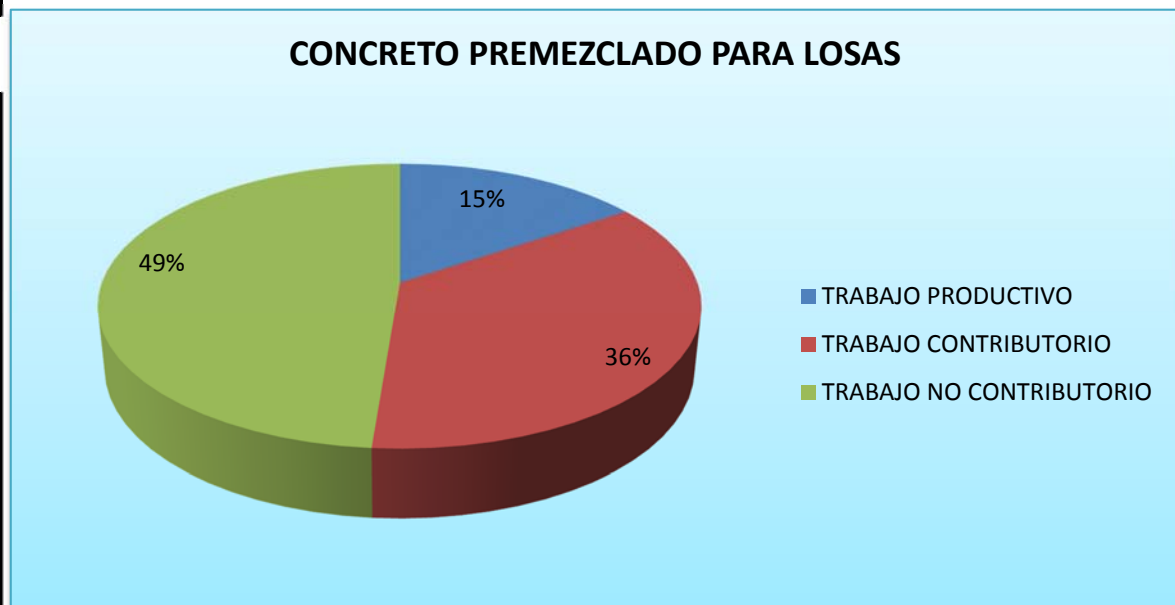
III. COMPOSICIÓN DEL TRABAJO DE LA PARTIDA: MEDICIÓN N°3



**CONCLUSIÓN:**

Para obtener conclusiones, se analiza un gráfico que promedia las 3 mediciones:

|                                 |   |     |
|---------------------------------|---|-----|
| <u>TRABAJO PRODUCTIVO</u>       | : | 16% |
| <u>TRABAJO CONTRIBUTORIO</u>    | : | 36% |
| <u>TRABAJO NO CONTRIBUTORIO</u> | : | 49% |



Esta carta balance permitió identificar que la actividad concreto premezclado se ve afectada por varias razones, pero la principal es la impuntualidad del proveedor de concreto. Una vez terminado un mixer, el cambio a otro debería ser inmediato pero en el 80% de los casos el siguiente mixer llegó entre 15 y 100 minutos más tarde. Esa espera es un trabajo no contributivo y representa una pérdida de tiempo y dinero para la empresa.

Existe un punto de quiebre en esta actividad y es el uso de bomba telescópica hasta el 04 de Abril y el posterior uso de la bomba estacionaria del 04 de abril al 15 de junio.

**CUADRILLA CON BOMBA TELESCÓPICA**

- 1 Operador – Manguera
- 1 Operador – Vibradora
- 2 Operarios – Acabado y regleado
- 1 Ayudante – Esparcir concreto
- 1 Ayudante – Esparcir concreto y ayudar con la vibradora

**CUADRILLA CON BOMBA ESTACIONARIA**

- 2 Operadores – Manguera
- 1 Operador – Vibradora
- 2 Operarios – Acabado y regleado
- 2 Ayudante – Esparcir concreto
- 1 Ayudante – Esparcir concreto y ayudar con la vibradora

### 5.3.16 PRUEBA DE LOS 5 MINUTOS

La prueba de los 5 minutos es una forma muy sencilla de medir la productividad en la obra. El objetivo de la prueba es tomar durante 5 minutos el tiempo dedicado por un trabajador a actividades productivas, contributivas o no contributivas (pérdidas). La persona que realiza la medición solo debe contar con un cronómetro y un formato para registrar la información. La toma de la medición debe realizarse de forma aleatoria. Toda la información de la prueba debe registrarse en un formato.

Primero hay que determinar la muestra en función de las expectativas que se pretendan alcanzar con esta prueba considerando que si bien es cierta es sencilla, requiere de tiempo; así que la muestra no puede ser muy elevada y por ende la confiabilidad es menor.

Esta prueba se ha utilizado para tener una idea inicial del nivel de productividad, siempre al principio de cada una de las etapas, más no al medio o al final porque ya se contaba con el nivel general de actividad o las cartas Balance y resultaba repetitivo.

Determinación de la muestra:

#### POBLACIÓN INFINITA

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| Nivel de confiabilidad:       | 95 % |
| Constante K:                  | 1.96 |
| Desviación estándar estimada: | 5    |
| Error de muestreo aceptable:  | 2    |

$$n = \left( \frac{Z \cdot \sigma}{e} \right)^2 = \left( \frac{1.96 \times 5}{2} \right)^2 = 24$$

Llenar los datos en un formato como el que se presenta:

| PRUEBA DE LOS 5 MINUTOS        |                      |                |                                   |
|--------------------------------|----------------------|----------------|-----------------------------------|
|                                |                      | CÓDIGO:        | <input type="text"/>              |
| Fecha:                         | <input type="text"/> | Hora:          | <input type="text"/>              |
| Actividad:                     | <input type="text"/> | Oficio:        | <input type="text"/>              |
|                                | Cronómetro           | Intervalo (s)  |                                   |
| <b>TIEMPO PRODUCTIVO</b>       | <input type="text"/> | (0 segundos)   | Observación: <input type="text"/> |
| <b>TIEMPO CONTRIBUTORIO</b>    | <input type="text"/> | (0 segundos)   | Observación: <input type="text"/> |
| <b>TIEMPO NO CONTRIBUTORIO</b> | <input type="text"/> | (300 segundos) | Observación: <input type="text"/> |
| <b>COMENTARIOS:</b>            | <input type="text"/> |                |                                   |

REGISTRAR FORMATO

Procesar los datos en una Hoja de Excel:

| NUM | CÓDIGO     | FECHA      | HORA     | ACTIVIDAD                  | OFICIO            | INTERVALO (segundos) |                     |                        | PORCENTAJE DE TIEMPO |                     |                        | OBSERVACIONES                      |
|-----|------------|------------|----------|----------------------------|-------------------|----------------------|---------------------|------------------------|----------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|
|     |            |            |          |                            |                   | TIEMPO PRODUCTIVO    | TIEMPO CONTRIBUTIVO | TIEMPO NO CONTRIBUTIVO | TIEMPO PRODUCTIVO    | TIEMPO CONTRIBUTIVO | TIEMPO NO CONTRIBUTIVO |                                    |
| 1   | 001-022010 | 10/02/2010 | 3:35 AM  | Vertido de Concreto Promoc | Operario Bomba    | 300                  | 0                   | 0                      | 100.0%               | 0.0%                | 0.0%                   | Durante el vertido con Mixer       |
| 2   | 002-022010 | 10/02/2010 | 3:30 AM  | Vertido de Concreto Promoc | Operador de Vibra | 151                  | 13                  | 100                    | 53.7%                | 6.3%                | 40.0%                  | Vibrando zapatas a vigas           |
| 3   | 003-022010 | 10/02/2010 | 3:27 AM  | Vertido de Concreto Promoc | Peón              | 114                  | 0                   | 186                    | 58.0%                | 0.0%                | 42.0%                  | Limpieza estrado la mezcla         |
| 4   | 004-022010 | 10/02/2010 | 3:45 AM  | Vertido de Concreto Promoc | Operario          | 131                  | 49                  | 114                    | 45.1%                | 16.3%               | 38.6%                  | Eligir y dar acabado               |
| 5   | 005-022010 | 10/02/2010 | 10:19 AM | Vertido de Concreto Promoc | Peón              | 131                  | 0                   | 103                    | 52.1%                | 0.0%                | 47.9%                  | Espesar el concreto con tiempo     |
| 6   | 006-022010 | 10/02/2010 | 11:00 AM | Vertido de Concreto Promoc | Operario          | 62                   | 175                 | 63                     | 20.1%                | 59.3%               | 20.6%                  | Dar el acabado con ruga            |
| 7   | 007-022010 | 10/02/2010 | 10:18 AM | Vertido de Concreto Promoc | Peón              | 196                  | 58                  | 166                    | 28.7%                | 12.7%               | 58.6%                  | Espesar la mezcla con tiempo       |
| 8   | 008-022010 | 26/02/2010 | 10:40 AM | Encofrado Columnas         | Peón              | 0                    | 210                 | 82                     | 0.0%                 | 72.1%               | 27.9%                  | Clasado estacas, cortado alambre   |
| 9   | 009-022010 | 26/02/2010 | 12:10 PM | Encofrado de Muro          | Operario          | 0                    | 183                 | 117                    | 0.0%                 | 61.0%               | 39.0%                  | Asopar encofrado, cortar encofrado |
| 10  | 010-022010 | 26/02/2010 | 11:50 AM | Habilitación Acero         | Operario          | 54                   | 227                 | 19                     | 19.0%                | 75.1%               | 6.3%                   | Doblar estribos                    |
| 11  | 011-022010 | 26/02/2010 | 11:57 AM | Habilitación de Acero      | Oficial           | 50                   | 42                  | 208                    | 16.7%                | 14.0%               | 69.3%                  | Doblar Acero                       |
| 12  | 012-022010 | 10/02/2010 | 11:25 AM | Colocación Acero Vigas     | Oficial           | 0                    | 109                 | 112                    | 0.0%                 | 42.1%               | 57.9%                  | Preparar estribos y acero          |
| 13  | 013-022010 | 10/02/2010 | 11:51 AM | Colocación de Acero Vigas  | Oficial           | 102                  | 103                 | 65                     | 34.0%                | 44.3%               | 21.7%                  | Asopar estribos y acero            |
| 14  | 014-022010 | 10/02/2010 | 4:10 PM  | Colocación Acero Losa      | Operario          | 82                   | 160                 | 58                     | 27.3%                | 53.3%               | 19.3%                  | Colocar fierro                     |
| 15  | 015-022010 | 20/03/2010 | 10:30 AM | Acero Losa                 | Operario          | 10                   | 215                 | 15                     | 3.3%                 | 71.1%               | 25.6%                  | Amarrar acero                      |
| 16  | 016-022010 | 20/03/2010 | 10:40 AM | Acero Losa                 | Operario          | 45                   | 200                 | 55                     | 16.0%                | 66.1%               | 18.3%                  | Trasladar acero                    |
| 17  | 017-022010 | 20/03/2010 | 11:00 AM | Acero Losa                 | Oficial           | 35                   | 150                 | 55                     | 21.1%                | 50.0%               | 28.9%                  | Amarrar acero                      |
| 18  | 018-022010 | 20/03/2010 | 11:30 AM | Acero Losa                 | Operario          | 12                   | 201                 | 87                     | 4.0%                 | 61.0%               | 35.0%                  | Amarrar acero                      |
| 19  | 019-042010 | 03/04/2010 | 2:00 PM  | Encofrado de Losas         | Operario          | 45                   | 120                 | 135                    | 15.0%                | 40.0%               | 45.0%                  | Colocación de Fendico              |
| 20  | 019-042010 | 03/04/2010 | 3:45 PM  | Acero en botas             | Operario          | 28                   | 143                 | 129                    | 3.3%                 | 41.1%               | 43.0%                  | Amarrar acero                      |
| 21  | 019-042010 | 10/04/2010 | 2:25 PM  | Encofrado Losas            | Operario          | 80                   | 88                  | 52                     | 50.0%                | 52.1%               | 17.9%                  | Colocar Plantas                    |
| 22  | 019-042010 | 10/04/2010 | 4:10 PM  | Encofrado Vigas            | Oficial           | 124                  | 46                  | 130                    | 41.3%                | 15.0%               | 43.7%                  | Colocar Pasador masallita          |
| 23  | 019-042010 | 25/04/2010 | 1:25 PM  | Encofrado de Sardinillo    | Operario          | 135                  | 122                 | 43                     | 45.0%                | 40.7%               | 14.3%                  | Power separación                   |
| 24  | 019-042010 | 25/04/2010 | 2:46 PM  | Cemento a Sardinillo       | Operario          | 251                  | 15                  | 34                     | 63.1%                | 5.0%                | 11.9%                  | Acabado de Sardinillo              |
| 25  | 019-042010 | 23/04/2010 | 3:25 AM  | Desencofrado de Vigas      | Oficial           | 200                  | 23                  | 17                     | 66.1%                | 7.7%                | 25.1%                  | Retener encofrado                  |

Los resultados se Analizan con las opciones estadísticas para definir el promedio, la varianza, moda, correlación, entre otros datos que pueden ser de utilidad si el objetivo de la prueba es profundizar.

En este caso se trabajó con el promedio y los resultados fueron los siguientes:



Esta sencilla prueba llega al resultado esperado, obteniendo un 33% de trabajo productivo, 31% de trabajo contributorio y 36% de Trabajo No contributorio, lo que causó mucha preocupación y motivó a seguir adelante para mejorar e implementar Lean Construction y el cambio de forma de pensar.

### 5.3.17 MINIMIZACIÓN DE DESPERDICIOS

Una vez optimizados los procesos del sistema de producción, y haber reducido las pérdidas producto de trabajos Contributorios y No Contributorios (desperdicios que no agregan valor), debe apuntarse a otro tipo de pérdidas como es la generación de desperdicios en la construcción.

Es importante controlar y reducir los desperdicios ocasionados durante el procedimiento constructivo porque también significan pérdidas para la empresa.

En obra se puede encontrar que los operarios de fierro son los encargados de definir el corte de varillas para la habilitación y posterior colocación. A través de un trabajo conjunto entre el jefe de cuadrilla de los “fierros” y el equipo técnico, se puede definir que los cortes deben buscar la optimización y minimización del desperdicio. De este modo, se hacían planos con empalmes y se elevaba la propuesta en las reuniones semanales o al ser necesario. Se evaluaba los cortes y se optaba por la mejor opción.

El desperdicio generado era utilizado para dejar los arranques de acero que servían como Buffer de Capacidad, para soldadura de barandas, como separadores para las losas, entre otros usos que disminuyeron notablemente la cantidad de residuos.

## **PASO 4: RETROALIMENTACIÓN**

### **5.3.18 SEGUIMIENTO DEL PLAN MAESTRO**

Como se ha visto en la parte teórica, Lean Construction tiene una visión diferente del proyecto, a diferencia del Project Management Institute (PMI) que gerencia el proyecto a un nivel Macro y no considera los efectos de la dependencia de actividades, incertidumbre y confiabilidad, el sistema de producción como un flujo, la participación de todas las disciplinas desde la etapa de diseño, el sistema de trabajo pull, los esfuerzos por mitigar la variabilidad, la transparencia de los procesos, entre otros aspectos que hacen de Lean una herramienta de Gestión muy confiable y segura.

Para buscar compatibilizar y mejorar la forma de trabajar con Lean, se ha considerado en esta investigación que es muy importante no descuidar la visión Macro del proyecto, que es una de las virtudes del PMI. De este modo en esta investigación se ha decidido utilizar el MS Project como la herramienta de control y seguimiento de Obra.

Para hacer esto, se requiere de un mayor conocimiento del software, que en este caso fue Microsoft Project 2007. Se explicará paso a paso lo que se realizó y al final se plantearán unas conclusiones y alternativas de mejora.

Antes de comenzar, debe existir una programación bien hecha que incluya correctamente ingresados las actividades con recursos, tareas, duraciones, fechas, nivelación de recursos, etc.



Con una programación completa y bien desarrollada, el primer paso consiste en crear una Línea Base. Esta línea es la planificación final que se va a guardar y que sirve como un punto histórico de comparación con respecto a las posteriores fechas de control del proyecto. La línea base puede reprogramarse si por ejemplo se presentan adicionales de obra o problemas que la cambien forzosamente.

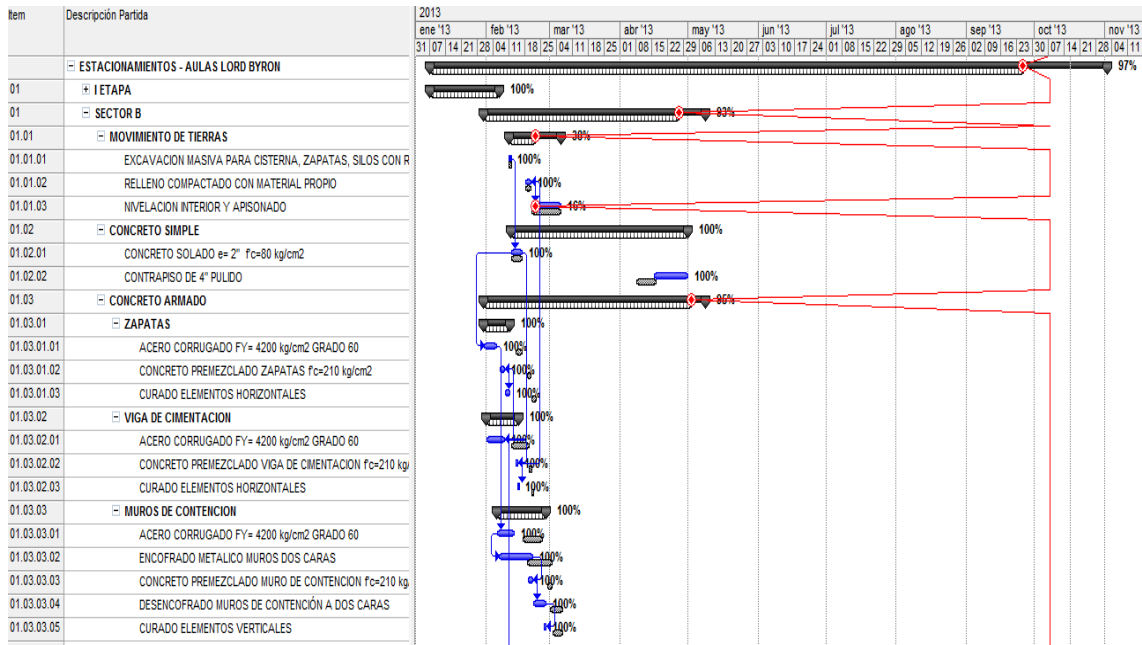
El segundo paso es el seguimiento de las tareas, para lo cual se necesita información periódica del avance real en porcentaje, así como el comienzo y el fin real de la tarea.

| Item        | Descripción Partida                                       | % completado | Comienzo real | Fin real     |
|-------------|---|--------------|---------------|--------------|
|             | ESTACIONAMIENTOS - AULAS LORD BYRON                       | 97%          | lun 07/01/13  | NOD          |
| 01          | ETAPA   | 100%         | lun 07/01/13  | mié 06/02/13 |
| 01          | SECTOR B  | 93%          | jue 31/01/13  | NOD          |
| 01.01       | MOVIMIENTO DE TIERRAS                                     | 38%          | lun 11/02/13  | NOD          |
| 01.01.01    | EXCAVACION MASIVA PARA CISTERNA, ZAPATAS, SILOS CON RETRO | 100%         | lun 11/02/13  | lun 11/02/13 |
| 01.01.02    | RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO                    | 100%         | lun 18/02/13  | mié 20/02/13 |
| 01.01.03    | NIVELACION INTERIOR Y APISONADO                           | 16%          | mié 20/02/13  | NOD          |
| 01.02       | CONCRETO SIMPLE   | 100%         | lun 11/02/13  | mar 30/04/13 |
| 01.02.01    | CONCRETO SOLADO e= 2" f'c=80 kg/cm2                       | 100%         | lun 11/02/13  | sáb 16/02/13 |
| 01.02.02    | CONTRAPISO DE 4" PULIDO                                   | 100%         | mar 16/04/13  | mar 30/04/13 |
| 01.03       | CONCRETO ARMADO   | 95%          | jue 31/01/13  | NOD          |
| 01.03.01    | ZAPATAS   | 100%         | jue 31/01/13  | lun 11/02/13 |
| 01.03.01.01 | ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60                  | 100%         | jue 31/01/13  | mar 05/02/13 |
| 01.03.01.02 | CONCRETO PREMEZCLADO ZAPATAS f'c=210 kg/cm2               | 100%         | jue 07/02/13  | vie 08/02/13 |
| 01.03.01.03 | CURADO ELEMENTOS HORIZONTALES                             | 100%         | sáb 09/02/13  | lun 11/02/13 |
| 01.03.02    | VIGA DE CIMENTACION                                       | 100%         | vie 01/02/13  | vie 15/02/13 |
| 01.03.02.01 | ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60                  | 100%         | vie 01/02/13  | vie 08/02/13 |
| 01.03.02.02 | CONCRETO PREMEZCLADO VIGA DE CIMENTACION f'c=210 kg/cm2   | 100%         | jue 14/02/13  | jue 14/02/13 |
| 01.03.02.03 | CURADO ELEMENTOS HORIZONTALES                             | 100%         | jue 14/02/13  | vie 15/02/13 |
| 01.03.03    | MUROS DE CONTENCIÓN                                       | 100%         | mar 05/02/13  | mié 27/02/13 |
| 01.03.03.01 | ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60                  | 100%         | mar 05/02/13  | mié 13/02/13 |
| 01.03.03.02 | ENCOFRADO METALICO MUROS DOS CARAS                        | 100%         | mié 06/02/13  | jue 21/02/13 |
| 01.03.03.03 | CONCRETO PREMEZCLADO MURO DE CONTENCIÓN f'c=210 kg/cm2    | 100%         | mar 19/02/13  | jue 21/02/13 |
| 01.03.03.04 | DESENCOFRADO MUROS DE CONTENCIÓN A DOS CARAS              | 100%         | jue 21/02/13  | mié 27/02/13 |
| 01.03.03.05 | CURADO ELEMENTOS VERTICALES                               | 100%         | mar 26/02/13  | mié 27/02/13 |

Por esta razón se desarrolló un formato para presentar un reporte que se ajuste a lo que solicita el programa. Cada reporte se obtenía al final de la semana producto de la programación semanal. Aquí es donde se encontraban las dos ideas: La visión Macro proporciona los hitos importantes del proyecto y una forma de desarrollar el proyecto. De estas dos, Lean Construction solo extrae los hitos y reprograma el trabajo a su manera utilizando el Last Planner System como herramienta para proteger el plan. Al final se obtiene un plan semanal que es evaluado pero que representa un avance en la visión General del proyecto. Se ingresa esta información al programa y este brinda datos estadísticos del avance real, horas-hombre consumidas, y algunos informes interesantes que pueden ser muy útiles para no olvidar que el proyecto es un todo.

| OBRA: ESTACIONAMIENTOS - AULAS COLEGIO LORD BYRON |   |      |              |                                    |                                |                       |                  |                      |         |                    |   |
|---|---|------|--------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------|----------------------|---------|--------------------|---|
| REPORTE DE AVANCE DE OBRA - CONTROL DE PRODUCCIÓN |   |      |              |                                    |                                |                       |                  |                      |         | NUMERO DE REPORTE: |   |
|   |   |      |              |                                    |                                |                       |                  |                      |         | FECHA DE CONTROL:  |   |
| Item  | TAREAS DE CALENDARIO                          | UNID | TOTAL PUESTA | METRADOS EJECUTADO SEMANA ANTERIOR | METRADOS EJECUTADO O SEMANA DE | EJECUTADO O ACUMULADO | HORAS CONSUMIDAS | IP PROYECT. (HH/UNO) | IP REAL | % COMPLETADO (B/A) | FECHAS DE EJECUCIÓN COMIENZ O REAL FIN REAL |
| OBRA:   |   |      |              |                                    |                                |                       |                  |                      |         |                    |   |
| ESTACIONAMIENTOS - AULAS LORD BYRON               |   |      |              |                                    |                                |                       |                  |                      |         |                    |   |
| 1   | ETAPA   |      |              |                                    |                                |                       |                  |                      |         |                    |   |
| 2   | SECTOR B                                      |      |              |                                    |                                |                       |                  |                      |         |                    |   |
| 3   | SECTOR A                                      |      |              |                                    |                                |                       |                  |                      |         |                    |   |
| 4   | SECTOR C                                      |      |              |                                    |                                |                       |                  |                      |         |                    |   |
| 4.01  | MOVIMIENTO DE TIERRAS                         |      |              |                                    |                                |                       |                  |                      |         |                    |   |
| 4.01.01   | EXCAVACION MASIVA PARA CISTERNA, ZAPATAS      | m3   | 237.18       | 105.19                             | 105.19                         | 105.19                |                  |                      |         | 44.35%             | 04/03/2013                                  |
| 4.01.02   | RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO        | m3   | 44.75        | 0                                  | 0.00                           | 0.00                  |                  |                      |         | 0.00%              |   |
| 4.01.03   | NIVELACION INTERIOR Y APISONADO               | m2   | 733.75       | 30                                 | 30.00                          | 30.00                 | 0.14             | hh/m2                | #DIV/0! | 4.05%              |   |
| 4.02  | CONCRETO SIMPLE                               |      |              |                                    |                                |                       |                  |                      |         |                    |   |
| 4.02.01   | CONCRETO SOLADO e= 2" f'c=80 kg/cm2           | m2   | 128.68       | 125.09                             | 125.09                         | 125.09                | 3.6              | hh/m2                | #DIV/0! | 97.21%             | 04/03/2013                                  |
| 4.02.02   | CONTRAPISO DE CONCRETO 4"                     | m2   |              |                                    |                                |                       |                  |                      |         |                    |   |
| 4.03  | CONCRETO ARMADO                               |      |              |                                    |                                |                       |                  |                      |         |                    |   |
| 4.03.01   | ZAPATAS                                       |      |              |                                    |                                |                       |                  |                      |         |                    |   |
| 4.03.01.01  | ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60      | kg   | 3 091.30     | 2 185.55                           | 2 185.55                       | 2 185.55              | 0.06             | hh/kg                | #DIV/0! | 70.70%             | 27/02/2013                                  |
| 4.03.01.02  | CONCRETO PREMEZCLADO ZAPATAS f'c=210 kg/cm2   | m3   | 101.87       | 32.07                              | 32.07                          | 32.07                 | 0.85             | hh/m3                | #DIV/0! | 30.35%             | 04/03/2013                                  |
| 4.03.01.03  | CURADO ELEMENTOS HORIZONTALES                 | m2   | 163.89       | 126.87                             | 126.87                         | 126.87                |                  |                      |         | 82.44%             | 05/03/2013                                  |
| 4.03.02   | VIGA DE CIMENTACION                           |      |              |                                    |                                |                       |                  |                      |         |                    |   |
| 4.03.02.01  | ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60      | kg   | 2 791.37     | 1 620.48                           | 1 620.48                       | 1 620.48              | 0.06             | hh/kg                | #DIV/0! | 58.05%             | 27/02/2013                                  |
| 4.03.02.02  | CONCRETO PREMEZCLADO VIGA DE CIMENTACION      | m3   | 23.72        | 25.91                              | 25.91                          | 25.91                 | 0.8              | hh/m3                | #DIV/0! | 90.22%             | 05/03/2013                                  |
| 4.03.02.03  | CURADO ELEMENTOS HORIZONTALES                 | m2   | 57.99        | 49.5                               | 49.50                          | 49.50                 |                  |                      |         | 85.36%             | 25/03/2013                                  |
| 4.03.03   | MUROS DE CONTENCIÓN                           |      |              |                                    |                                |                       |                  |                      |         |                    |   |
| 4.03.03.01  | ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60      | kg   | 3 141.04     | 1 570.52                           | 1 260.00                       | 2 820.52              | 0.06             | hh/kg                | 0.00    | 88.80%             | 25/03/2013                                  |
| 4.03.03.02  | ENCOFRADO METALICO MUROS DOS CARAS            | m2   | 396.00       | 0                                  | 345.00                         | 345.00                | 0.32             | hh/m2                | 0.00    | 87.12%             | 20/05/2013                                  |
| 4.03.03.03  | CONCRETO PREMEZCLADO MURO DE CONTENCIÓN       | m3   | 49.50        | 0                                  | 45.60                          | 45.60                 | 0.93             | hh/m3                | 0.00    | 92.12%             | 18/05/2013                                  |
| 4.03.03.04  | DESENCOFRADO MUROS DE CONTENCIÓN A DOS CARAS  | m2   | 396.00       | 0                                  | 198.00                         | 198.00                | 0.4              | hh/m2                | 0.00    | 50.00%             | 20/05/2013                                  |
| 4.03.03.05  | CURADO ELEMENTOS VERTICALES                   | m2   | 198.00       | 0                                  | 99.00                          | 99.00                 |                  |                      | 0       | 47.98%             | 20/05/2013                                  |
| 4.03.04   | COLUMNAS                                      |      |              |                                    |                                |                       |                  |                      |         |                    |   |
| 4.03.04.01  | ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60      | kg   | 3 382.55     | 2 702.855                          | 450.00                         | 3 152.86              | 0.06             | hh/kg                | 0.00    | 83.21%             | 05/03/2013                                  |
| 4.03.04.02  | ENCOFRADO METALICO EN COLUMNAS 0.50x0.50x0.50 | m2   | 162.00       | 50.5                               | 32.00                          | 142.50                | 2                | hh/m2                | 0.00    | 93.75%             | 08/03/2013                                  |
| 4.03.04.03  | CONCRETO PREMEZCLADO COLUMNAS f'c=210 kg/cm2  | m3   | 19.95        | 6.84                               | 12.00                          | 19.94                 | 1.55             | hh/m3                | 0.00    | 94.44%             | 10/03/2013                                  |

La particularidad de este formato, al que se le llamó CONTROL DE PRODUCCIÓN es que combina lo que busca el PMI con el porcentaje completado, y las fechas de ejecución, con el control de producción de LC que analiza los índices de productividad en base a horas consumidas y lo compara con los ratios del presupuesto para analizar el consumo de recursos y tomar medidas correctivas.



De este modo, con ayuda de un Gantt de seguimiento se puede ir comprobando el avance general del proyecto y evaluarlo por fechas de estado como cortes en el tiempo de duración del mismo.

Lo interesante son las estadísticas que brinda y que pueden ayudar a mejorar ciertos aspectos de la programación general para que no estén distanciadas entre sí, abriendo una ventana para investigar y compatibilizar ambas ideas.

| <b>DIFICULTADES – LECCIONES APRENDIDAS</b>               |  |
|--|--|
| <b>IMPLEMENTACIÓN CONTROL Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO</b> |  |
| ✘  | Se comprobó que el plan se des-actualiza en la primera semana de trabajo y todo el trabajo de programación no representa las fechas y duraciones reales, solo una buena guía para el control y seguimiento macro del proyecto.   |
| ✘  | El Plan semanal es evaluado por el Porcentaje de Plan cumplido, que se centra en las causas de incumplimiento. Sin embargo no se registran los datos del avance real, más solo del proyectado. Estos dos, debido a la eficacia del Last Planner, suelen ser muy parecidos, pero deben ser actualizados a la realidad. Esto implica tomar y registrar los metrados realizados al final del día, lo que representa un trabajo que toma tiempo. |
| ✘  | Realizar la programación por trenes de actividades en Project resulta más complicado porque si una programación PERT-CPM se des-actualiza a la primera semana, una programación por trenes donde todas las actividades son críticas será un trabajo obsoleto y sobretodo difícil de proteger. Por esta razón la programación que se usó en este caso fue PERT-CPM.   |
| ✘  | Algo muy particular e interesante ocurre como consecuencia de sectorizar el trabajo: Por ejemplo la partida concreto era para todo el "Sector B", lo que representaba 4 días de vaciado continuo de concreto según los rendimientos y metrados establecidos en el  |

presupuesto. En realidad el vaciado se hizo en 4 sectores y 4 fechas distintas como se vio anteriormente, 23 de marzo, 27 de marzo, 04 de abril y 18 de abril, lo que representa los 4 días de vaciado. Sin embargo para el programa esta partida comenzó el 23 de marzo y terminó el 18 de abril, es decir, 20 días de trabajo continuo para esa cuadrilla consumiendo 5 veces más de horas hombre. Una solución para este problema se plantea a continuación.

- ✓ Se pueden implementar unos formatos adicionales que permitan ingresar los datos para el método del Valor Ganado y de este modo darle más confiabilidad a los reportes que presenta el programa, sobre todo el “indicador de programación del valor acumulado” que brinda información sobre el retraso o avance del proyecto o el “indicador de costo del valor acumulado” que indica si el proyecto está ganando o perdiendo dinero.
- ✓ Ingresar los datos al programa es muy sencillo pues solo se necesita copiar y pegar del Formato en Excel al Ms Project.
- ✓ Tener la estadística del porcentaje de avance del proyecto y una fecha de fin prevista resulta información muy importante y que es de mucha utilidad.

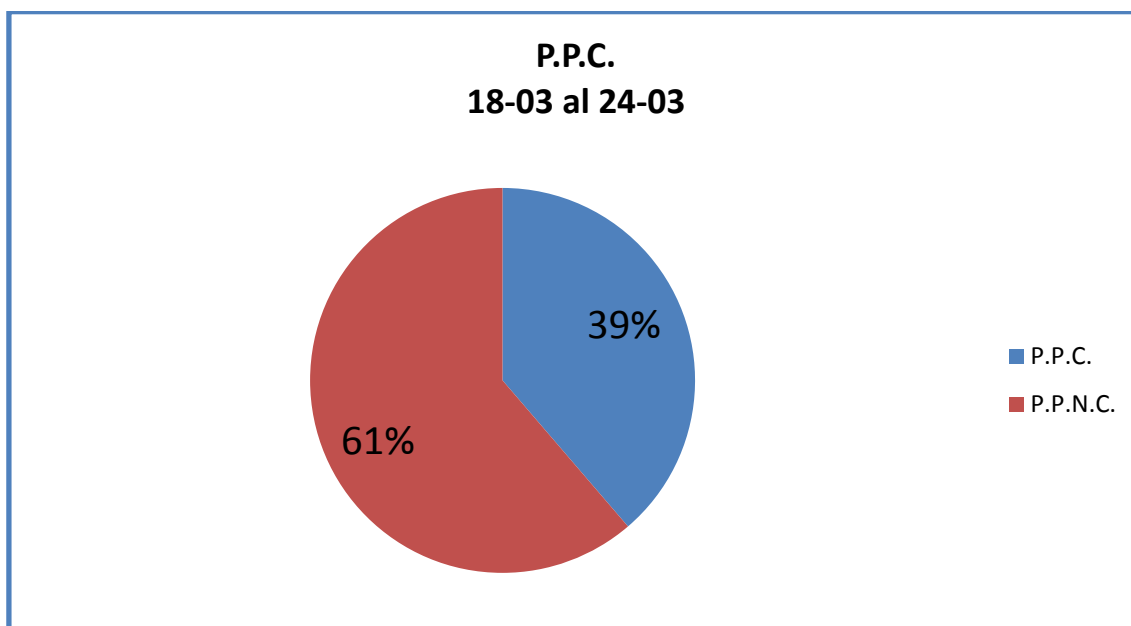
### 5.3.19 PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO

El Porcentaje de Plan Cumplido (PPC) es la forma de medir la efectividad de la programación; representa la cantidad de actividades programadas que pudieron llevarse a cabo sin problemas por el total de las mismas. A partir del Porcentaje de Plan cumplido se pueden obtener e identificar las causas de incumplimiento y tomar medidas correctivas.

El PPC se obtiene del formato del Plan Semanal al realizar la evaluación:

| OBRA: ESTACIONAMIENTOS - AULAS COLEGIO LORD BYRON<br>RESPONSABLE: ING. DANTE YAGUA PADILLA<br>PLAN SEMANAL: |   | SEMANA 11<br>MARZO |    |    |    |    |    |    | SI | NO            |               |
|---|---|--------------------|----|----|----|----|----|----|----|---------------|---------------|
| ÍTEM  | Actividad   | L                  | M  | M  | J  | V  | S  | D  |    |               |               |
|   |   | 18                 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |    |               |               |
|   | OBRA:   |                    |    |    |    |    |    |    |    |               |               |
|   | <b>ESTACIONAMIENTOS - AULAS LORD BYRON</b>                        |                    |    |    |    |    |    |    |    |               |               |
| 1.  | <b>1 ETAPA</b>  |                    |    |    |    |    |    |    |    |               |               |
| 2.  | <b>2 SECTOR B</b>   |                    |    |    |    |    |    |    |    |               |               |
| 2.03.05   | <b>COLUMNAS</b>   |                    |    |    |    |    |    |    |    |               |               |
| 2.03.05.0   | ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60              |                    |    |    |    |    |    |    |    |               |               |
| 2.03.05.0   | ENCOFRADO METALICO EN COLUMNAS 0.50x0.50x10.00 m.                 |                    |    |    |    |    |    |    |    |               |               |
| 2.03.05.0   | CONCRETO PREMEZCLADO COLUMNAS f'c=210 kg/cm <sup>2</sup>          |                    |    |    |    |    |    |    |    |               |               |
| 2.03.05.0   | DESENCOFRADO COLUMNAS   |                    |    |    |    |    |    |    |    |               |               |
| 2.03.05.0   | CURADO ELEMENTOS VERTICALES                                       |                    |    |    |    |    |    |    |    |               |               |
| 2.03.06   | <b>VIGAS</b>  |                    |    |    |    |    |    |    |    |               |               |
| 2.03.06.0   | ENCOFRADO METALICO DE VIGAS SECCION VARIABLE                      | Z1                 | Z1 | Z2 | Z2 | Z2 | Z2 |    |    |               | 1             |
| 2.03.06.0   | ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60              | Z1                 | Z1 | Z1 | Z2 | Z2 | Z2 |    |    |               | 1             |
| 2.03.06.0   | CONCRETO PREMEZCLADO EN VIGAS Y CORTES f'c=210 kg/cm <sup>2</sup> |                    |    | Z1 |    |    | Z2 |    |    |               | 1             |
| 2.03.06.0   | DESENCOFRADO VIGAS  |                    |    |    |    |    |    |    |    |               |               |
| 2.03.06.0   | CURADO ELEMENTOS HORIZONTALES                                     |                    |    |    | Z1 | Z1 | Z1 | Z2 |    |               | 1             |
| 2.03.07   | <b>LOSAS MACIZAS</b>  |                    |    |    |    |    |    |    |    |               |               |
| 2.03.07.0   | ENCOFRADO METÁLICO DE LOSAS MACIZAS                               | Z1                 | Z1 | Z2 | Z2 | Z2 | Z2 |    |    |               | 1             |
| 2.03.07.0   | ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60              | Z1                 | Z1 | Z1 | Z2 | Z2 | Z2 |    |    |               | 1             |
| 2.03.07.0   | CONCRETO PREMEZCLADO LOSAS MACIZAS f'c=210 kg/cm <sup>2</sup>     |                    |    | Z1 |    |    | Z2 |    |    |               | 1             |
| 2.03.07.0   | DESENCOFRADO LOSAS  |                    |    |    |    |    |    |    |    |               |               |
| 2.03.07.0   | CURADO ELEMENTOS HORIZONTALES                                     |                    |    |    | Z1 | Z1 | Z1 | Z2 |    |               | 1             |
| 2.03.08   | <b>PAVIMENTOS</b>   |                    |    |    |    |    |    |    |    |               |               |
|   |   |                    |    |    |    |    |    |    |    | 12.00         | 19.00         |
|   |   |                    |    |    |    |    |    |    |    | <b>P.P.C.</b> | <b>38.71%</b> |

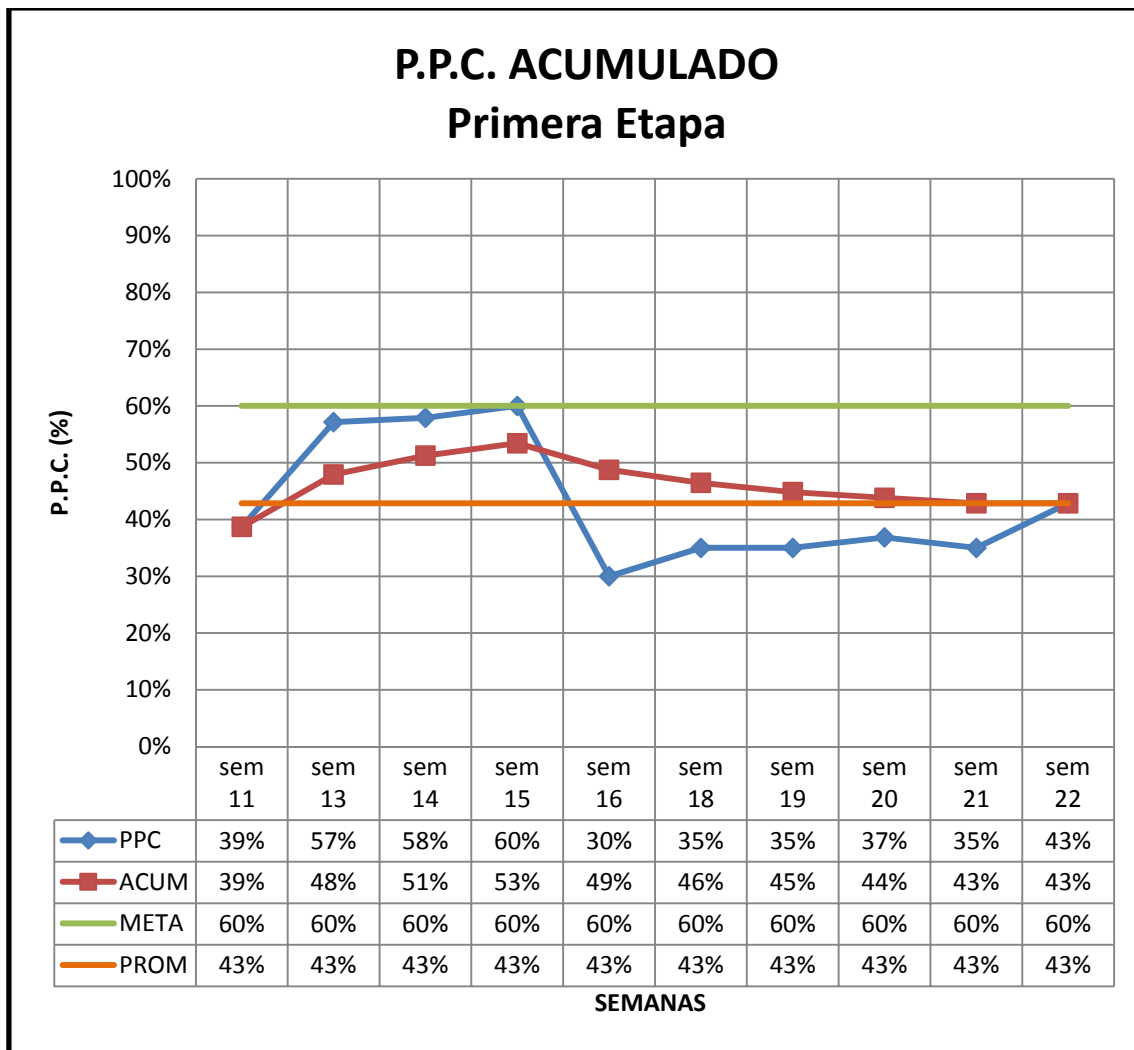
Obteniendo gráficas semanales del PPC que sirvieron para elaborar un registro histórico.



El objetivo principal es determinar las causas que produjeron el incumplimiento, pero también sirve para plantear un objetivo concreto de mejora continua:

En la primera etapa del proyecto, al observar la cantidad de deficiencias y pérdidas en los procesos, la falta de control, los desperdicios, la mala programación, la falta de un plan, la nula medición de tiempo, entre otros problemas comunes en la construcción, se decidió no tener muy altas expectativas y se planteó que un 60% de PPC como meta era el adecuado.

|        | DÍA        | PPC | ACUM | PROM | META |
|--------|------------|-----|------|------|------|
| sem 11 | 18/03/2013 | 39% | 39%  | 43%  | 60%  |
| sem 13 | 01/04/2013 | 57% | 48%  | 43%  | 60%  |
| sem 14 | 08/04/2013 | 58% | 51%  | 43%  | 60%  |
| sem 15 | 15/04/2013 | 60% | 53%  | 43%  | 60%  |
| sem 16 | 22/04/2013 | 30% | 49%  | 43%  | 60%  |
| sem 18 | 06/05/2013 | 35% | 46%  | 43%  | 60%  |
| sem 19 | 13/05/2013 | 35% | 45%  | 43%  | 60%  |
| sem 20 | 20/05/2013 | 37% | 44%  | 43%  | 60%  |
| sem 21 | 27/05/2013 | 35% | 43%  | 43%  | 60%  |
| sem 22 | 03/06/2013 | 43% | 43%  | 43%  | 60%  |



El registro gráfico muestra datos que deben ser analizados y explicados:

- Se debe recordar que las partidas a considerar en la investigación son concreto, acero y encofrado.
- La tendencia a subir y a tener un buen ritmo en la obra se dan en el tren de trabajo compuesto por las 3 partidas mencionadas.
- Entre la semana 15 y la semana 18 por ejemplo, se dio prioridad a los acabados del Sector B por acercarse la fecha de entrega pactada. La fase de acabados tiene muchas más restricciones porque requiere de una mayor logística y recursos que no se producen en obra sino que deben ser adquiridos y pueden terminarse, estar fallados, no ser los adecuados, etc. Es decir, la variabilidad se incrementa y eso se demuestra en el PPC de esas semanas con una tendencia negativa.
- No se pudo alcanzar ni en una sola semana el PPC Meta planteado de 60%, esto debido a que en la primera etapa hubo cierta resistencia al cambio y no se hicieron las cosas con la efectividad necesaria hasta llegar al punto de tener conciencia de la importancia y el valor de la Filosofía Lean Construction y adoptarla con seriedad.
- El promedio del PPC en esta instancia fue de 43%, un 39% menor al esperado.
- Se plantea de esta forma que hay mucho por mejorar y lo importante es identificar las causas y plantear soluciones.

### 5.3.20 CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO

Para el Last Planner no basta con medir si se alcanzó la efectividad en la semana de trabajo, sino que en el afán de mejora continua, se busca identificar las causas que impidieron alcanzar un mayor PPC. Con este propósito, se deben analizar, clasificar y tomar acción para que no vuelvan a repetir.

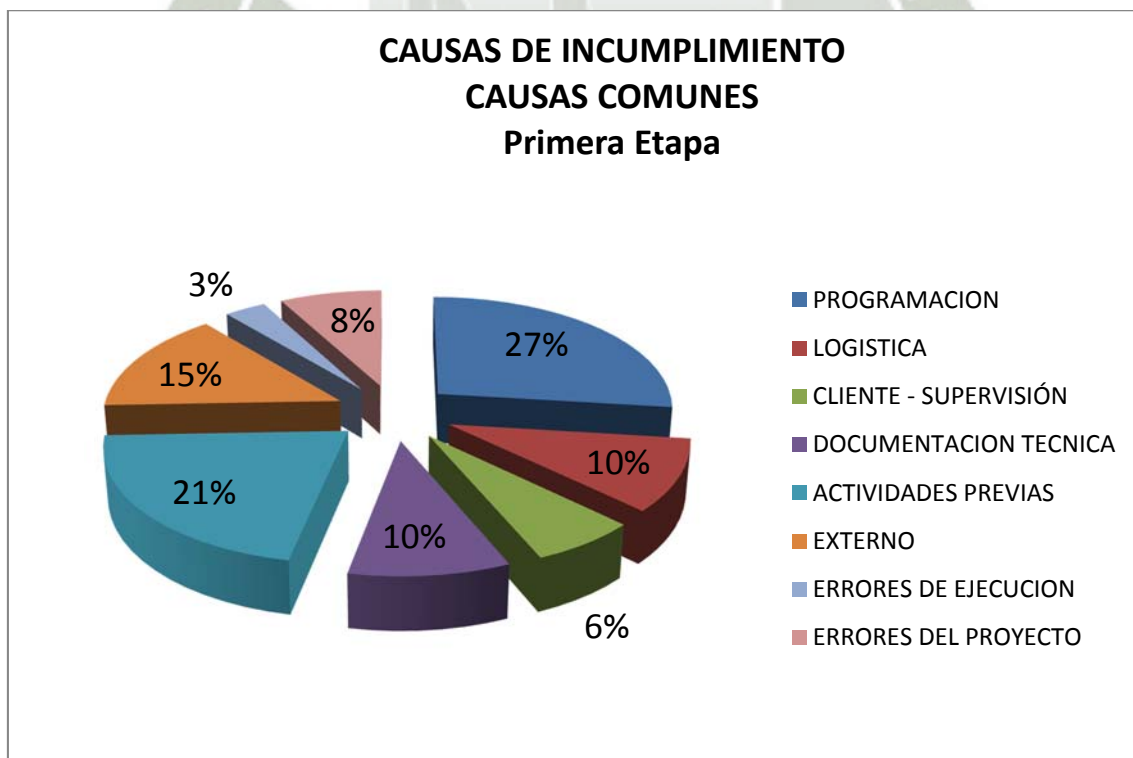
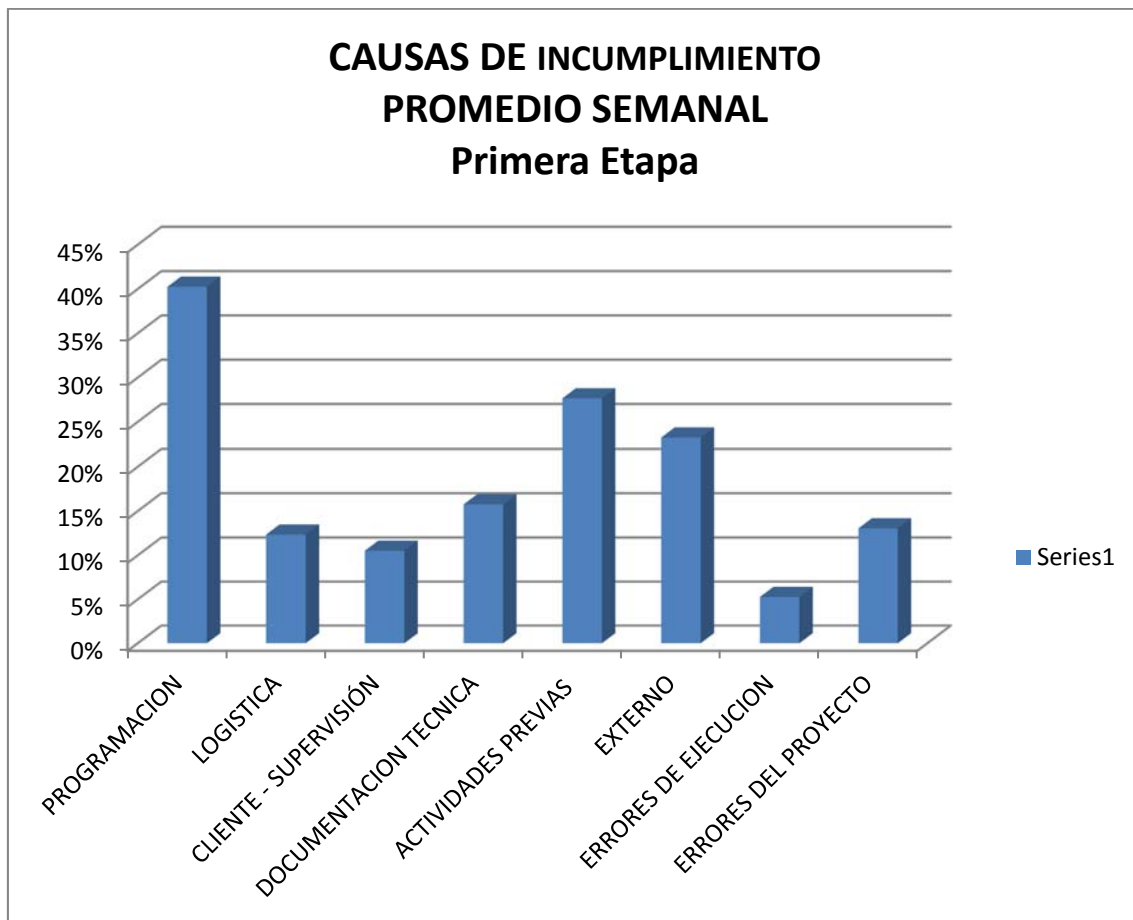
Existe una gran variedad de causas de incumplimiento en la construcción. Se recopiló una lista de 12 más comunes basados en la experiencia de otras empresas y de la propia empresa.

|                |                       |
|----------------|-----------------------|
| <b>PROG</b>    | PROGRAMACIÓN          |
| <b>LOG</b>     | LOGÍSTICA             |
| <b>ADM</b>     | ADMINISTRACIÓN        |
| <b>EQ</b>      | EQUIPOS               |
| <b>CLI-SUP</b> | CLIENTE - SUPERVISIÓN |
| <b>ING</b>     | DOCUMENTACIÓN TÉCNICA |
| <b>ACT-PRE</b> | ACTIVIDADES PREVIAS   |
| <b>EXT</b>     | EXTERNO               |
| <b>SC</b>      | SUBCONTRATOS          |
| <b>EJEC</b>    | ERRORES DE EJECUCIÓN  |
| <b>QA/QC</b>   | CONTROL DE CALIDAD    |
| <b>PJECT</b>   | ERRORES DEL PROYECTO  |

De este modo, cada una de las tareas que no cumplidas, se deben evaluar y clasificar en función de la lista para luego por medio de gráficos identificar las principales causas y corregirlas.

| OBRA: ESTACIONAMIENTOS - AULAS COLEGIO LORD BYRON<br>RESPONSABLE: ING. DANTE YAGUA PADILLA<br>PLAN SEMANAL: |   | SEMANA 11 |    |    |    |    |    |    | ANÁLISIS DE CUMPLIMIENTO |    |      |                         |                          |  |
|---|---|-----------|----|----|----|----|----|----|--------------------------|----|------|-------------------------|--------------------------|--|
| ÍTEM  | Actividad   | MARZO     |    |    |    |    |    |    | SI                       | NO | TIPO | CAUSA DE INCUMPLIMIENTO | ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN |  |
|   |   | L         | M  | M  | J  | V  | S  | D  |                          |    |      |                         |                          |  |
|   |   | 18        | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |                          |    |      |                         |                          |  |
| 2   | SECTOR B  |           |    |    |    |    |    |    |                          |    |      |                         |                          |  |
| 2.03.05   | COLUMNAS  |           |    |    |    |    |    |    |                          |    |      |                         |                          |  |
| 2.03.05.0   | ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60                          |           |    |    |    |    |    |    |                          |    |      | #NA                     |                          |  |
| 2.03.05.0   | ENCOFRADO METÁLICO EN COLUMNAS 0.50x0.50x10.00 m.                             |           |    |    |    |    |    |    |                          |    |      | #NA                     |                          |  |
| 2.03.05.0   | CONCRETO PREMEZCLADO COLUMNAS f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>          |           |    |    |    |    |    |    |                          |    |      | #NA                     |                          |  |
| 2.03.05.0   | DESENCOFRADO COLUMNAS   |           |    |    |    |    |    |    |                          |    |      | #NA                     |                          |  |
| 2.03.05.0   | CURADO ELEMENTOS VERTICALES   |           |    |    |    |    |    |    |                          |    |      | #NA                     |                          |  |
| 2.03.06   | VIGAS   |           |    |    |    |    |    |    |                          |    |      |                         |                          |  |
| 2.03.06.0   | ENCOFRADO METÁLICO DE VIGAS SECCION VARIABLE                                  | Z1        | Z1 | Z2 | Z2 | Z2 | Z2 |    |                          |    | 1    | LOG                     | LOGISTICA                | Problemas para traer encofrado EFCD          |
| 2.03.06.0   | ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60                          | Z1        | Z1 | Z1 | Z2 | Z2 | Z2 |    |                          |    | 1    | PROG                    | PROGRAMACION             | Verificar Pendimiento de Cuadilla            |
| 2.03.06.0   | CONCRETO PREMEZCLADO EN VIGAS Y CORTES f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup> |           |    | Z1 |    |    | Z2 |    |                          |    | 1    | CLI-SUP                 | CLIENTE - SUPERVISIÓN    | Conversar con cliente para suspender clases. |
| 2.03.06.0   | DESENCOFRADO VIGAS  |           |    |    |    |    |    |    |                          |    |      |                         | #NA                      |  |
| 2.03.06.0   | CURADO ELEMENTOS HORIZONTALES   |           |    |    | Z1 | Z1 | Z1 | Z2 |                          |    | 1    | PROG                    | PROGRAMACION             | No soportado                                 |
| 2.03.07   | LOSAS MACIZAS   |           |    |    |    |    |    |    |                          |    |      |                         |                          |  |
| 2.03.07.0   | ENCOFRADO METÁLICO DE LOSAS MACIZAS   | Z1        | Z1 | Z2 | Z2 | Z2 | Z2 |    |                          |    | 1    | LOG                     | LOGISTICA                | Problemas para traer encofrado EFCD          |
| 2.03.07.0   | ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60                          | Z1        | Z1 | Z1 | Z2 | Z2 | Z2 |    |                          |    | 1    | PROG                    | PROGRAMACION             | Verificar Pendimiento de Cuadilla            |
| 2.03.07.0   | CONCRETO PREMEZCLADO LOSAS MACIZAS f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>     |           |    | Z1 |    |    | Z2 |    |                          |    | 1    | CLI-SUP                 | CLIENTE - SUPERVISIÓN    | Conversar con cliente para suspender clases. |
| 2.03.07.0   | DESENCOFRADO LOSAS  |           |    |    |    |    |    |    |                          |    |      |                         | #NA                      |  |
| 2.03.07.0   | CURADO ELEMENTOS HORIZONTALES   |           |    |    | Z1 | Z1 | Z1 | Z2 |                          |    | 1    | PROG                    | PROGRAMACION             | No soportado                                 |

Del formato se obtiene finalmente:



Esta información es analizada en cada reunión semanal para corregir los errores; lo más resaltante en esta primera etapa fue identificar lo siguiente:

- Las causas identificadas como PROGRAMACIÓN tienen su origen en la variabilidad incontrolada. Así, se planteaba un determinado avance semanal pero por ejemplo no llegaba el acero o el proveedor de encofrado no podría abastecer con desmoldante.
- Las ACTIVIDADES PREVIAS eran producto de no haber podido levantar las restricciones a tiempo y por un efecto dominó las actividades siguientes no llegaban a completarse.
- Los factores EXTERNOS se presentaron por la fuerte variabilidad que produjo la cercanía a la torrentera al momento de las excavaciones, los vientos, el muro de sillar, etc. que no permitieron un control exacto. Se entendió que una vez acostumbrados a los trenes de trabajo, actividades diferentes costaban mucho más de lo normal.
- La LOGÍSTICA y la DOCUMENTACIÓN TÉCNICA siempre son causas que dificultan el trabajo. Por esta razón se reorganizaron los procesos y se manejó mejor la variabilidad.
- Finalmente, después de analizar estas causas globales y aprender a enfrentarlas, se terminó haciendo una buena costumbre el intentar disminuir sus incidencias.

### 5.3.21 LECCIONES APRENDIDAS



Una buena costumbre es llevar el registro de las Lecciones Aprendidas con la experiencia. Esto permite la creación del know-how propio y ayuda a la mejora continua y por esta razón se definieron unas condiciones y formatos para su utilización en el proyecto.

A continuación se presenta parte del producto Lecciones aprendidas y un análisis de como ayudaron a evitar errores posteriores.

## ESTACIONAMIENTO

### COLEGIO LORD BYRON

| <u>LECCIONES APRENDIDAS</u> |       |             |                     |               |                   |
|-----------------------------|-------|-------------|---------------------|---------------|-------------------|
| PARTIDA                     | FECHA | DESCRIPCIÓN | MEDIDAS CORRECTIVAS | RECOMENDACIÓN | PANEL FOTOGRÁFICO |
|                             |       |             |                     |               |                   |

|   |                    |   |  |  |  |
|---|--------------------|---|--|--|--|
| <p>CONCRETO<br/>EN VIGAS DE<br/>CIMENTACIÓN</p> | <p>13-<br/>feb</p> | <p>Para vaciar las vigas de cimentación completas va a ser necesario levantar la totalidad de las columnas. Atenta contra la sectorización-</p> | <p>Cortar el vaciado de vigas de cimentación al tercio de la luz libre.</p>                      | <p>Poner topes de madera para conseguir cortes a 45º</p> |   |
| <p>GERENCIA</p>                                 | <p>23-<br/>feb</p> | <p>Se debe escoger un lugar fijo para el almacén porque el transporte y movimiento del mismo genera pérdidas.</p>                               | <p>Ubicar el almacén revisando los planos del proyecto donde no pueda volver a ser removido.</p> | <p>Zona de jardines posteriores.</p>                     |  |

### 5.3.22 RATIOS DE PRODUCTIVIDAD

El objetivo final de toda industria, basándose en principios de calidad, seguridad, tecnología y eficiencia es ganar dinero. Por esta razón se ha dejado a los ratios de productividad para el final, porque son la muestra matemática y demostrable propuesta por Lean Construction para demostrar que se puede ganar dinero aplicando las metodologías, procesos, mediciones y controles que se exponen.

Un ratio es la relación entre los recursos consumidos y el trabajo realizado, y se utilizan para el buen uso de la mano de obra y los equipos, para tomar buenas decisiones, para realizar proyecciones hacia el final de la obra y para recopilar información útil en proyectos futuros.

En la obra se utilizaron más que todo los ratios de productividad para la mano de obra para medir 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 HH consumidas por metro de zanja excavada (HH/m).

Como se mencionó, fue necesario hacer un presupuesto completo, y por ende se contaba con análisis de precios unitarios (ANEXO N° 09) de donde se obtuvieron los **RATIOS BASE** para el control:

|  |               |              |        |
|--|---------------|--------------|--------|
| 010105020503 (0102005 01)                      | Jornada = 8   | Mano de Obra | 13.51  |
| CONCRETO PREMEZCLADO EN VIGAS Y CORTES f'c=210 |               | Materiales   | 387.43 |
| Productividad por m3:                          | 1.1000 hh     | Equipos      | 2.54   |
| Rendimiento DIA:                               | 80.0000       | Subcontratos | 0.00   |
| Precio Unitario:                               | m3 \$1.403.48 | Subpartidas  | 0.00   |

| Descripción Recurso                         | Und. | Cuadrilla | Cantidad | Precio (S/.) | Parcial |
|---|------|-----------|----------|--------------|---------|
| GASOLINA                                    | gal  |           | 0.1500   | 12.49        | 1.87    |
| CONCRETO PREMEZCLADO FC=210 kg/cm2          | m3   |           | 1.0200   | 338.00       | 344.76  |
| SERVICIO DE BOMBA PARA CONCRETO PREMEZCLADO | m3   |           | 1.0200   | 40.00        | 40.80   |
| VIBRADORA GASOLINA                          | dia  | 2.0000    | 0.0250   | 101.68       | 2.54    |
| OFICIAL                                     | hh   | 2.0000    | 0.2000   | 12.40        | 2.48    |
| OPERARIO                                    | hh   | 4.0000    | 0.4000   | 14.50        | 5.80    |
| PEON  | hh   | 5.0000    | 0.5000   | 10.45        | 5.23    |

Del Presupuesto se obtuvo finalmente:

### RATIOS A MEDIR CUADRILLAS PARA PRODUCCIÓN

| PARTIDA  | RENDIMIENTO | UNIDADES | RATIO | UNIDAD |
|--|-------------|----------|-------|--------|
| TRAZO Y REPLANTEO INICIAL  | 200         | m2/DÍA   | 0.16  | hh/m2  |
| RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO                                     | 18          | m3/DÍA   | 2.67  | hh/m3  |
| ELIMINACIÓN MASIVA DE MATERIAL CON VOLQUETE D = 5 km                       | 150         | m3/DÍA   | 0.05  | hh/m3  |
| NIVELACIÓN INTERIOR Y APISONADO  | 120         | m2/DÍA   | 0.14  | hh/m2  |
| CONCRETO SOLADO e= 2" f'c=80 kg/cm2  | 20          | m2/DÍA   | 3.60  | hh/m2  |
| CONCRETO COLUMNAS f'c=210 kg/cm2   | 12          | m3/DÍA   | 8.73  | hh/m3  |
| CONCRETO ESCALERAS f'c=210 kg/cm2  | 28          | m3/DÍA   | 6.03  | hh/m3  |
| CONCRETO PREMEZCLADO CISTERNA f'c=210 kg/cm2 CON IMPERMEABILIZANTE Y BOMBA | 60          | m3/DÍA   | 1.07  | hh/m3  |
| CONCRETO PREMEZCLADO VIGA DE CIMENTACIÓN f'c=210 kg/cm2                    | 70          | m3/DÍA   | 0.80  | hh/m3  |
| CONCRETO PREMEZCLADO PLACAS f'c=210 kg/cm2                                 | 60          | m3/DÍA   | 1.07  | hh/m3  |
| CONCRETO PREMEZCLADO COLUMNAS f'c=210 kg/cm2                               | 36          | m3/DÍA   | 1.56  | hh/m3  |
| CONCRETO PREMEZCLADO EN VIGAS Y CORTES f'c=210 kg/cm2                      | 80          | m3/DÍA   | 1.10  | hh/m3  |
| CONCRETO PREMEZCLADO LOSAS ALIGERADAS f'c=210 kg/cm2                       | 80          | m3/DÍA   | 1.10  | hh/m3  |
| CONCRETO PREMEZCLADO LOSAS MACIZAS f'c=210 kg/cm2                          | 80          | m3/DÍA   | 1.10  | hh/m3  |
| CONCRETO PREMEZCLADO ZAPATAS f'c=210 kg/cm2                                | 70          | m3/DÍA   | 0.86  | hh/m3  |
| CONCRETO PREMEZCLADO LOSA DE PISO h=15.0 cm                                | 80          | m3/DÍA   | 1.20  | hh/m3  |

|   |      |        |      |       |
|---|------|--------|------|-------|
| f'c=210 kg/cm2  |      |        |      |       |
| CONCRETO PREMEZCLADO MURO DE CONTENCIÓN                     |      |        |      |       |
| f'c=210 kg/cm2  | 60   | m3/DÍA | 0.93 | hh/m3 |
| ENCOFRADO NORMAL DE LOSAS ALIGERADAS                        | 25   | m2/DÍA | 0.96 | hh/m2 |
| ENCOFRADO METÁLICO DE LOSAS MACIZAS                         | 25   | m2/DÍA | 0.96 | hh/m2 |
| ENCOFRADO METÁLICO MUROS DOS CARAS                          | 50   | m2/DÍA | 0.32 | hh/m2 |
| ENCOFRADO COLUMNAS DE AMARRE 0.25x0.25x2.2 m.<br>CON MADERA | 10   | m2/DÍA | 1.60 | hh/m2 |
| ENCOFRADO METÁLICO EN COLUMNAS<br>0.50x0.50x10.00 m.        | 24   | m2/DÍA | 2.00 | hh/m2 |
| DESENCOFRADO COLUMNAS                                       | 40   | m2/DÍA | 0.40 | hh/m2 |
| DESENCOFRADO LOSAS  | 40   | m2/DÍA | 0.40 | hh/m2 |
| DESENCOFRADO ESCALERAS                                      | 40   | m2/DÍA | 0.40 | hh/m2 |
| DESENCOFRADO VIGAS  | 40   | m2/DÍA | 0.40 | hh/m2 |
| DESENCOFRADO MUROS DE CONTENCIÓN A DOS<br>CARAS             | 40   | m2/DÍA | 0.40 | hh/m2 |
| DESENCOFRADO PLACAS   | 40   | m2/DÍA | 0.40 | hh/m2 |
| DESENCOFRADO CISTERNA                                       | 40   | m2/DÍA | 0.40 | hh/m2 |
| ENCOFRADO METÁLICO DE VIGAS SECCIÓN VARIABLE                | 20   | m2/DÍA | 0.80 | hh/m2 |
| ENCOFRADO NORMAL EN ESCALERA                                | 6    | m2/DÍA | 2.80 | hh/m2 |
| ENCOFRADO METÁLICO PARA MURO DE CISTERNA                    | 15   | m2/DÍA | 1.60 | hh/m2 |
| ENCOFRADO NORMAL TECHO DE CISTERNA (3.55x5.30<br>m.)        | 18.8 | m2/DÍA | 0.85 | hh/m2 |
| ENCOFRADO METÁLICO MUROS CUARTO DE<br>MAQUINAS              | 55.7 | m2/DÍA | 0.43 | hh/m2 |
| ENCOFRADO METÁLICO TECHO CUARTO DE MAQUINAS                 | 7.2  | m2/DÍA | 2.22 | hh/m2 |
| ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60                    | 260  | kg/DÍA | 0.06 | hh/m2 |

Estos ratios, disminuidos al 85%, se volvieron los **RATIOS META**, contra los que se comparaban las mediciones y los informes. Al ser menores era porque se estaba trabajando con eficiencia y eficacia y por ende se era más productivo; por el contrario al ser mayores indicaba la necesidad de estudiar más a fondo el proceso en busca de la optimización.

Los ratios eran tabulados y procesados en el Formato de Control de Producción:

| OBRA: ESTACIONAMIENTOS - AULAS COLEGIO LORD BYRON |  |      |                  |                       |         |                    |                                      |            |
|---|--|------|------------------|-----------------------|---------|--------------------|--------------------------------------|------------|
| REPORTE DE AVANCE DE OBRA - CONTROL DE PRODUCCIÓN |  |      |                  |                       |         |                    | NUMERO DE REPORTE:                   |            |
|   |  |      |                  |                       |         |                    | FECHA DE CONTROL:                    |            |
| Item  | TAREAS DE CALENDARIO                                   | UNDA | HORAS CONSUMIDAS | IP PROYECT. (HH/UNDA) | IP REAL | % COMPLETADO (B/A) | FECHAS DE EJECUCIÓN<br>COMIENZO REAL | FIN REAL   |
| OBRA:   |  |      |                  |                       |         |                    |                                      |            |
| ESTACIONAMIENTOS - AULAS LORD BYRON               |  |      |                  |                       |         |                    |                                      |            |
| 1.  | ETAPA  |      |                  |                       |         |                    |                                      |            |
| 2.  | SECTOR B   |      |                  |                       |         |                    |                                      |            |
| 3.  | SECTOR A   |      |                  |                       |         |                    |                                      |            |
| 4.  | SECTOR C   |      |                  |                       |         |                    |                                      |            |
| 4.01  | MOVIMIENTO DE TIERRAS                                  |      |                  |                       |         |                    |                                      |            |
| 4.01.01   | EXCAVACION MASIVA PARA CISTERNA, ZAPATAS, SILOS        | m3   |                  |                       |         | 100.00%            | 04/03/2013                           | 06/06/2013 |
| 4.01.02   | RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO                 | m3   |                  |                       |         | 0.00%              |                                      |            |
| 4.01.03   | NIVELACION INTERIOR Y APISONADO                        | m2   |                  | 0.14                  | hh/m2   | #DIV/0!            | hh/m2                                | 4.09%      |
| 4.02  | CONCRETO SIMPLE  |      |                  |                       |         |                    |                                      |            |
| 4.02.01   | CONCRETO SOLADO e= 2" f'c=80 kg/cm2                    | m2   | 4                | 3.6                   | hh/m2   | 1.11               | hh/m2                                | 100.00%    |
| 4.02.02   | CONTRAPISO DE CONCRETO 4"                              | m2   |                  |                       |         |                    |                                      |            |
| 4.03  | CONCRETO ARMADO  |      |                  |                       |         |                    |                                      |            |
| 4.03.01   | ZAPATAS  |      |                  |                       |         |                    |                                      |            |
| 4.03.01.0   | ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60               | kg   | 35               | 0.06                  | hh/kg   | 0.04               | hh/kg                                | 100.00%    |
| 4.03.01.0   | CONCRETO PREMEZCLADO ZAPATAS Fc=210 kg/cm2             | m3   | 2                | 0.86                  | hh/m3   | 0.20               | hh/m3                                | 100.00%    |
| 4.03.01.0   | CURADO ELEMENTOS HORIZONTALES                          | m2   |                  |                       |         | 100.00%            | 05/03/2013                           | 08/06/2013 |
| 4.03.02   | VIGA DE CIMENTACION                                    |      |                  |                       |         |                    |                                      |            |
| 4.03.02.0   | ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60               | kg   | 40               | 0.06                  | hh/kg   | 0.03               | hh/kg                                | 100.00%    |
| 4.03.02.0   | CONCRETO PREMEZCLADO VIGA DE CIMENTACION Fc=210 kg/cm2 | m3   | 0.8              | 0.8                   | hh/m3   | 0.28               | hh/m3                                | 100.00%    |
| 4.03.02.0   | CURADO ELEMENTOS HORIZONTALES                          | m2   |                  |                       |         | 100.00%            | 25/03/2013                           | 08/06/2013 |
| 4.03.03   | MUROS DE CONTENCIÓN                                    |      |                  |                       |         |                    |                                      |            |

Se sugiere llevar un control de todas las partidas y su consumo de horas hombre para tener un registro completo y poder realizar el siguiente paso: un gráfico de curvas de productividad y curva de aprendizaje. En esta primera etapa no se llegó a procesar la información suficiente para poder realizar estos gráficos.

Con este último punto termina la primera parte de la obra conformada por los estacionamientos. El análisis económico se realizará en el último capítulo.

#### **5.4 SEGUNDA ETAPA: MEJORA CONTINUA**

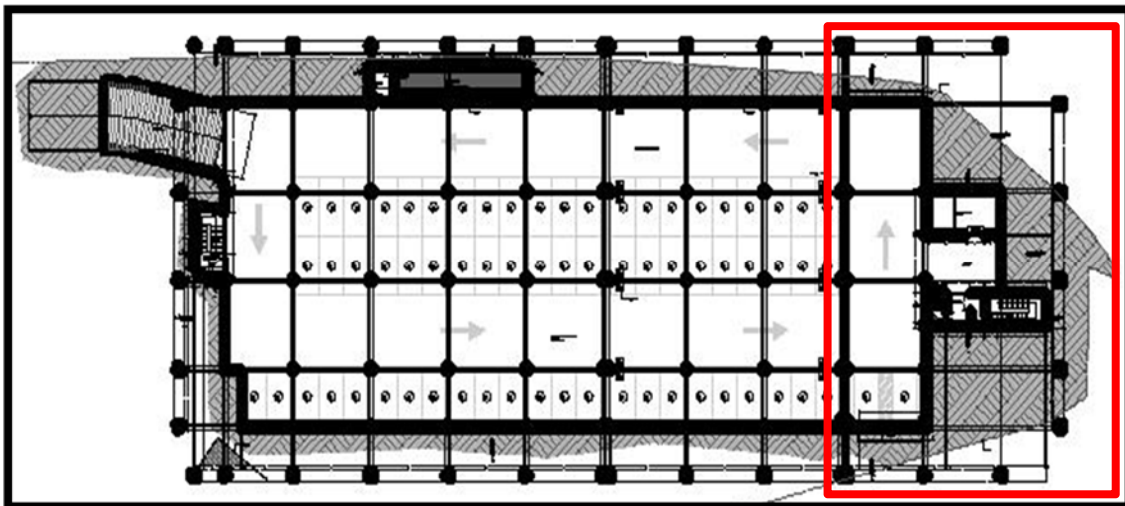
La Segunda etapa de la investigación se dio con la construcción el edificio de Aulas. Tras 06 meses de implementación y experimentación se logró mejorar y corregir el uso de las herramientas Last Planner y el enfoque de la Filosofía Lean Construction.

Debido a que muchas cosas se repiten, solo se mencionarán las que cambiaron, mejoraron o tienen datos comparativos con la etapa anterior.

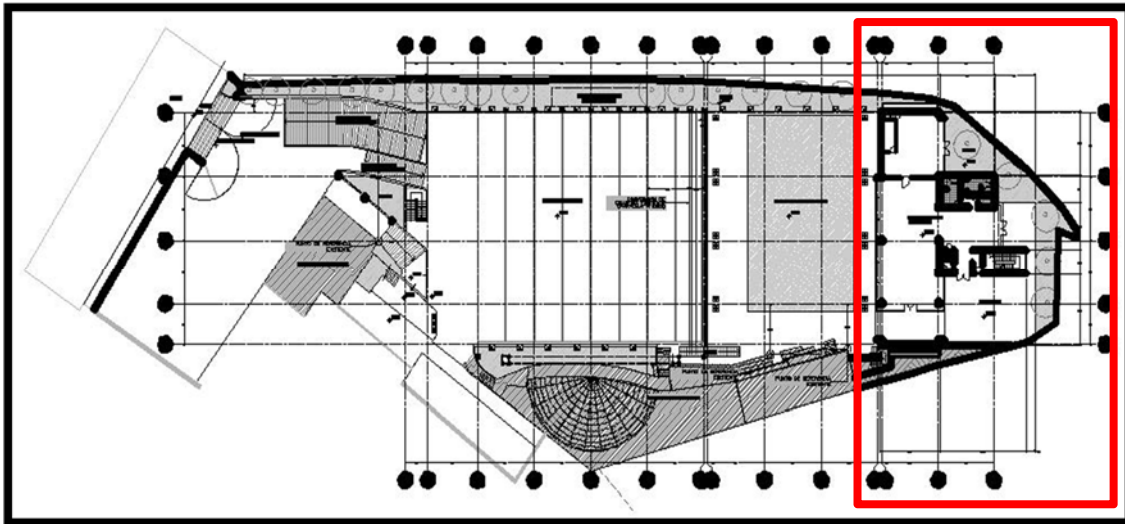
Es necesario explicar las características arquitectónicas y estructurales del proyecto:

##### **ARQUITECTURA**

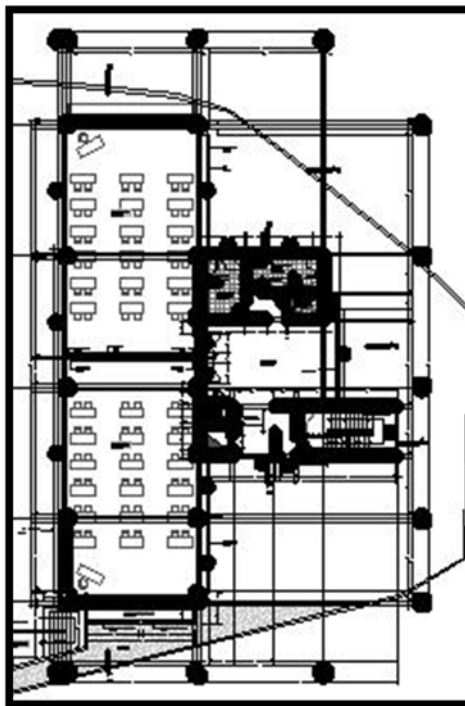
El edificio de aulas contempla 5 niveles. El primer nivel es el sótano, que lleva una parte de estacionamientos y de circulación de vehículos, con un pequeño Hall, un depósito, las escaleras y el ascensor. La parte del parqueo tiene los mismos acabados que los otros dos estacionamientos. La zona interior ya tiene un acabado tarrajado y pintado. Una mampara de vidrio es lo que los separa.



La siguiente planta coincide con el piso terminado de la Losa de Césped Artificial. Se trata de un Laboratorio de Química, un Estar, un Hall, Baños, ascensor y escaleras. El acabado final del cielo raso es con Falso Techo, lo demás es tarrajado. Lleva pisos de porcelanato y mamparas con sensores de movimiento de vidrio templado de 10 mm.

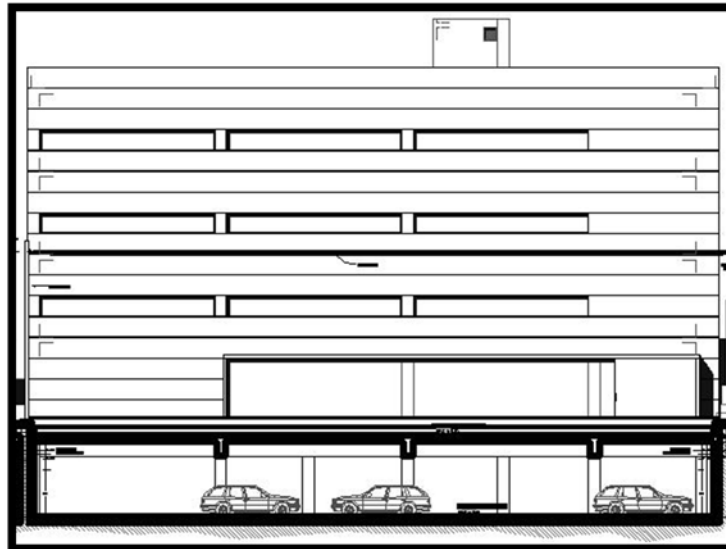


La planta mostrada a continuación es típica para los 3 niveles restantes. Los 3 módulos de 8 por 8 metros que correspondían al estacionamiento ahora son aulas que serán divididas interiormente con tabiquería seca para tener 2 o 3 aulas según sea el caso. La batería de baños, Hall, ascensor y escaleras son exactamente iguales y repetitivas.

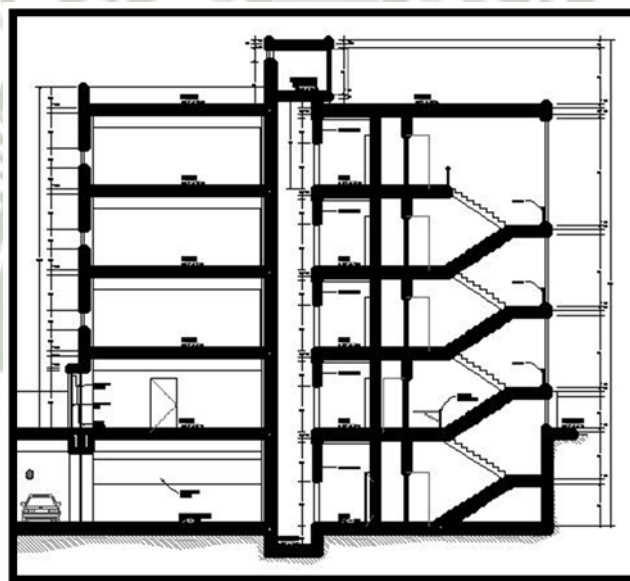


La particularidad arquitectónica del proyecto se encuentra en la fachada, que tiene parapetos y un tipo de dinteles en todo el perímetro dejando una abertura de 90 centímetros por piso. Por motivos arquitectónicos, el parapeto y el dintel están unidos a las columnas con el objetivo de no generar bruñas en la fachada.

Al respecto se debe hacer una crítica al proyecto ya que por este detalle estético, el trabajo fue 2 o 3 veces más complicado de lo que debería ser y por ende más costoso.

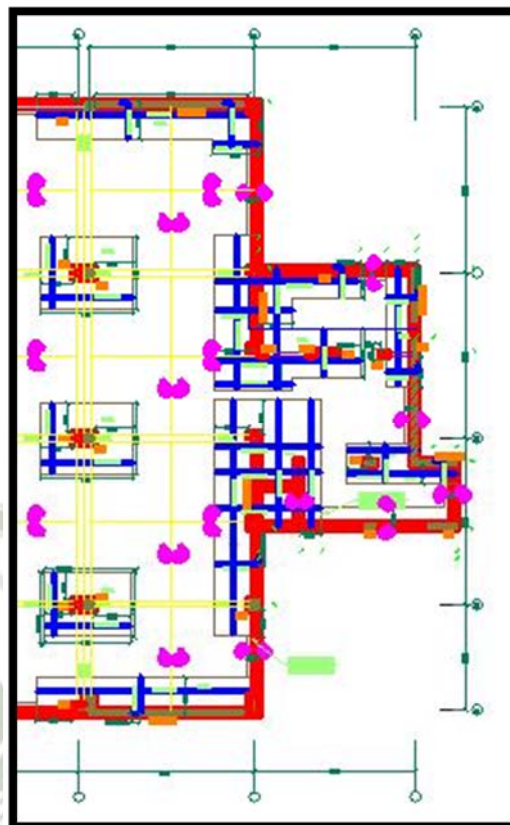


Finalmente, la altura de piso a techo en el sótano es de 3.95 metros y de 3.35 metros al fondo de Viga. En los siguientes niveles la altura típica de piso a techo es de 3.35 metros para la zona del Hall y de 3.40 metros para la parte de las Aulas.

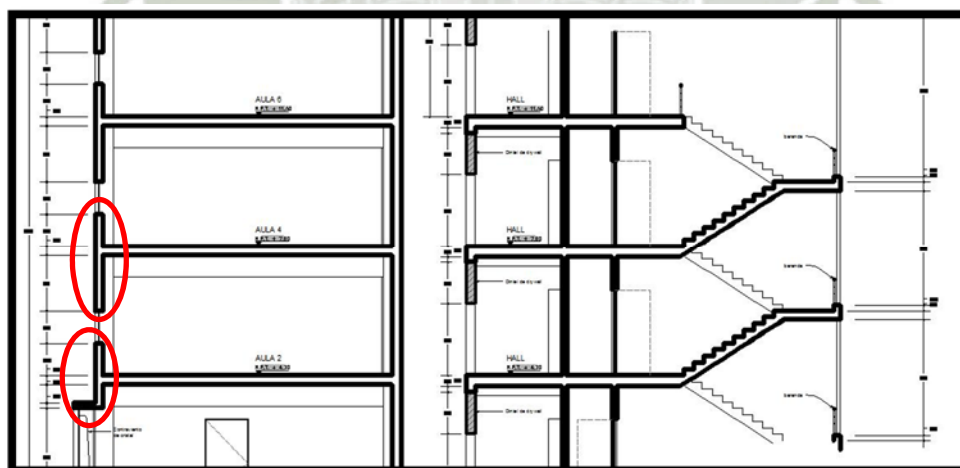


### ESTRUCTURAS

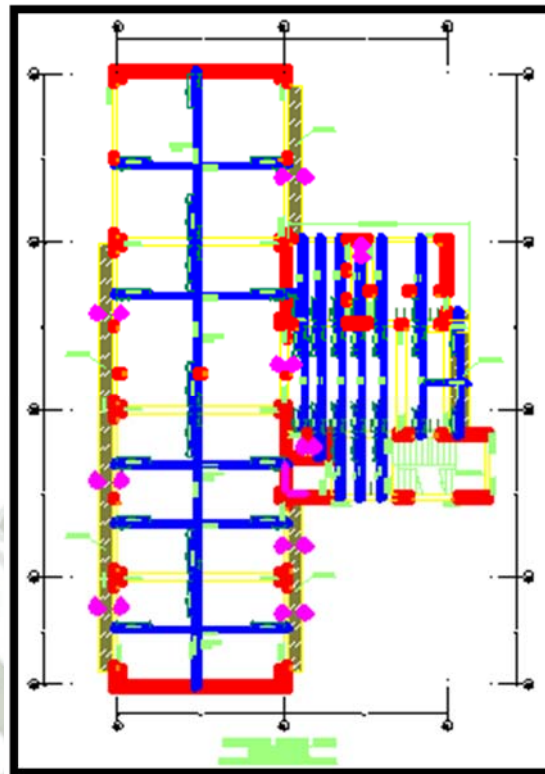
En la parte estructural, se trata un sistema dual conformado por pórticos y placas; los elementos verticales corresponden a 5 tipos de columnas y 6 tipos de placas. La cimentación de estos elementos continua conectada con vigas de cimentación, la zapata del ascensor es 1.20 metros más profunda. En el sótano el perímetro sigue siendo formado por muros de contención. Existen 3 columnas centrales de 0.50 por 0.50 que actúan como columnas cortas que absorben el mayor cortante del sistema.



Las vigas centrales siguen siendo las de 0.40 por 0.80 metros de peralte. Sin embargo las vigas perimetrales, por el detalle del parapeto-dintel mencionado, se unieron a las columnas formando unas vigas pared de 0.20 m. de ancho por 1.80 de peralte en el primer y cuarto piso, y 2.70 m de peralte en el segundo y tercero.



La losa en la parte de las aulas es maciza y bidireccional de 20 cm de alto. En la parte del Hall y baños, la losa es aligerada unidireccional de 25 cm de peralte con vigas peraltadas de 0.25 por 0.50 m.



Considerando estas complicaciones producto del sistema estructural y arquitectónico, era fundamental minimizar el desperdicio en todo el sistema de producción, de lo contrario las pérdidas serían demasiado grandes.

## **PASO 1: ASEGURAR QUE LOS FLUJOS NO PAREN**

### **5.4.1 PRESUPUESTO, PROGRAMACIÓN MAESTRA Y POR FASES**

Al igual que los estacionamientos, el edificio no contaba con un presupuesto detallado, solo se trabajaba por precios unitarios globales por metro cuadrado de construcción, lo que no permite tener un claro control de los gastos por partida.

Por esta razón se tuvo que hacer el metrado de la edificación (del rubro objeto de esta investigación: estructuras), para posteriormente elaborar un presupuesto completo por partidas, con precios unitarios, recursos, materiales, equipos y herramientas.

La empresa considera en su presupuesto la siguiente distribución del costo unitario:

|                             |                      |
|-----------------------------|----------------------|
| Estructuras                 | USD \$ 200.00        |
| Instalaciones               | USD \$ 40.00         |
| Acabados                    | USD \$ 220.00        |
| Gastos Generales y Utilidad | USD \$ 40.00         |
| <b>TOTAL</b>                | <b>USD \$ 500.00</b> |

Es contra este presupuesto base que se orientaron las comparaciones que definen si el proyecto está ganando o no dinero. Se obtuvo como resultado un costo de \$ 180.00 dólares

americanos por metro cuadrado de construcción, teniendo un margen pequeño de 15 dólares, por lo que era muy necesario mejorar los procedimientos, pues se podía perder dinero si se registraban pérdidas en el sistema de producción.

El siguiente paso era definir la programación; para lo cual la única exigencia del cliente era terminar la construcción en diciembre.

Con las complicaciones estructurales y arquitectónicas que representaba la edificación, la fecha se consideraba bastante complicada y según los cálculos de la empresa, objetivamente se pensaba terminar en febrero del 2014. Sin embargo se planteó que con aplicación de las herramientas de Lean Construction, sí se podía alcanzar el objetivo.

La programación PERT-CPM realizada, solo considera las partidas del rubro estructuras y no consideró las complicaciones del sistema constructivo, por lo que no fue de mucha utilidad en esta etapa, solo como un mecanismo de control de avance como se mencionó en "Seguimiento al plan maestro".

A continuación se presenta la Planificación por Fases que contiene los hitos obtenidos del Plan Maestro para el estacionamiento:

**PLANIFICACIÓN POR FASES**  
**ESTACIONAMIENTOS**

| ACTIVIDAD             | MESES |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                       | ENE   | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC |
| Obras Provisionales   | ⊙     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Movimiento de Tierras | ⊙     | ⊙   |     |     | ⊙   |     |     |     |     |     |     |     |
| Cimentaciones         |       |     |     |     | ⊙   | ⊙   |     |     |     |     |     |     |
| Muros de Contención   |       |     |     |     | ⊙   | ⊙   | ⊙   |     |     |     |     |     |
| Primer Piso           |       |     |     |     |     | ⊙   | ⊙   | ⊙   |     |     |     |     |
| Segundo Piso          |       |     |     |     |     |     | ⊙   | ⊙   |     |     |     |     |
| Tercer Piso           |       |     |     |     |     |     |     | ⊙   | ⊙   |     |     |     |
| Cuarto Piso           |       |     |     |     |     |     |     |     | ⊙   | ⊙   |     |     |
| Azotea                |       |     |     |     |     |     |     |     |     | ⊙   |     |     |
| Acabados              |       |     |     |     |     |     |     | ⊙   | ⊙   | ⊙   | ⊙   | ⊙   |

De esta manera se estructuró un Plan que buscaba cumplir el plazo pactado. Sin embargo, a pesar de haber implementado la Filosofía y haber demostrado parte de su capacidad, para la constructora aún parecía demasiado optimista y muy difícil de realizar.

Por esta razón, la primera parte del edificio presentó cierta dificultad: el ingeniero y el maestro desconfiaron del potencial de Lean debido a que no lo veían capaz de utilizarse en la edificación, pero debido a la persistencia y perseverancia, se logró retomar la confianza con resultados en el primer mes de aplicación.

#### 5.4.2 LAST PLANNER

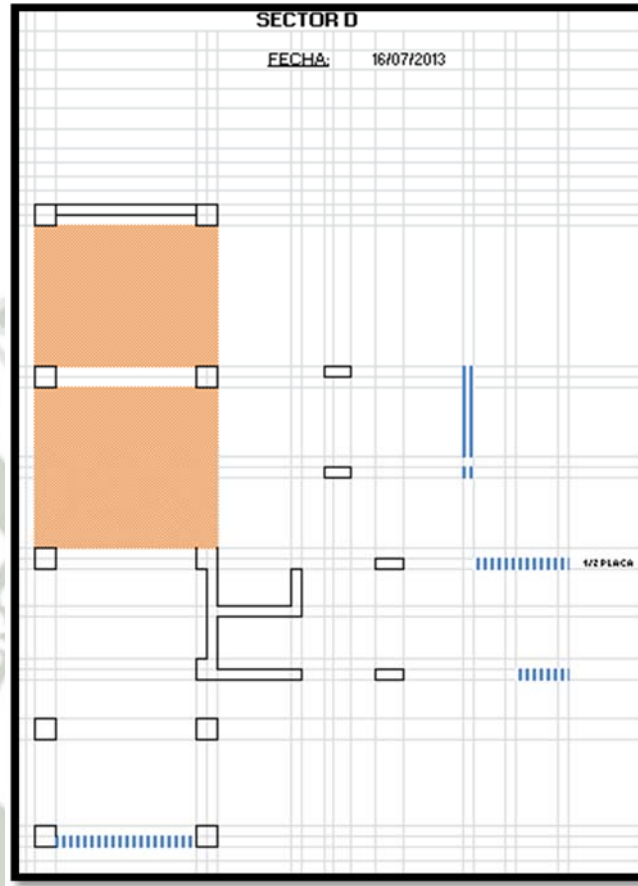
La herramienta Last Planner, es fundamental para el cumplimiento de los plazos y porque queda demostrado que si no se protege el plan, no se alcanza el éxito deseado. A continuación se exponen brevemente las mejoras, correcciones y nuevas recomendaciones de su uso en la segunda etapa del trabajo:

- a) Look Ahead Plan: Esta programación a mediano plazo se volvió indispensable para el edificio porque el avance era tan rápido y el flujo tan constante que si no se tenían previstos las siguientes dos semanas, resultaba imposible cumplir con lo planificado en la segunda semana. Las primeras dos semanas llegaron a detallarse con bastante confiabilidad, las últimas cuatro no al mismo nivel, pero si con mayor precisión que en la primera etapa del proyecto.  
Se presentó un caso particular: Se planificó un vaciado de concreto para un sábado, pero al separar la bomba estacionaria, ésta tenía demasiado trabajo y no podía atendernos, desechando el plan por completo. Por esta razón, se hizo un look Ahead con una ventana más grande que iba desde el vaciado del segundo hasta el cuarto nivel. El resultado fue exitoso y se presentará más adelante.
- b) Análisis de Restricciones: El correcto análisis de las restricciones y la asignación de responsables a cada una, hacen de esta labor el escudo perfecto para garantizar el cumplimiento del Plan. Las principales restricciones en la etapa del edificio fueron básicamente separar con anticipación la bomba estacionaria del proveedor de concreto considerando su poca capacidad para atender la alta demanda de la ciudad y ser el único proveedor en la misma; pedir a tiempo el acero debido a la alta cantidad usada en la edificación y el abastecimiento de encofrado metálico, desmoldante metálico o para madera. Tres restricciones relacionadas cada una con las partidas parte de los trenes de trabajo: Concreto – Acero – Encofrado.
- c) Programación Semanal: Debido a la experiencia alcanzada, las restricciones ya eran liberadas con más anticipación, y las actividades podían introducirse a un plan semanal más confiable. El formato utilizado fue el mismo y siguió dando buenos resultados. Además del formato, el ingeniero y el maestro anotaban cada uno el plan en sus libretas de apuntes para tenerlo siempre presente y se anotaban las principales actividades en la pizarra de la Oficina para que esté al alcance de todos.



- d) Programación Diaria: El Plan del día seguía compartiéndose en reuniones la tarde anterior para afinar detalles sobre cuadrillas y frentes entre el equipo de programación y reuniones diarias al comenzar la jornada donde todo el personal es distribuido y tareado con las actividades definidas el día anterior.

Se diseñó un modelo Excel para el Plan del Día según el Edificio:



- e) Reuniones Semanales: Estas reuniones de programación seguían siendo los días viernes, pero ya no en oficina sino que se prefería estar en campo para poder apreciar mejor el avance, además porque el equipo sólo lo integraban tres personas. En estas reuniones se elaboraba y explicaba el plan semanal y se hacía la retroalimentación con los valores del Porcentaje del Plan Cumplido, pero sobre todo con las Causas de Incumplimiento.

### 5.4.3 CONTROL DE LA VARIABILIDAD: LOTES DE TRANSFERENCIA

La ocurrencia de fenómenos externos e imprevistos es y será una realidad en la construcción. A pesar de la experiencia de la primera etapa, continuaron siendo un gran problema porque la tendencia a provocar pérdidas es increíble, sobre todo lo relacionado al concreto premezclado. En esta etapa se dio el caso de una programación semanal que incluía un vaciado de concreto para el día lunes, de una parte del techo, es decir, de un sector. El vaciado estaba programado para las 2 de la tarde y todo el personal estaba preparado. Eran las 5:00 de la tarde y no llegó ni un solo mixer, así que se decidió suspender el vaciado para otra fecha. La medida correctiva fue hablar con los encargados de la concretera para que no vuelva a repetir un suceso tan




lamentable y además separar la programación para la bomba con más anticipación y confirmarla un día antes.

Pero más allá de eso, se debe analizar que gracias a la reducción de los Lotes de Transferencia, las pérdidas no fueron tan grandes: Al tener preparado solo un tercio del área total para vaciar, al día siguiente de la falla de la concretera, el trabajo continuó porque quedaban los otros dos lotes (los Sectores ZA y ZM2 que se verán más adelante). De no haber sido así, en el transcurso de la semana no hubiera habido frente para todo el personal porque el Lote era igual al Total de la producción requerida, todos habrían tenido que apoyar en el vaciado y luego esperar los trazos para seguir con los elementos verticales.

Más adelante se explicará cómo además de ayudar con la variabilidad, reducir los lotes de transferencia incrementa la eficiencia de los flujos.

#### 5.4.4 BUFFERS

El uso de buffers como una forma de manejar la variabilidad siguió presente en la segunda etapa del proyecto. Ahora estos colchones eran mejor analizados y diseñados, y fueron de mucha utilidad. Se siguieron utilizando los mismos que en la primera etapa,

| Variabilidad   | Buffer   | Análisis   |
|--|--|--|
| Necesidad de más horas semanales.                                    | <b><u>Tiempo</u></b><br>Horas extra en la semana, incluyendo trabajo los días sábado.  |   |
| Falta de encofrado metálico por tiempos de desencofrado más rápidos. | <b><u>Capacidad</u></b><br>Para ganar tiempo se apuntalaban las losas y se desencofrada a los 4 días sin acelerante de fragua. Considerando que en promedio la resistencia del concreto adquirido a los 7 días ya tiene el 100%. |  |
| Cantidad elevada de personal algunas semanas.                        | <b><u>Capacidad</u></b><br>Se abrieron otros frentes importantes como el solaqueo del sótano o la nivelación del piso del estacionamiento.   |  |

|   |   |  |
|---|---|--|
| <p>Tener elementos encofrados para el concreto premezclado que sobre.</p> | <p>Se debe considerar en el pedido que hay desperdicios pero es mejor que sobre a que falte, porque sería muy costoso preparar concreto para un 3er o 4to piso.</p> |  |
| <p>Problemas con los equipos.</p>   | <p><b>Inventario</b><br/>Herramientas y combustible permanente en obra, además de un operario encargado del mantenimiento.</p>                                      |  |

## **PASO 2: FLUJOS EFICIENTES**

### **5.4.5 SECTORIZACIÓN**

Una correcta sectorización es muy importante para el correcto avance de la obra y para que funcione el sistema de producción **PULL**.

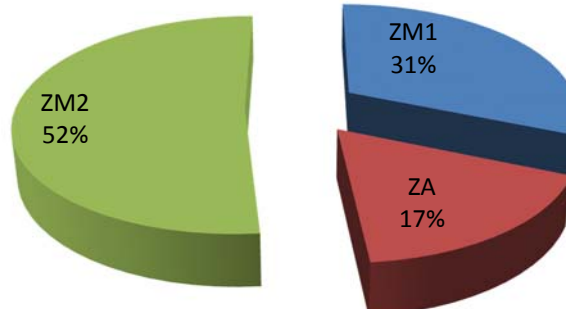
Teniendo la experiencia de la primera etapa, teniendo los rendimientos para los módulos de 8 metros por 8 metros de losa maciza, y conociendo la principal restricción que eran en lo referido al concreto: mínimo 15 metros cúbicos con bomba estacionaria y sólo los días sábados por cuestiones del colegio, se podría predecir cómo debían ser los sectores. Sin embargo apareció algo imprevisto: Las nuevas vigas de 0.20 por 1.80 o por 2.70 metros de peralte y la zona del aligerado como una nueva experiencia para la mano de obra provocaron gran incertidumbre y pérdida de tiempo al principio hasta mejorar la curva de aprendizaje.

De este modo, los sectores se dividieron básicamente en 3. Basándose en los horizontales, los resultados fueron los siguientes:

| ZONA  | ÁREA (m <sup>2</sup> ) | CONCRETO (m <sup>3</sup> ) | PORCENTAJE (%) |
|-------|------------------------|----------------------------|----------------|
| ZM1   | 91.8                   | 31.0                       | 31%            |
| ZA    | 96.0                   | 17.0                       | 17%            |
| ZM2   | 174.2                  | 51.0                       | 52%            |
| TOTAL | 362.0                  | 99.0                       | 100%           |

Tabla 13: Sectorización Sector C. Horizontales Fuente: Propia

### HORIZONTALES

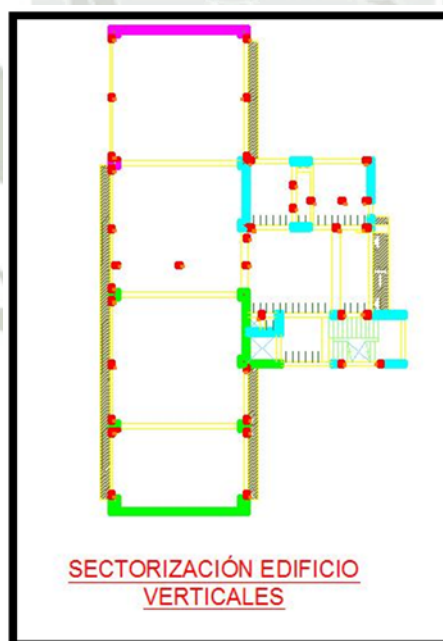
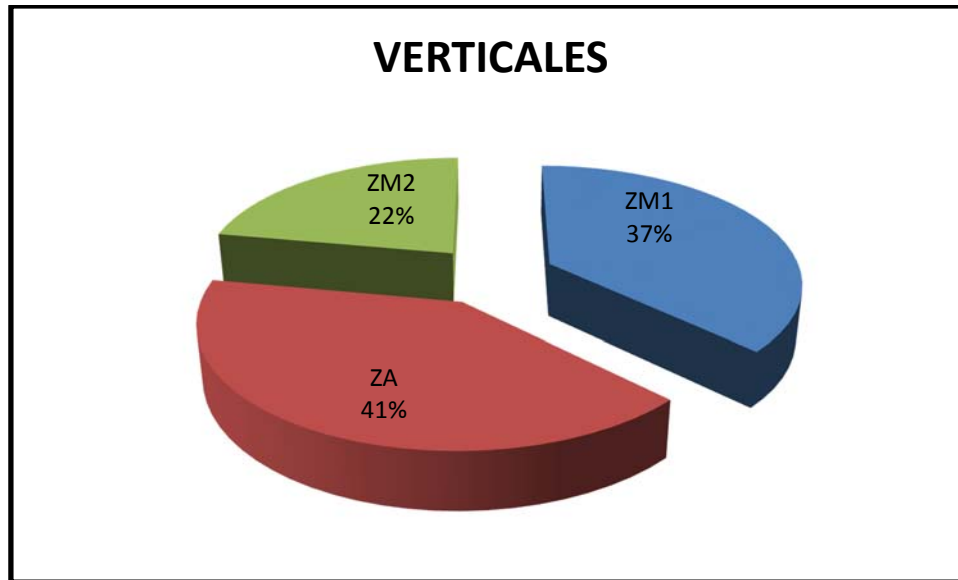


Como se puede observar, la restricción del vaciado sabatino no permitió disponer de sectores más pequeños porque si se hacía así con la cantidad de mano de obra se iba a sobre-producir y a media semana ya se habría terminado el trabajo y se debería esperar hasta el sábado. Además se debe recalcar una vez más la complejidad estructural que dificultó el procedimiento constructivo.

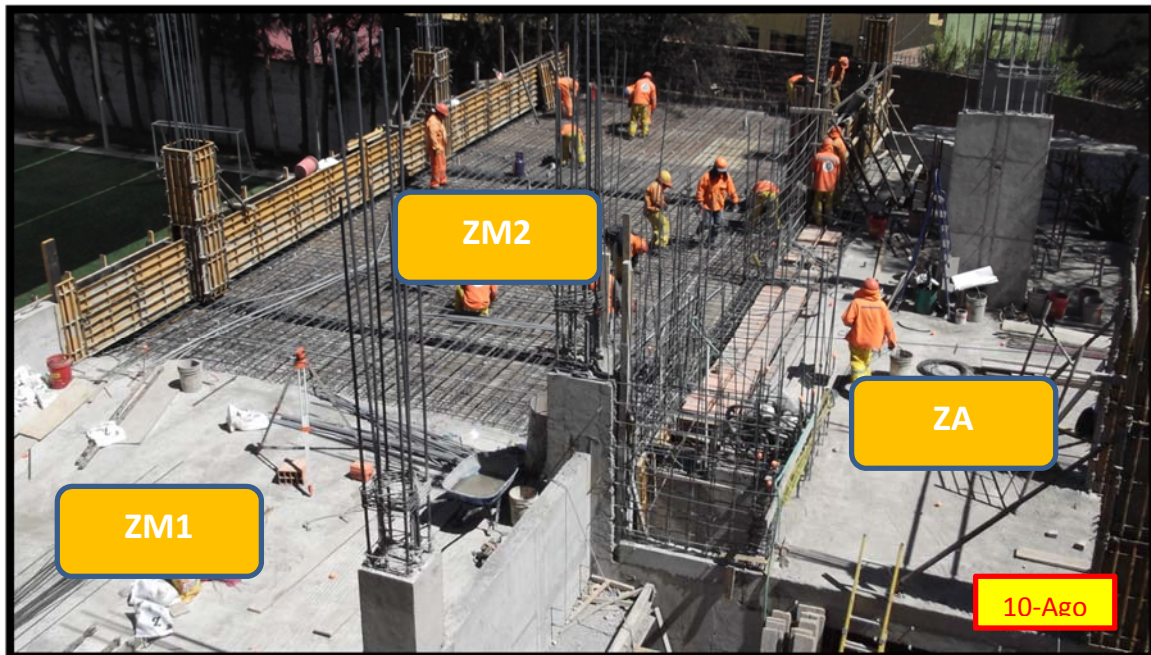
Sin embargo esta sectorización si se presentó más equilibrada para los elementos verticales:

| ZONA  | ÁREA (m <sup>2</sup> ) | CONCRETO (m <sup>3</sup> ) | PORCENTAJE (%) |
|-------|------------------------|----------------------------|----------------|
| ZM1   | 91.8                   | 14.3                       | 37%            |
| ZA    | 96.0                   | 15.6                       | 41%            |
| ZM2   | 174.2                  | 8.5                        | 22%            |
| TOTAL | 362.0                  | 38.4                       | 100%           |

Tabla 14: Sectorización Sector C. Verticales. Fuente: Propia



Se presentan unas fotos que demuestran la aplicación de la sectorización y las ventajas que representa:



Finalmente se dan algunas recomendaciones y ventajas de la sectorización:

**DIFICULTADES – LECCIONES APRENDIDAS**  
**IMPLEMENTACIÓN SECTORIZACIÓN**

- ✘ Los cortes de vaciados deben hacerse cumpliendo las condiciones estructurales para zonas de bajos esfuerzos. Sin embargo es recomendable utilizar un aditivo puente de adherencia si el tiempo de vaciado es muy distanciado uno de otro.
- ✘ Los cortes suelen hacerse con listones de madera. Es importante retirarlos inmediatamente porque suelen adherirse muy fuerte al concreto y al final no se pueden retirar quedando estos elementos en las vigas.
- ✘ Al principio se puede dudar de que no se va a afectar estructuralmente la edificación. Ante esto es recomendable citar al calculista para que avale la idea ante el cliente.
- ✓ Para convencer a la empresa de sectorizar, el principal argumento fue preguntarles que harían con toda la cantidad de gente al día siguiente de vaciar todo el techo.
- ✓ Se diseñó un comparativo entre las ventajas de sectorizar y no hacerlo:

VENTAJAS DE SECTORIZAR

- 1 Nos permitirá terminar hasta 3 semanas antes que lo tradicional.
- 2 No alcanza el encofrado para vaciar todas las vigas V-13 a la vez.
- 3 El volumen de concreto es alto -> mayor calor de hidratación y posibilidad de fisuras.
- 4 Conocemos los rendimientos promedios y podemos controlar mejor el trabajo.
- 5 El pedido de materiales es secuencial y no todo de golpe.
- 6 Hay gran cantidad de mano de obra y no sería necesario despedirla.  
( 30 personas para un edificio de 300 m2? )
- 7 La productividad va a ser mayor porque no van a haber tantas esperas

DESVENTAJAS DE SECTORIZAR

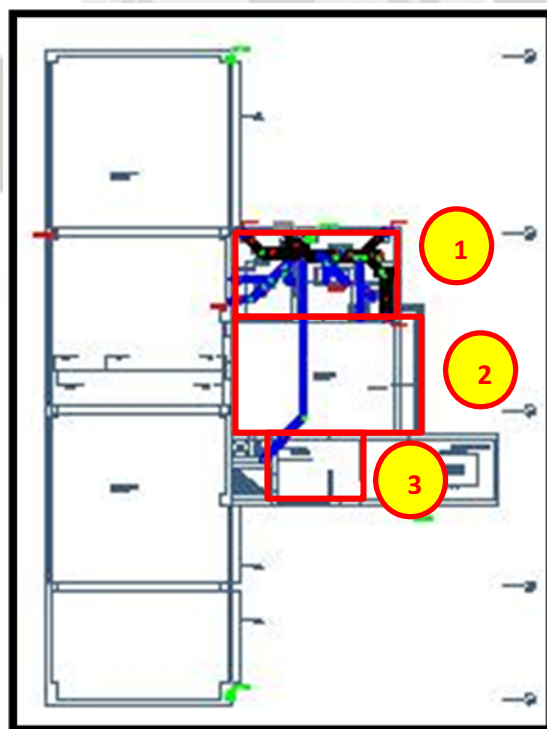
- 1 Demanda un consumo alto de recursos en menos tiempo.
- 2 Será necesario cortar el vaciado tomando consideraciones técnicas.
- 3 La viga V-10 pasa de largo a la losa maciza.

**5.4.6 LOTES DE TRANSFERENCIA**

El lote de producción (LP) es la cantidad total de productos terminados por una actividad en un sector y que serán pasados en total a una siguiente actividad. Entonces, el lote de transferencia (LT) será la cantidad de productos que se va pasando de una actividad a la siguiente en una etapa. Tradicionalmente se ha trabajado con un lote de transferencia igual al

lote de producción, lo que significaría que una actividad pasará todos sus productos cuando haya terminado todos ellos. Sin embargo, mientras menor sea el lote de transferencia, mayor será el ahorro del tiempo. Se entiende, entonces, que lo ideal es que una cuadrilla que realiza una actividad vaya entregando sus productos apenas los termine a una siguiente cuadrilla. Así, la segunda cuadrilla podrá iniciar su trabajo antes con este producto logrando un ahorro de tiempo gracias a este traslape. Utilizando los Lotes de Transferencia más pequeños, no solo controlamos la gran variabilidad y tenemos un gran respaldo ante eventos imprevistos sino que también ahorramos tiempo y por ende ganamos dinero.

Para ejemplificar mejor, se tuvo un problema en el primer techo del edificio, donde aparecían por primera vez instalaciones sanitarias en la parte de la losa Aligerada. El Lote de transferencia inicial de las actividades ENCOFRADO DE LOSA – TRAZO DE VIGUETAS – INSTALACIONES SANITARIAS – COLOCACIÓN DE LADRILLO – ACERO DE REFUERZO, era la Zona Aligerada completa. Se pudo apreciar que no alcanzó el tiempo para realizar las pruebas hidráulicas ni para completar con la calidad suficiente la instalación de tuberías de agua y ductos para Luz. Por esta razón se tomaron las Actividades ENCOFRADO LOSA – TRAZO DE VIGUETAS – INSTALACIONES SANITARIAS – COLOCACIÓN DE LADRILLOS en Lotes de Transferencia igual a los paños de la Zona Aligerada. De este modo, se hacía primero los paños correspondientes a la Batería de Baños y se entregaban inmediatamente a los técnicos sanitarios para su instalación, mientras el encofrado seguía en los paños contiguos y los trenes no se detenían y se ganaba tiempo. Incluso para los siguientes techos, se tuvo la idea de ir armando la batería de baños antes de encofrar, prefabricando las uniones, cortando los tubos, pegando los accesorios como se aprecia en las siguientes imágenes:





De este modo, las pruebas hidráulicas se realizaron con la debida anticipación y los resultados fueron los esperados. Además es importante destacar la iniciativa de un técnico sanitario que basados en lo que se estaba haciendo en obra en cuanto a sectorizar, él aplico lo mismo a sus pruebas hidráulicas; es decir que en vez de probar toda la red se centraba en pequeñas redes llámese “baño de damas”, “baño de Varones, “baño de discapacitados”; y encontraba las deficiencias con mucha facilidad.

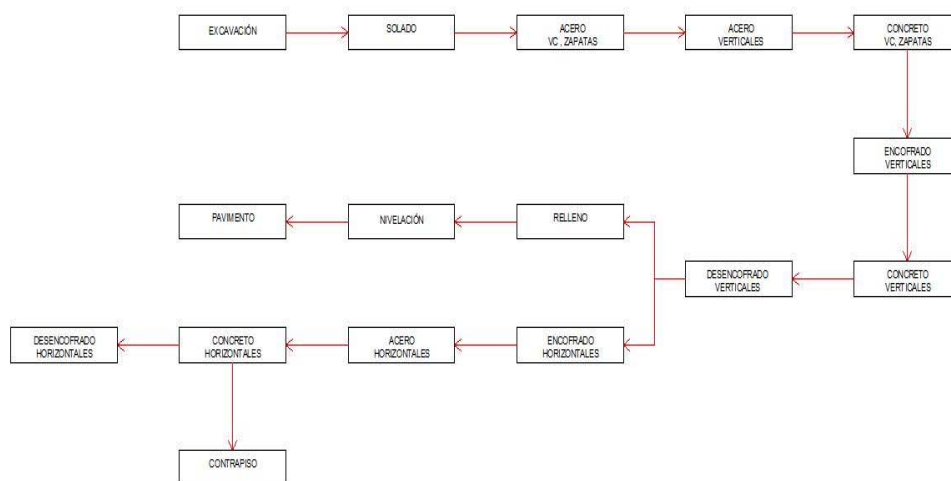
Aquí es donde comenzó a apreciarse lo rápido que puede avanzar el trabajo al reducir el tamaño de los Lotes y trabajar con Trenes de Trabajo.

#### 5.4.7 TRENES DE TRABAJO

Con la sectorización y la reducción de los lotes de transferencia, la labor se hizo rítmica y constante, prácticamente cada paño de losa era una estación de trabajo y había la necesidad nuevamente de usar Trenes de Trabajo.

Para lo cual se presentó a la gerencia un diagrama de red muy simplificado con las tareas a cumplir construir el edificio, entendiendo que básicamente era concreto armado:

#### 1ER NIVEL



### RESTO DE PISOS



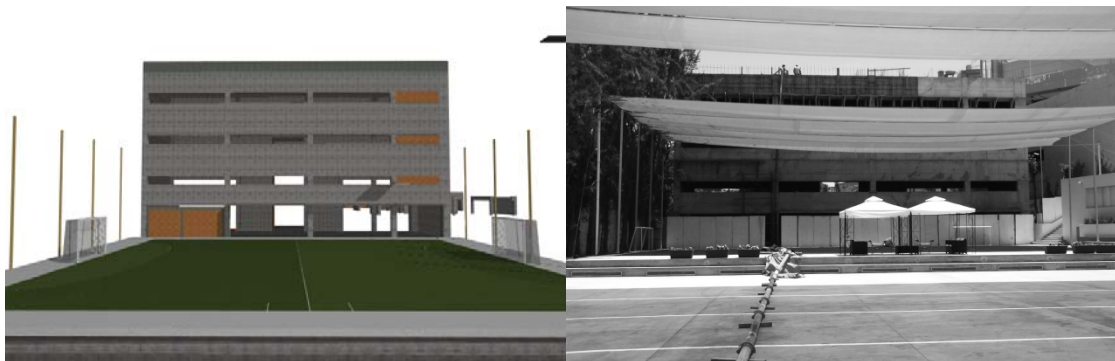
Con esta información, se estructuró que con la cantidad de mano de obra existente en la obra, sí se podía trabajar con los trenes de trabajo y ganarle mucho tiempo a la programación final. Luego de probar con el primer y segundo nivel, la perfección del método se dio en el tercer y cuarto nivel, donde se el tiempo de un ciclo de Losa ZM1 fue de dos semanas.

| ACTIVIDADES           | 1  | 2  | 3  | 4  | 5   | 6  | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 |  |  |
|-----------------------|----|----|----|----|-----|----|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|
| ACERO EN VIGAS        | P1 | P2 | P1 | P2 | P3  | P4 |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| FONDOS DE VIGAS       |    | P1 | P2 | P1 | P2  | P3 |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| COSTADOS DE VIGAS     |    |    | P1 | P2 | P1  | P2 |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| ENCOFRADO LOSAS       |    |    |    | P1 | P2  | P1 |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| LADRILLO              |    |    |    |    |     |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| ACERO EN LOSAS        |    |    |    | P1 | P2  |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| CONCRETO HORIZONTALES |    |    |    |    | ZM1 |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| TRAZO Y REPLANTEO     |    |    |    |    |     |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| ACERO VERTICALES      |    |    |    |    |     |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| ENCOFRADO VERTICALES  |    |    |    |    |     |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |
| CONCRETO VERTICALES   |    |    |    |    |     |    |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |

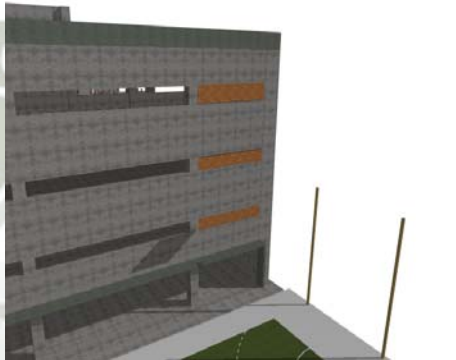
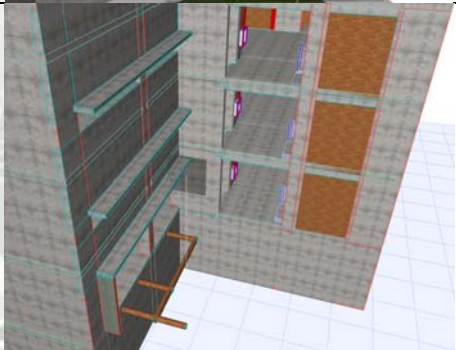
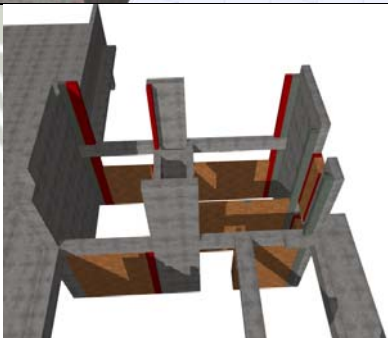
El problema siguió siendo los vaciados sabatinos, que producen lotes de producción en espera. De no haber tenido esta restricción y haber podido vaciar sin ningún problema, el tiempo hubiese sido al menos 3 días menos. Aun así se, se mejoró el proceso de concreto hecho en obra para elementos verticales lo que permitió vaciar diariamente columnas o placas pequeñas, más nunca se hicieron las de 8 o 9 m<sup>3</sup> porque a mayor altura, el costo de vaciado con concreto en obra se encarece, sobre todo en las condiciones de trabajo presentadas.



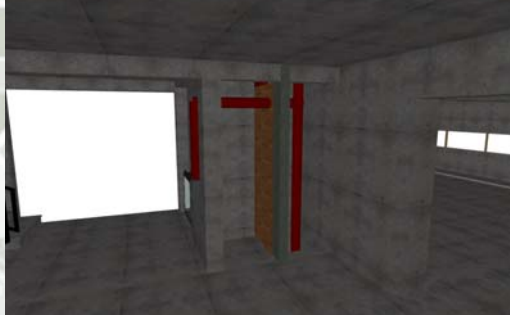
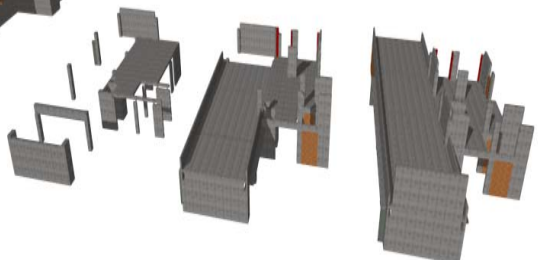
#### 5.4.8 BUILDING INFORMATION MODELING

La mayor innovación continuó siendo el uso del modelamiento de la información en 3 Dimensiones (BIM), con múltiples usos y nuevas formas de explicar ideas y procedimientos y transmitir información.



Se presenta a continuación unos ejemplos del uso de BIM en la construcción del edificio:

| Descripción  | Foto   |
|--|--|
| <p>Se pudo juntar detalles no especificados en los planos de estructuras pero existentes en la arquitectura y que requieren de elementos tipo tabiques para su construcción.</p> |   |
| <p>Detalles arquitectónicos como las pestañas o parasoles e instalaciones como la ventilación.</p>   |  |
| <p>Tabiquería en baños que requiere dejar arranques tipo columna Pa (para empalmar con dowell's) no especificada en los planos de estructuras.</p>                               |  |

|  |  |
|--|--|
| <p>Corrección de errores del proyecto como el cuarto de máquinas para el ascensor o la falta de un cuarto de Data. Primero se modeló en 3D y luego se tomó una decisión.</p> |    |
| <p>Explicación de procedimientos constructivos como las vigas de 0.20 por 1.80 m en el perímetro y su encuentro monolítico con las columnas.</p>                             |    |
| <p>Pases para instalaciones sanitarias o de agua contra incendios en elementos estructurales.</p>  |   |
| <p>Explicación del procedimiento constructivo sectorizado. Se pueden ver los 3 sectores y como debía ir armándose el techo.</p>  |  |

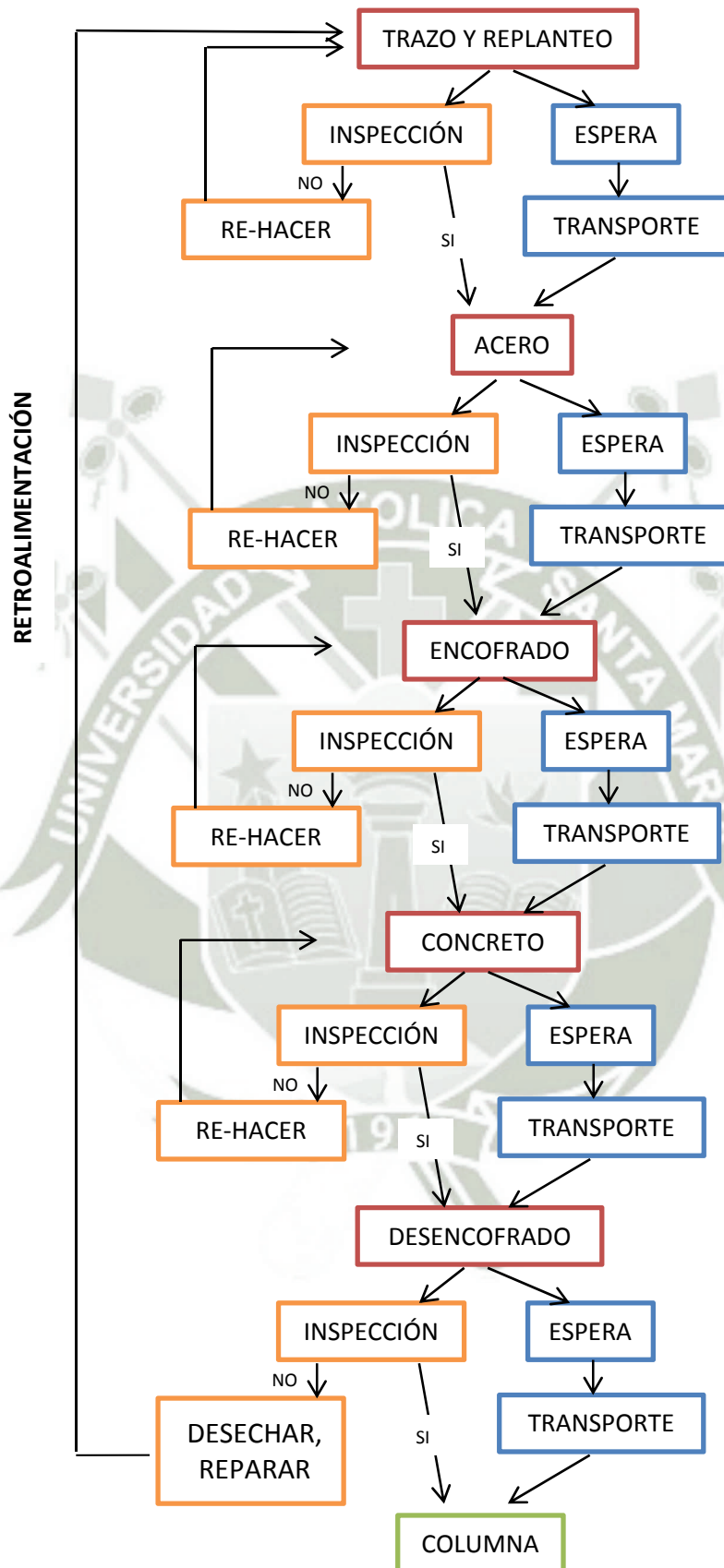
### **PASO 3: OPTIMIZAR PROCESOS**

#### **5.4.9 OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS**

Basado en la teoría de las restricciones, el proceso de mejora continua se puede aplicar en la construcción como en la industria manufacturera; los procesos son parte de un sistema de producción y presentan cuellos de botella.

Ahora bien, se debe ver la construcción de la obra como un sistema global de producción, donde fabricar un producto final (llámese edificios, puentes, presas, etc.) requiere de meses o incluso años, pero la fabricación de las partes (columnas, vigas, losas, etc.) son procesos más pequeños en comparación con el total y que sin embargo comparado con la industria manufacturera pueden ser considerados como sistemas productivos.

Si por ejemplo, se considera sistema de producción la construcción de columnas, el nuevo modelo de producción es el siguiente.



Se puede apreciar que entre cada proceso hay esperas, transportes, toma de decisiones, controles de calidad, etc. que producen pérdidas en el flujo si llegan a significar retrasos en la producción. Por esta razón se busca disminuir o eliminar las esperas mediante una mejor distribución de los recursos.

Como se comentó en la etapa anterior, la primera parte busca optimizar los procesos (de marco rojo en el diagrama) para reducir el tiempo de cada uno y hacerlos más productivos; producir más con menos. La segunda parte se centra en las que representan pérdidas (de marco azul en el diagrama), eliminarlas o disminuirlas al máximo. Y finalmente, la tercera parte se centra en el control de calidad y su ubicación en la cola de producción (de marco anaranjado).

Se presenta un ejemplo de optimización en la parte del edificio correspondiente al vaciado de concreto en obra para losas aligeradas ubicadas en el segundo nivel de la edificación. La particularidad de esta actividad es que el agregado solo puede entrar en volquetes de 5 m<sup>3</sup>, ingresar por el sótano y descargar lo más cerca posible al ducto del ascensor; por aquí es donde se instaló el winche eléctrico para elevar el concreto utilizando en una primera instancia un contrapeso de concreto.

Se usó el mismo formato y los resultados fueron los siguientes:

| <b><u>NOMBRE DEL DOCUMENTO</u></b>  |            |
|---|------------|
| <b>PROCEDIMIENTO MAESTRO PARA OPTIMIZAR PROCESOS</b>  |            |
| <b>FASE 1: SIMPLE OBSERVACIÓN</b>   |            |
| <b>1. ÍNDICE</b>  |            |
| <b>2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</b>   |            |
| Preparación de Concreto f'c 210 kgf/cm <sup>2</sup> para elementos horizontales con transporte horizontal y vertical Sótano - Segundo nivel |            |
| <b>3. NÚMERO DE MEDICIÓN Y FECHA</b>  |            |
| MEDICIÓN N°:  | 1          |
| FECHA:  | 29/08/2013 |
| <b>4. OBJETIVO</b>  |            |
| Mejorar la producción de mezcla   |            |
| Incrementar el Rendimiento  |            |
| Eliminar tiempos de espera  |            |
| Eliminar tiempos de transporte  |            |
| Incrementar la capacidad del transporte   |            |
| Mejorar el uso de los recursos  |            |
| <b>5. RESPONSABLE</b>   |            |
| Ingeniero de producción o Maestro de Obra   |            |
| <b>6. OBSERVACIONES</b>   |            |
| El concreto es preparado en el sótano y elevado mediante el uso de un winche.   |            |

Solo se contaba con un balde del winche porque el otro no cabía en el ducto.  
El proceso va desde la preparación del concreto hasta la colocación in situ; no incluye el acabado.



**7. RECURSOS**

Mano de Obra

12 OBREROS

Equipos

01 Mezcladora de 11 p3

01 Winche Eléctrico de 1 baldes

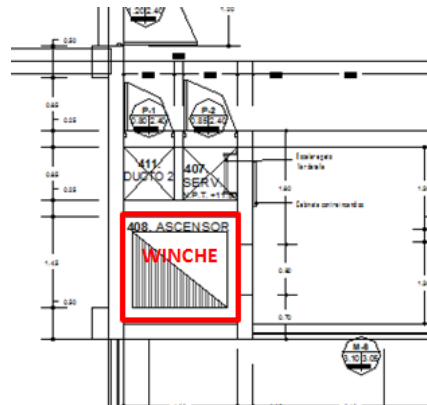
01 Vibradora

Herramientas

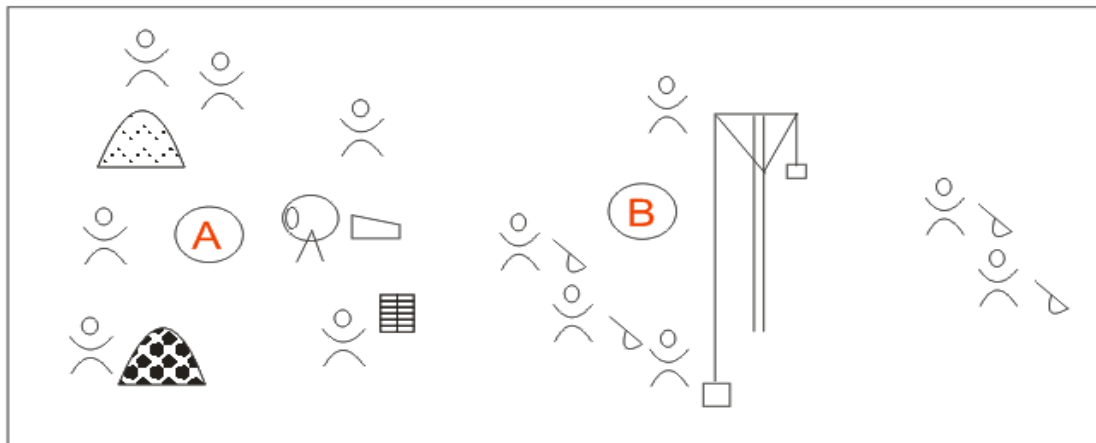
Lampas

Baldes

Boogies de 1.5 pies cúbicos



**8. GRÁFICO DEL PROCESO**



**9. CONTROL DE TIEMPOS**

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN | M. O. | DURACIÓN (s) | ACUMULADO (s) |
|--------|-------------|-------|--------------|---------------|
| A      | AGUA        | 1     |              |               |
|        | CEMENTO     |       | 52           |               |
|        | AGREGADOS   | 4     | 49           | 101           |

|   |                               |    |     |     |
|---|-------------------------------|----|-----|-----|
| B | MEZCLADO                      | 1  | 15  | 116 |
|   | DESCARGA A TINA               |    | 15  |     |
|   | DESCARGA A BOOGIE             |    | 12  |     |
| C | TRANSPORTE A WINCHE (1 balde) | 3  | 35  |     |
|   | DESCARGA A WINCHE             |    | 145 | 311 |
| D | ELEVACIÓN DE CONCRETO         | 1  | 40  | 351 |
|   | DESCARGA A BOOGIE             | 2  | 36  | 452 |
| E | TRANSPORTE A PUNTO DE VACIADO | 4  | 40  |     |
|   | DESCARGA A ELEMENTO           |    | 25  |     |
|   | REGRESO                       |    | 43  | 495 |
|   | FIN                           |    | 23  | 518 |
|   | TOTAL                         | 16 | 530 |     |

## 10. ANÁLISIS

- Volumen Producido: 0.52 m<sup>3</sup>
- Horas Hombre: 12 obreros \* 530 seg = 1.77 hh
- Ratio de Producción: 1.77hh/0.52 m<sup>3</sup> = 3.40 hh/m<sup>3</sup>
- Cuellos de Botella: Sub-proceso C, Subproceso D, subproceso E
- Pérdidas: Esperas los procesos y movimientos y transportes

## 11. ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN

- Conseguir un balde especial debido a que el balde original no entraba en el ducto.
- Colocar más cerca el agregado
- Sistema de comunicación entre los que están en el sótano y los que están en el segundo nivel.
- Acercar la mezcladora al Winche lo máximo posible.
- Evitar desperdicios en la entrega boogie - winche
- Cambiar de operador del winche a uno con más dominio.
- Cambiar el cable del winche por uno nuevo, con mayor longitud.

La observación y análisis del proceso permite identificar los cuellos de botella del sistema de producción de concreto, y tras analizar la restricción e implementar mejoras, los resultados fueron los siguientes:

**NOMBRE DEL DOCUMENTO**  
**PROCEDIMIENTO MAESTRO PARA OPTIMIZAR PROCESOS**  
**FASE 1: SIMPLE OBSERVACIÓN**

**1. ÍNDICE**

**2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO**

Preparación de Concreto f'c 210 kgf/cm<sup>2</sup> para elementos horizontales con transporte horizontal y vertical Sótano - Segundo nivel

**3. NÚMERO DE MEDICIÓN Y FECHA**

MEDICIÓN N°: 2

FECHA: 30/08/2013

**4. OBJETIVO**

Mejorar la producción de mezcla  
Incrementar el Rendimiento  
Eliminar tiempos de espera  
Eliminar tiempos de transporte  
Incrementar la capacidad del transporte  
Mejorar el uso de los recursos

**5. RESPONSABLE**

Ingeniero de producción o Maestro de Obra

**6. OBSERVACIONES**

El concreto es preparado en el sótano y elevado mediante el uso de un winche.  
Se fabricó un balde de menor tamaño que pueda ingresar por el otro ducto.



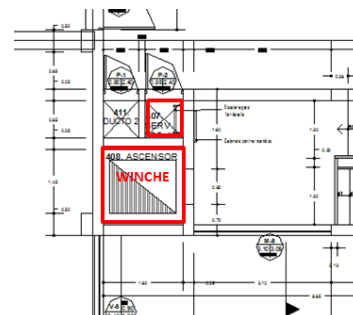
**7. RECURSOS**

Mano de Obra

15 OBREROS

Equipos

- 01 Mezcladora de 11 p3
- 01 Winche Eléctrico de 2 baldes
- 01 Vibradora



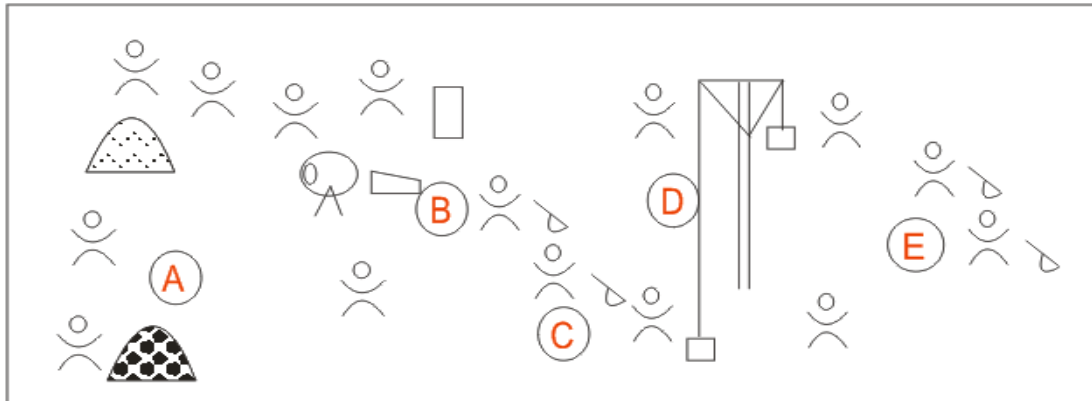
Herramientas

Lampas

Baldes

Boogies de 1.5 pies cúbicos

**8. GRÁFICO DEL PROCESO**



**9. CONTROL DE TIEMPOS**

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN                      | M.<br>O.  | DURACIÓN<br>(s) | ACUMULADO<br>(s) |
|--------|----------------------------------|-----------|-----------------|------------------|
| A      | AGUA                             | 1         |                 |                  |
|        | CEMENTO                          |           | 46              |                  |
|        | AGREGADOS                        | 4         | 42              | 88               |
| B      | MEZCLADO                         | 1         | 15              | 103              |
| C      | DESCARGA A TINA                  |           | 12              |                  |
|        | DESCARGA A BOOGIE                |           | 10              |                  |
|        | TRANSPORTE A WINCHE (2<br>balde) | 3         | 15              |                  |
|        | DESCARGA A WINCHE                |           | 12              | 142              |
| D      | ELEVACIÓN DE CONCRETO            | 1         | 19              | 161              |
| E      | DESCARGA A BOOGIE                | 2         | 13              | 210              |
|        | TRANSPORTE A PUNTO DE<br>VACIADO | 4         | 21              |                  |
|        | DESCARGA A ELEMENTO              |           | 15              |                  |
|        | REGRESO                          |           | 12              | 222              |
|        | FIN                              |           | 8               | 230              |
|        | <b>TOTAL</b>                     | <b>16</b> | <b>240</b>      |                  |

**10. ANÁLISIS**

a. Volumen Producido: 0.52 m<sup>3</sup>

b. Horas Hombre: 15 obreros \* 240 seg = 1.0 hh

c. Ratio de Producción: 1.0hh/0.52 m<sup>3</sup> = 1.92 hh/m<sup>3</sup>

d. Cuellos de Botella: Sub-proceso C, Subproceso D, subproceso E

e. Pérdidas: Esperas los procesos y movimientos y transportes

**11. ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN**

- a. Ideal: Eliminar el transporte tina-boogie-winche por tina-winche
- b. Colocar más cerca el agregado
- c. Sistema de comunicación entre los que están en el sótano y los que están en el segundo nivel.
- d. Evitar desperdicios en la entrega boogie - winche

La comparación de ambos procesos da como resultado una mejora en la productividad del 77% al incrementar un 25.0% la cantidad de mano de obra y reducir un 113% el tiempo de producción. Al desarrollar esta optimización, se ahorraron S/. 21.00 nuevos soles por metro cúbico preparado. Si ese día se vaciaron 17 metros cúbicos para la losa aligerada, el ahorro fue de S/. 357.00.

**5.4.10 NIVEL GENERAL DE ACTIVIDAD**

Se siguió utilizando esta herramienta para el mismo propósito: Identificar los desperdicios de Nivel Uno, estos son relativamente fáciles de ver y trabajar con ellos genera grandes impactos. También ayuda en la identificación de desperdicios de Nivel Dos, relacionados a procesos y métodos.

Se presenta a continuación los resultados y su respectivo análisis:

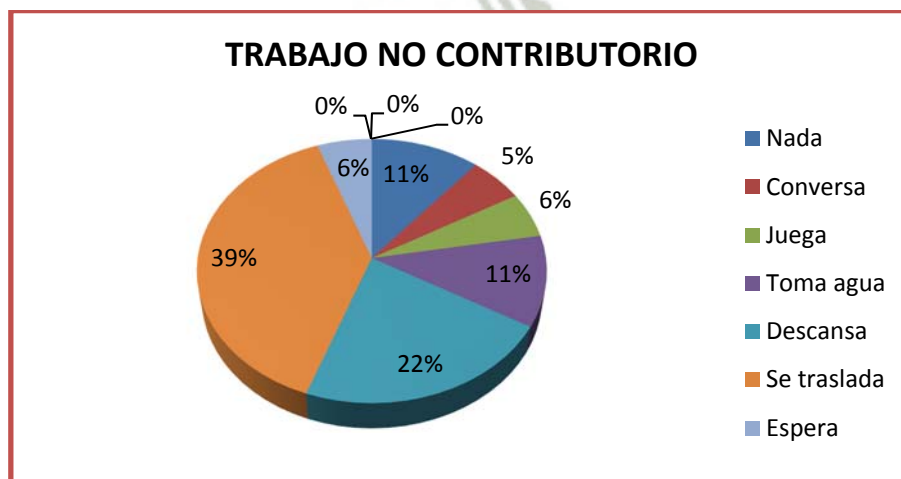
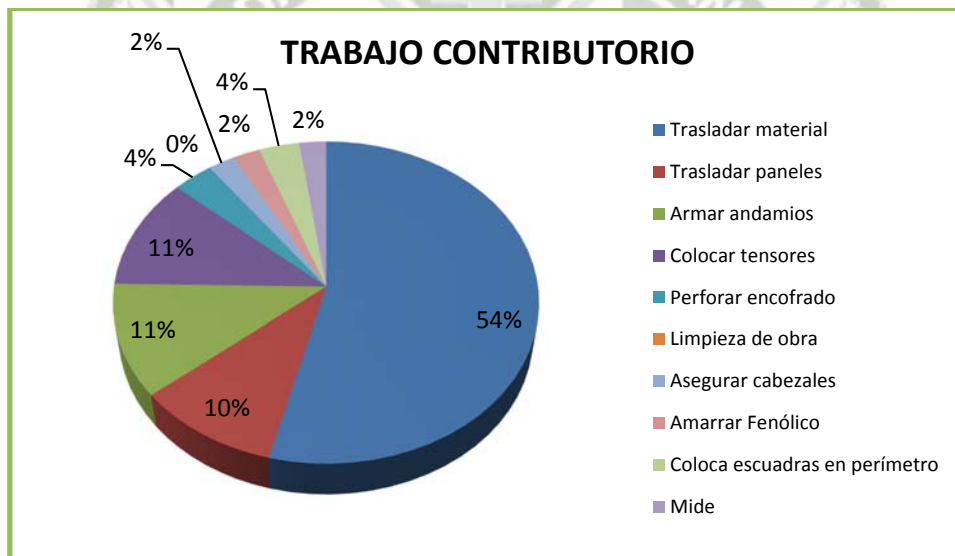
|                 |            | TP            | TC            | TNC           | TOTAL          |
|-----------------|------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
|                 | Fecha      |               |               |               |                |
|                 | 17/07/2013 | 16            | 10            | 6             | 32             |
|                 | 07/08/2013 | 14            | 11            | 5             | 30             |
|                 | 17/09/2013 | 15            | 11            | 2             | 28             |
|                 | 26/09/2013 | 16            | 13            | 5             | 34             |
| I               | 17/07/2013 | 50.00%        | 31.25%        | 18.75%        | 100.00%        |
| II              | 07/08/2013 | 46.67%        | 36.67%        | 16.67%        | 100.00%        |
| III             | 17/09/2013 | 53.57%        | 39.29%        | 7.14%         | 100.00%        |
| IV              | 26/09/2013 | 47.06%        | 38.24%        | 14.71%        | 100.00%        |
| I               |            | 50.00%        | 31.25%        | 18.75%        | 100.00%        |
| II              |            | 46.67%        | 36.67%        | 16.67%        | 100.00%        |
| III             |            | 53.57%        | 39.29%        | 7.14%         | 100.00%        |
| IV              |            | 47.06%        | 38.24%        | 14.71%        | 100.00%        |
| <b>PROMEDIO</b> |            | <b>49.19%</b> | <b>36.29%</b> | <b>14.52%</b> | <b>100.00%</b> |

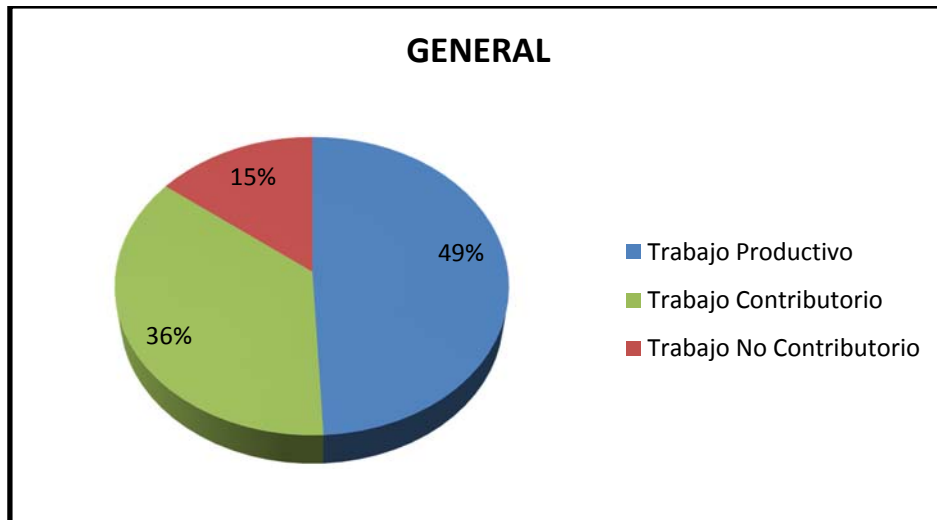
Los trabajos contributivos y no contributivos, identificados en esta etapa fueron los siguientes:

| Trabajo Contributorio |                               |
|-----------------------|-------------------------------|
| 1                     | Trasladar material            |
| 2                     | Trasladar paneles             |
| 3                     | Armar andamios                |
| 4                     | Colocar tensores              |
| 5                     | Perforar encofrado            |
| 6                     | Limpieza de obra              |
| 7                     | Asegurar cabezales            |
| 8                     | Amarrar Fenólico              |
| 9                     | Coloca escuadras en perímetro |
| 10                    | Mide                          |

| Trabajo No Contributorio |             |
|--------------------------|-------------|
| 11                       | Nada        |
| 12                       | Conversa    |
| 13                       | Juega       |
| 14                       | Toma agua   |
| 15                       | Descansa    |
| 16                       | Se traslada |
| 17                       | Espera      |
| 18                       |             |
| 19                       |             |
| 20                       |             |

Finalmente los resultados fueron los siguientes:





Al analizar la información de la gráfica, se puede identificar varios puntos importantes:

- ✓ El 49% del trabajo es productivo.
- ✓ El trabajo contributorio y el no contributorio alcanzan el 51%.
- ✓ Del trabajo contributorio, el 64% se da en trasladar materiales. Esto se debe a que la obra ahora crece verticalmente y hay que subir paneles, vigas Z, vigas E, acero; en sí todo el material utilizado en los pisos anteriores.
- ✓ Del trabajo contributorio, el 11% se da en armar andamios, puesto que el trabajo es en altura y tanto elementos verticales como horizontales requieren del uso de andamiaje.
- ✓ Del trabajo no contributorio, el 39% del tiempo los obreros se trasladan. Esta conclusión es compatible con la anterior, trabajar entre el sótano, 1er, 2do, 3ro y 4to nivel implican más traslado del personal; desde recoger herramientas hasta por ir a los servicios higiénicos.
- ✓ El 22% del trabajo No contributorio se conforma por actividades que son improductivas como descansar y tomar agua. El trabajo a medida que aumenta la altura se hace más pesado y peligroso.

Es importante reconocer que pueden haber tiempos en los que a parte del personal no se le ve realizando tareas importantes, pero en esta segunda etapa se consiguió que el flujo sea continuo, lo que significa que pueden haber disminuciones de eficiencia en la mano de obra pero incrementos más trascendentales en la productividad.

“Se incrementa el Throughput mientras que simultáneamente se reducen tanto los inventarios como los gastos de operación”.

#### **5.4.11 CARTAS BALANCE**

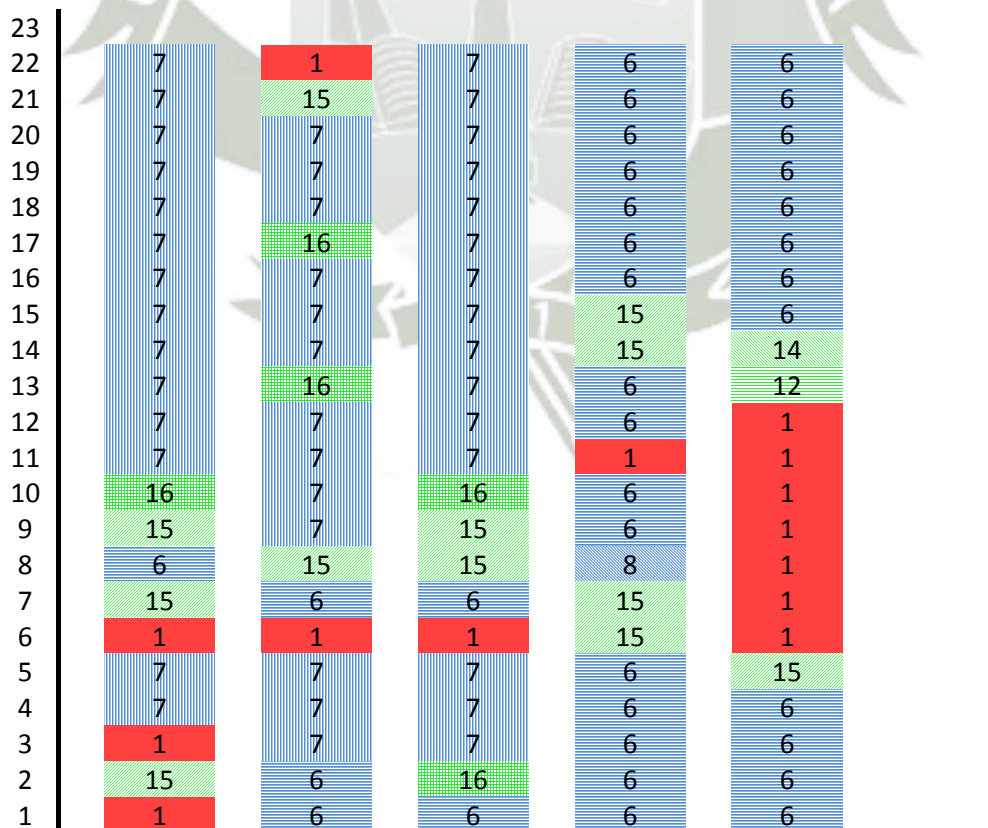
Las Cartas Balance continuaron siendo un arma muy efectiva para detectar sobre-dimensionamiento en las cuadrillas pero también fallas en los procesos. Al encontrar esperas exageradas se podría definir que algo está retrasando el flujo, al observar movimientos o transporte se puede identificar quizás un error en el Layout de la obra.

Se presentan a continuación unos ejemplos de Cartas Balance utilizadas en esta etapa y las conclusiones a las que se pudo llegar. Se enfocaron en los elementos verticales por ser más críticos en esta etapa para alcanzar el cumplimiento de las metas semanales.

**PROCESO Nº1: ACERO DE ELEMENTOS VERTICALES**

|                    |   |
|--------------------|---|
| <b>EMPRESA:</b>    | Nueva Andina S.A.                       |
| <b>OBRA:</b>       | Estacionamientos - Aulas Lord Byron     |
| <b>ACTIVIDAD:</b>  | ACERO CORRUGADO EN ELEMENTOS VERTICALES |
| <b>FECHA/HORA:</b> | 26-sep                                  |

| TRABAJO PRODUCTIVO       | COD. |
|--------------------------|------|
| COLOCA ACERO             | 1    |
| TRABAJO CONTRIBUTORIO    | COD. |
| AMARRA ACERO             | 6    |
| TRASLADA MATERIAL        | 7    |
| COLOCARSE EPP            | 8    |
| TRABAJO NO CONTRIBUTORIO | COD. |
| NADA                     | 12   |
| CONVERSAR                | 13   |
| OBSERVAR                 | 14   |
| TRASLADARSE              | 15   |
| ESPERAR                  | 16   |
| DA / RECIBE INDICACIONES | 17   |



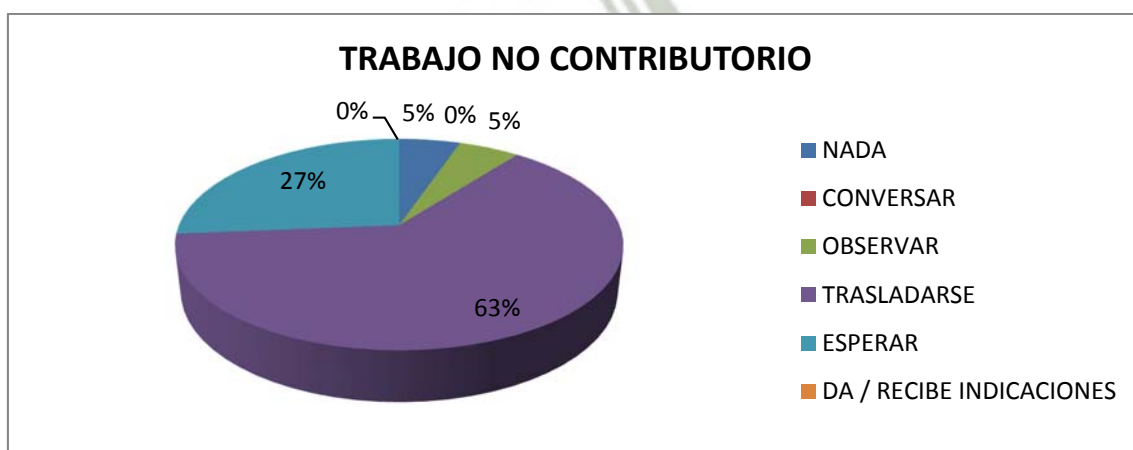
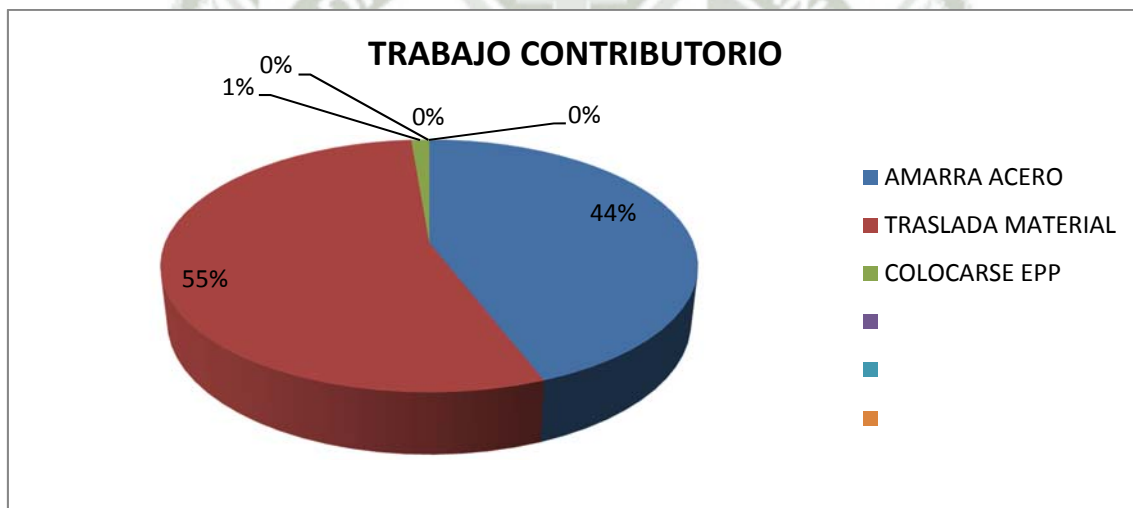
CUAD.1 : LEONARDO

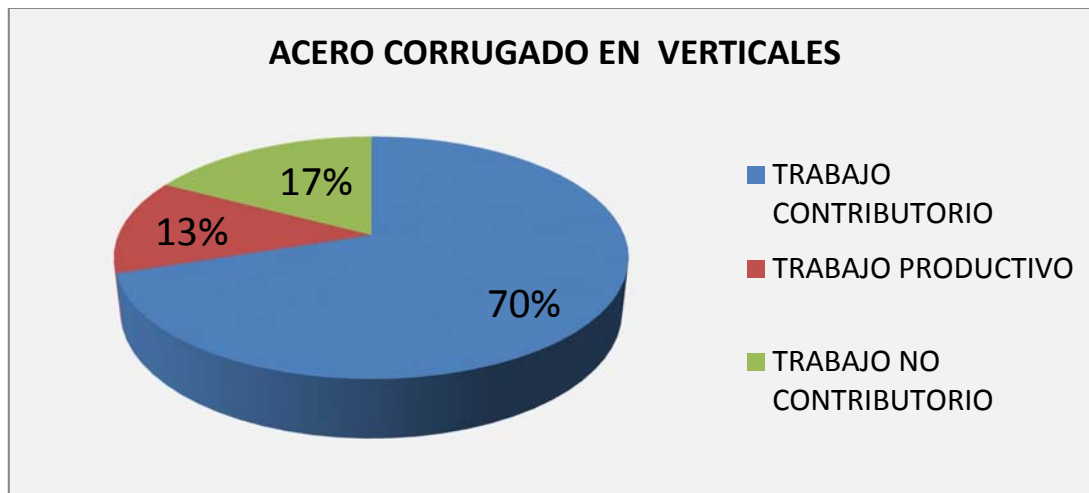
CUAD.1 : GREGORIO

CUAD.1 : JOSE LUIS

CUAD.2 : PERCY

CUAD.2 : GILMER





**EVALUACIÓN**

- ✓ El traslado de personal y de material se convierte en un punto importante por las pérdidas tipo MOVIMIENTO y TRANSPORTE que significan. Esto se va incrementando con la altura. En la primera etapa no se enfrentó esta dificultad y ahora se presenta con un buen porcentaje de incidencia.
- ✓ Se decidió utilizar el tiempo de 2 peones para que suban el acero desde el 1er piso hacia los pisos superiores para que los operarios y oficiales trabajen continuamente.
- ✓ La actividad es en su mayoría un trabajo contributorio; y según lo observado se debe a tener que realizar tantos amarres de acero tipo columna-estribo o viga-columna y al transporte de material.
- ✓ Una forma innovadora de disminuir esta incidencia sería utilizando mallas electro soldadas o disminuyendo el número de amarres.
- ✓

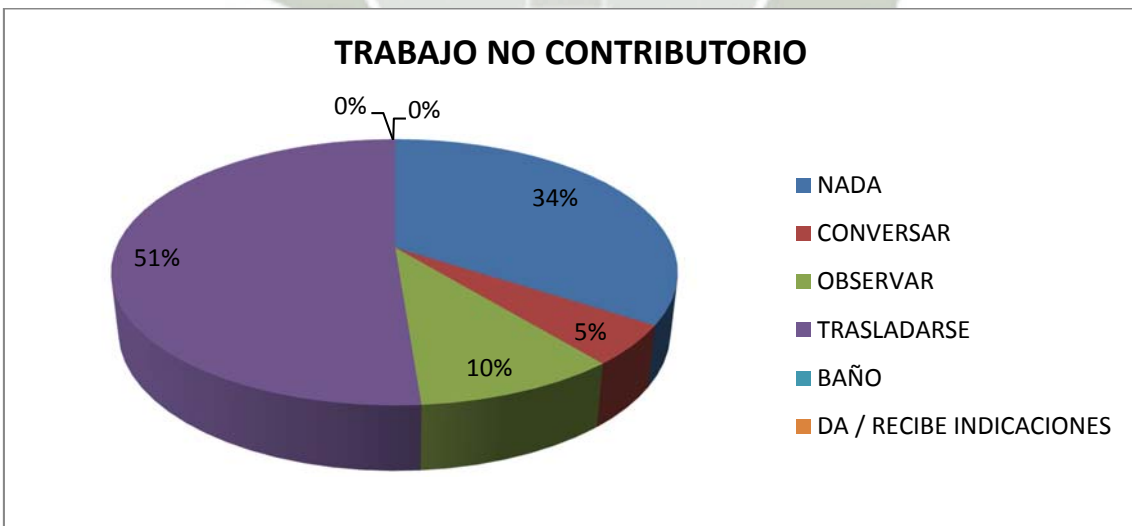
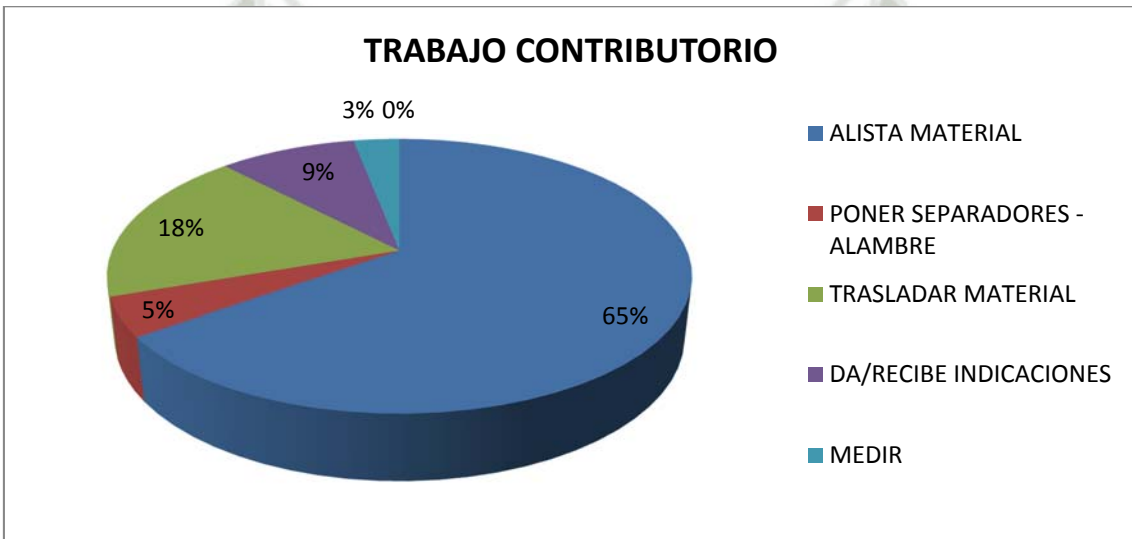
**PROCESO Nº2: ENCOFRADO DE ELEMENTOS VERTICALES**

|                    |   |
|--------------------|---|
| <b>EMPRESA:</b>    | Nueva Andina S.A.                                   |
| <b>OBRA:</b>       | Estacionamientos - Aulas Lord Byron                 |
| <b>ACTIVIDAD:</b>  | Encofrado de elementos Verticales Zona ZM1 edificio |
| <b>FECHA/HORA:</b> | 19-jun  |

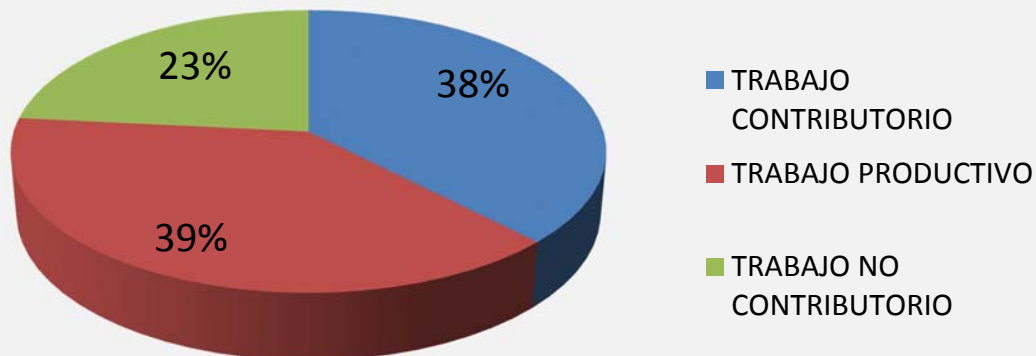
| TRABAJO PRODUCTIVO          | COD. |
|-----------------------------|------|
| COLOCA PLANCHAS             | 1    |
| COLOCAR ALINEADORES         | 2    |
| TRABAJO CONTRIBUTORIO       | COD. |
| ALISTA MATERIAL             | 6    |
| PONER SEPARADORES - ALAMBRE | 7    |

|                                |             |
|--------------------------------|-------------|
| TRASLADAR MATERIAL             | 8           |
| DA/RECIBE INDICACIONES         | 9           |
| MEDIR                          | 10          |
| APLICA DESMOLDANTE             | 11          |
| <b>TRABAJO NO CONTRIBUTIVO</b> | <b>COD.</b> |
| NADA                           | 12          |
| CONVERSAR                      | 13          |
| OBSERVAR                       | 14          |
| TRASLADARSE                    | 15          |
| BAÑO                           | 16          |
| DA / RECIBE INDICACIONES       | 17          |





### ENCOFRADO DE ELEMENTOS VERTICALES



#### EVALUACIÓN

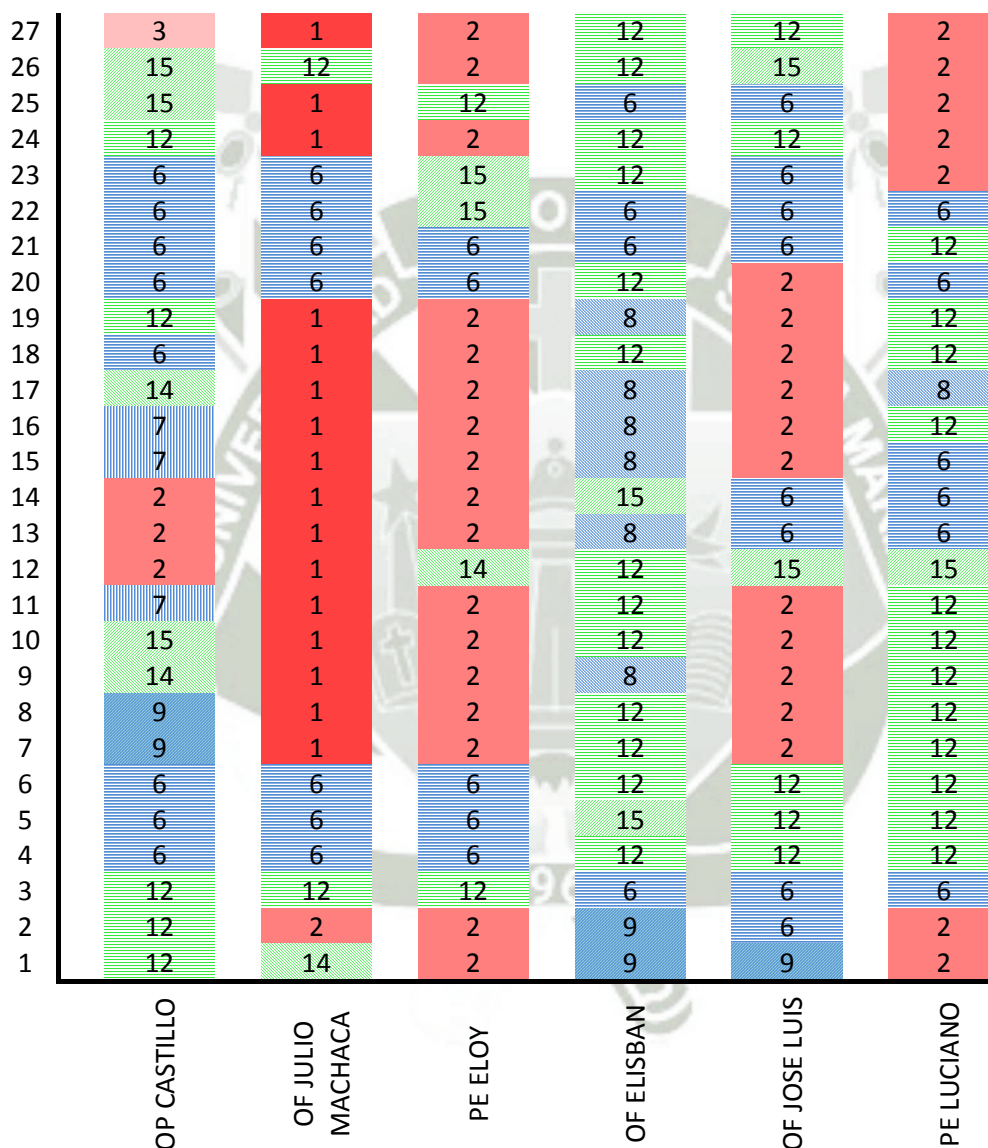
- ✓ El encofrado de elementos verticales en el edificio comenzó siendo una actividad diferente a la que se venía realizando.
- ✓ Las cuadrillas inicialmente estaban sobredimensionadas hasta que se elaboraron las Cartas Balance y se tomaron algunas decisiones.
- ✓ Se vio conveniente que se trabajen en pares, conformado por un operario u oficial y su ayudante debido a que al entender el proceso, se observa que el encofrado metálico es bastante sencillo, lo trabajoso es tener los materiales listos (limpios, sin rebabas, con desmoldante y separados por tipo).
- ✓ De este modo, si la columna era pequeña iba una cuadrilla integrada por esos dos elementos; si era una placa iban dos cuadrillas o cuatro personas y así se manejaba el avance con más exactitud.
- ✓ Entender y conocer el rendimiento real es fundamental para programar con precisión.

#### PROCESO Nº3: CONCRETO EN ELEMENTOS VERTICALES

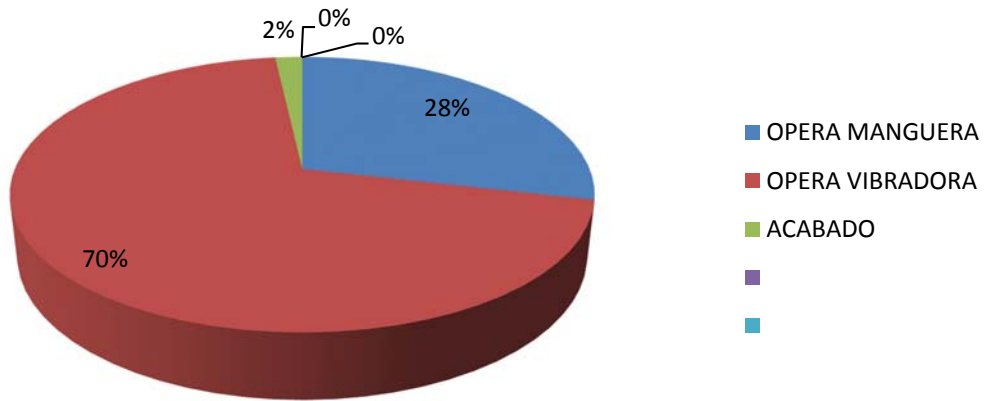
|                    |  |
|--------------------|--|
| <b>EMPRESA:</b>    | Nueva Andina S.A.                            |
| <b>OBRA:</b>       | Estacionamientos - Aulas Lord Byron          |
| <b>ACTIVIDAD:</b>  | CONCRETO PREMEZCLADO EN ELEMENTOS VERTICALES |
| <b>FECHA/HORA:</b> | 16-jul                                       |

|                              |             |
|------------------------------|-------------|
| <b>TRABAJO PRODUCTIVO</b>    | <b>COD.</b> |
| OPERA MANGUERA               | 1           |
| OPERA VIBRADORA              | 2           |
| ACABADO                      | 3           |
| <b>TRABAJO CONTRIBUTORIO</b> | <b>COD.</b> |
| AYUDA CON MANGUERA Y VIB     | 6           |

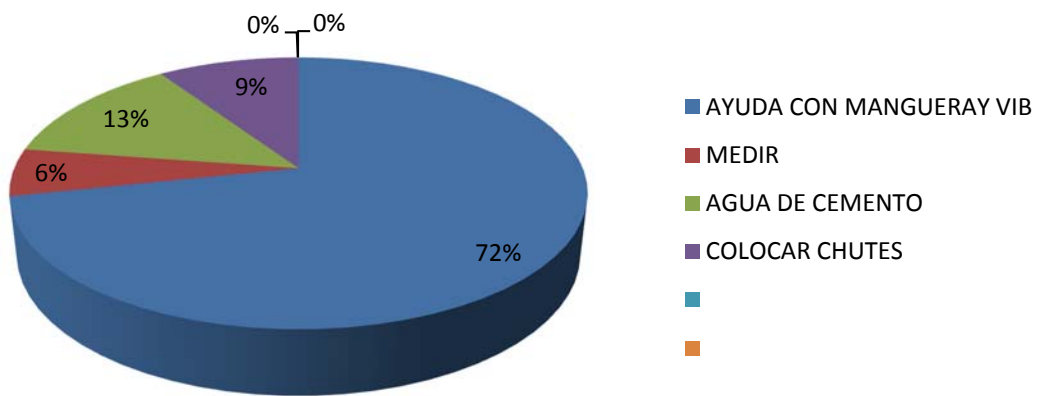
|                                |             |
|--------------------------------|-------------|
| MEDIR                          | 7           |
| AGUA DE CEMENTO                | 8           |
| COLOCAR CHUTES                 | 9           |
| <b>TRABAJO NO CONTRIBUTIVO</b> | <b>COD.</b> |
| NADA                           | 12          |
| CONVERSAR                      | 13          |
| OBSERVAR                       | 14          |
| TRASLADARSE                    | 15          |
| BAÑO                           | 16          |
| DA / RECIBE INDICACIONES       | 17          |



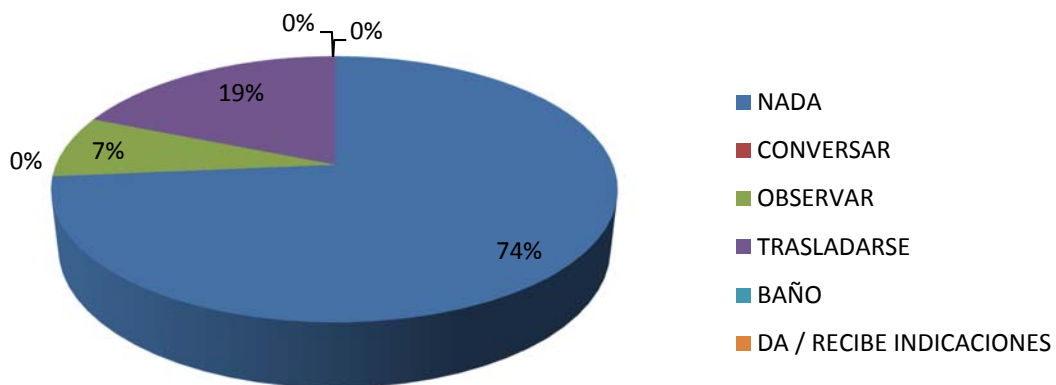
### TRABAJO PRODUCTIVO

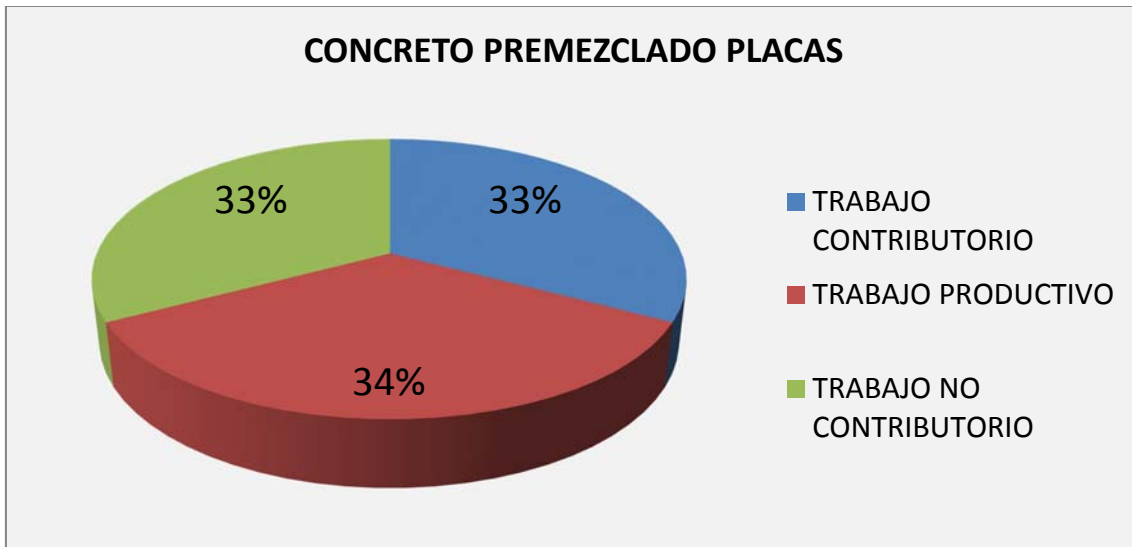


### TRABAJO CONTRIBUTORIO



### TRABAJO NO CONTRIBUTORIO





### EVALUACIÓN

- ✓ La actividad concreto premezclado implica de por sí una gran variabilidad que se debe manejar y controlar para evitar pérdidas muy grandes. El monopolio existente en la ciudad induce a una sobredemanda que tiene que ser atendida por la única concretera y esto significa que puede fallar y demorar más de lo normal el transporte del premezclado e incluso no cumplir con asistir al vaciado. ANEXO N°03
- ✓ Utilizar concreto premezclado con bomba estacionaria para el vaciado de elementos verticales pequeños representa un trabajo poco productivo debido a que trasladar la manguera o la tubería implica un gasto considerable de mano de obra y tiempo. Esto se confirmará en el análisis de ratios.
- ✓ Por estas razones es que el trabajo no contributivo tiene tanta incidencia en esta actividad; básicamente al tener esperas en el flujo equivalentes al tiempo en que tardan en llegar los mixers a obra. Se pueden llegar incluso a pagar horas extras al personal debido al retraso prolongado de los camiones concreteros lo que representa una pérdida.
- ✓ Es necesario analizar la cuadrilla para los vaciados tratando de que sea lo mejor posible. De este modo la productividad se incrementará al producir más, con tecnología y menos recursos.

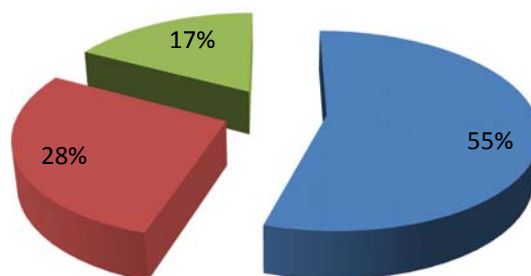
#### **5.4.12 PRUEBA DE LOS 5 MINUTOS**

Esta sencilla prueba se aplicó a lo largo de la segunda etapa. Aunque los resultados no son del todo confiables por la muestra tan disminuida, de todas formas es un punto de comparación y de desempeño.

Los resultados en esta etapa fueron los siguientes:

### PRUEBA DE LOS 5 MINUTOS

■ TIEMPO PRODUCTIVO ■ TIEMPO CONTRIBUTORIO ■ TIEMPO NO CONTRIBUTORIO



En el capítulo final se podrán analizar y comparar los resultados para verificar la mejora continua.

## **PASO 4: RETROALIMENTACIÓN**

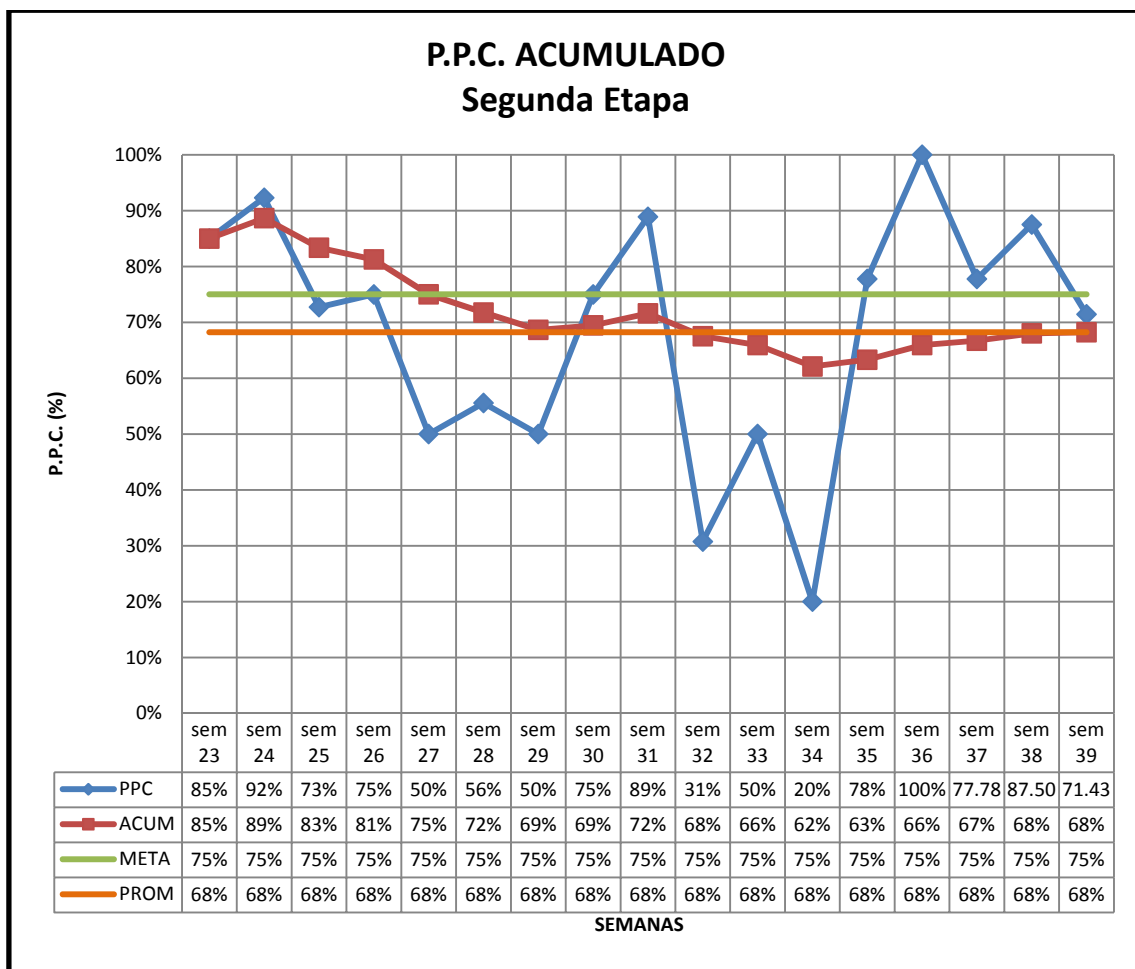
### **5.4.13 PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO**

El análisis del cumplimiento del plan semanal conlleva a obtener valores de PPC. Estos datos se han acumulado en esta segunda etapa y los resultados finales son los siguientes:

|        | DÍA        | PPC    | ACUM | PROM | META |
|--------|------------|--------|------|------|------|
| sem 23 | 10/06/2013 | 85%    | 85%  | 68%  | 75%  |
| sem 24 | 17/06/2013 | 92%    | 89%  | 68%  | 75%  |
| sem 25 | 24/06/2013 | 73%    | 83%  | 68%  | 75%  |
| sem 26 | 01/07/2013 | 75%    | 81%  | 68%  | 75%  |
| sem 27 | 08/07/2013 | 50%    | 75%  | 68%  | 75%  |
| sem 28 | 15/07/2013 | 56%    | 72%  | 68%  | 75%  |
| sem 29 | 22/07/2013 | 50%    | 69%  | 68%  | 75%  |
| sem 30 | 29/07/2013 | 75%    | 69%  | 68%  | 75%  |
| sem 31 | 05/08/2013 | 89%    | 72%  | 68%  | 75%  |
| sem 32 | 12/08/2013 | 31%    | 68%  | 68%  | 75%  |
| sem 33 | 19/08/2013 | 50%    | 66%  | 68%  | 75%  |
| sem 34 | 26/08/2013 | 20%    | 62%  | 68%  | 75%  |
| sem 35 | 02/09/2013 | 78%    | 63%  | 68%  | 75%  |
| sem 36 | 09/09/2013 | 100%   | 66%  | 68%  | 75%  |
| sem 37 | 16/09/2013 | 77.78% | 67%  | 68%  | 75%  |
| sem 38 | 23/09/2013 | 87.50% | 68%  | 68%  | 75%  |
| sem 39 | 30/09/2013 | 71.43% | 68%  | 68%  | 75%  |

Tabla 15: Resumen de PPC. Edificio. Fuente: Propia

Decidimos tener como meta un 75% de Porcentaje de Plan Cumplido considerando las mejoras en el flujo y en control de la variabilidad, sin embargo por dos semanas en los que no se pudo controlar la VARIABILIDAD por efectos de la CONCRETERA, la meta no pudo ser alcanzada.



El registro gráfico muestra datos que deben ser analizados y explicados:

- Se debe recordar que las partidas a considerar en la investigación son concreto, acero y encofrado.
- El gráfico muestra picos muy altos que llegan incluso al 100% de cumplimiento del Plan.
- Se aprecian Picos muy bajos que corresponden por ejemplo a la semana 34 en la que se había programado un vaciado de concreto premezclado y la concretera falló. Es importante recordad que este cambio brusco en el Plan no significó una pérdida considerable debido a los Lotes de Transferencia pequeños o el uso de Buffers que se vieron anteriormente.
- Otro pico que se debe mencionar es entre las semanas 27 y 29, donde el colegio tenía la fiesta familiar y requirió el primer piso del edificio para poder llevar a cabo sus actividades. Como se contaba con la sectorización, se programó para trabajar la zona Aligerada para esas fechas y poder ayudar al cliente con su pedido.

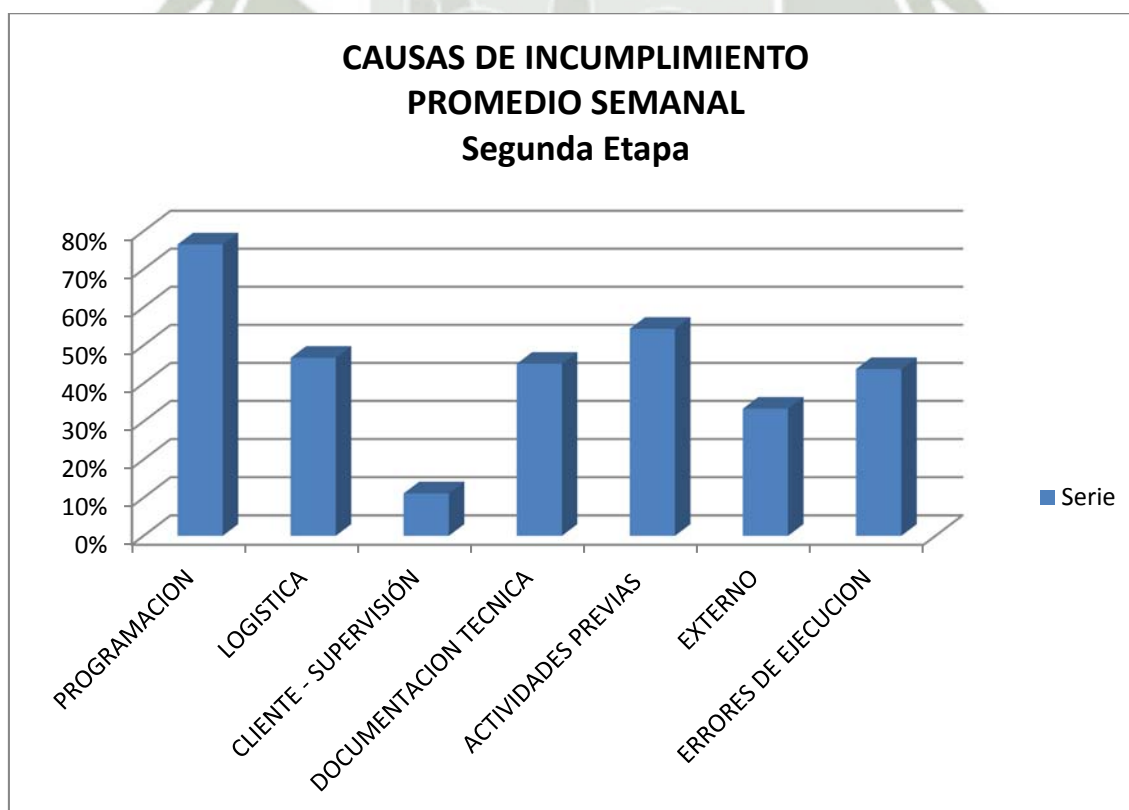


Finalmente, si bien es cierto la gráfica tiene una tendencia negativa, no significa que no hubo una mejora muy importante en comparación con la primera etapa. Este análisis se llevará a cabo en el último capítulo.

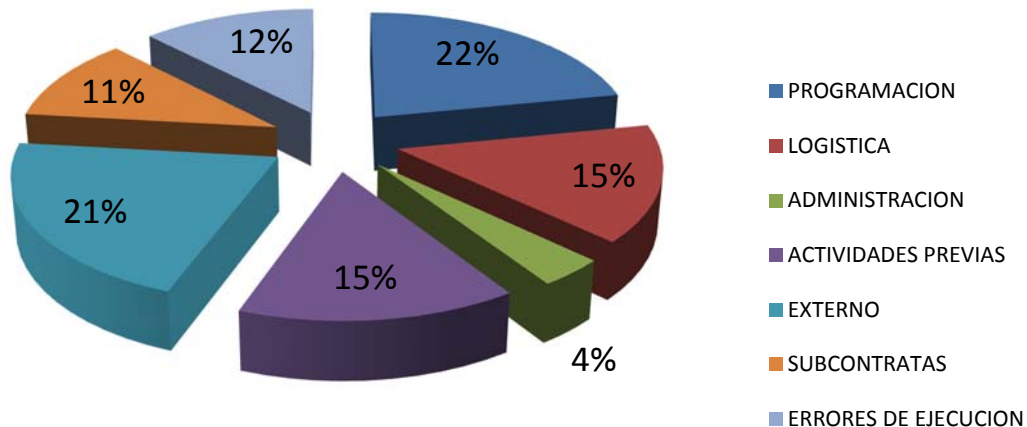
#### 5.4.14 CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO

Analizar las causas de incumplimiento del PPC y tomar medidas correctivas es la parte más importante de esta metodología porque conlleva al *Kaizen*. Además como sugiere la Teoría de Restricciones, primero se deben IDENTIFICAR las restricciones, luego decidir cómo EXPLOTARLAS, SUBORDINAR todo lo demás a esta decisión, SUPERAR la restricción y finalmente RETROALIMENTAR.

En esta segunda etapa se pudo identificar las siguientes causas:



### CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO CAUSAS COMUNES Segunda Etapa



La explicación de las causas continúa siendo la misma que en la primera etapa; las nuevas se explican a continuación:

- Los ERRORES DE EJECUCIÓN fueron una causa importante de retrasos. Por ejemplo, más de una columna fue demolida por la presencia de cangrejas. Se analizó este problema y se definió personal encargado de la vibración al que se le dieron algunos alcances técnicos para evitar la reincidencia. Además se les explicó a todos lo que este problema ocasiona y tomaron conciencia del asunto. No era raro verlos detenerse por su propia cuenta para solicitar y esperar una buena vibración.
- Los SUBCONTRATOS que fallaron no fueron hechos directamente con la empresa sino con el cliente; por ejemplo el encargado de colocar los postes y la malla Raschel no plantaba los postes metálicos y por lo tanto detenía el relleno de zanjas. Ante esta situación se solicitaron reuniones de coordinación para definir el trabajo con mayor precisión.

De este modo se toman medidas a tiempo para evitar la reincidencia en el mismo error que a la larga produce pérdidas y paras en el flujo.



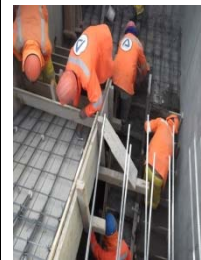
#### 5.4.15 LECCIONES APRENDIDAS



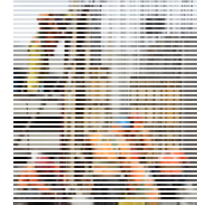
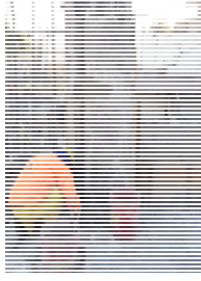

Cuando las tareas son repetitivas como en el edificio, es común que se produzcan errores en la etapa inicial y que si no se detectan y crean políticas adecuadas, pueden seguir repitiéndose. Tal vez no afecten directamente al flujo pero si reducen la calidad del producto terminado o representarán costos por trabajos re-hechos.

El éxito del trabajo es evitar los errores se vuelvan reincidentes. Dado que la memoria es frágil y que el ser humano solo capta el 50% de lo que ve y escucha, se siguen recomienda siempre utilizar el formato de lecciones aprendidas.

A pesar de las mejoras en la primera etapa, en esta segunda se tuvo que seguir utilizando:

**AULAS**  
**COLEGIO LORD BYRON**

| <b><u>LECCIONES APRENDIDAS</u></b> |              |   |  |   |   |
|------------------------------------|--------------|---|--|---|---|
| <b>PARTIDA</b>                     | <b>FECHA</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>  | <b>MEDIDAS CORRECTIVAS</b>   | <b>RECOMENDACIÓN</b>  | <b>PANEL FOTOGRÁFICO</b>  |
| CONCRETO<br>LOSA<br>MACIZA         | 29-<br>jun   | Se deja para última hora la limpieza de losa y vigas del tercio anterior. | Limpiar con 1 día de anticipación.   | Evitar ensuciar porque la limpieza es complicada.                       |   |
| CONCRETO<br>LOSA<br>MACIZA         | 29-<br>jun   | Faltó concreto para el vaciado de losa maciza.                            | Considerar que la losa aligerada consume más concreto. Pedir más volumen y tener un buffer de capacidad. | 15% más para la zona aligerada por la presencia de la batería de baños. |  |
| ESCALERAS                          | 15-jul       | No se descontó acabados en escaleras                                      | Indicar con claridad que el trazo es el acabado  | Verificación constante  |  |

|                                      |               |   |   |   |   |
|--------------------------------------|---------------|---|---|---|---|
| <p>INSTALACIONES<br/>SANITARIAS</p>  | <p>julio</p>  | <p>Instalaciones sanitarias en techos deben ser realizadas un día antes del vaciado y no el mismo día</p> | <p>Preparar las baterías de baños para solo armarlas en el techo.</p>   | <p>Hacer pruebas hidráulicas, tuberías en ductos del ladrillo.</p>  |    |
| <p>ENCOFRADO METÁLICO</p>            | <p>julio</p>  | <p>Los puntales EFCO tienen una medida para la separación horizontal del elemento a encofrar.</p>         | <p>Revisar planos y Usar Receptor de Puntal</p>   | <p>Dejar pernos para anclaje de "zapatos"</p>   |    |
| <p>CONCRETO ELEMENTOS VERTICALES</p> | <p>agosto</p> | <p>Elementos verticales desaplomados y desalineados.</p>  | <p>Verificar aplomo y alineamiento de encofrados inmediatamente después del vaciado de concreto.</p>                          | <p>Tener un personal encargado de esta labor.</p>   |   |
| <p>CONCRETO ELEMENTOS VERTICALES</p> | <p>agosto</p> | <p>Presencia de cangrejeras en elementos verticales</p>   | <p>Buena Vibración, controlar el slump de la mezcla en función del acero, verificar recubrimientos mínimos, usar SikaRep.</p> | <p>Si apareció y es controlable, usar SiKaRep.</p>  |  |
| <p>CONCRETO VIGAS</p>                | <p>julio</p>  | <p>Presencia de cangrejeras en vigas de 0.20x 1.80</p>  | <p>Comparar espaciamientos del acero.</p>   | <p>Realizar prueba en campo y recién definir. Se cambió 1 varilla de 3/4" por 2 de 5/8" para que el concreto pueda tener más espacio por donde pasar.</p> |  |

|           |       |                                 |                                       |   |  |
|-----------|-------|---------------------------------|---------------------------------------|---|--|
| SEGURIDAD | junio | Mejorar la Seguridad en la Obra | Formato para el control de Seguridad. | Diseñar un formato calidad y seguridad.   |  |
| CALIDAD   | junio | Mala transmisión de ideas       | Utilizar medios de comunicación.      | Para comunicación oral, uso del walkie&talkie. Para comunicación escrita, diseñar un formato. |  |

#### 5.4.16 RATIOS DE PRODUCTIVIDAD

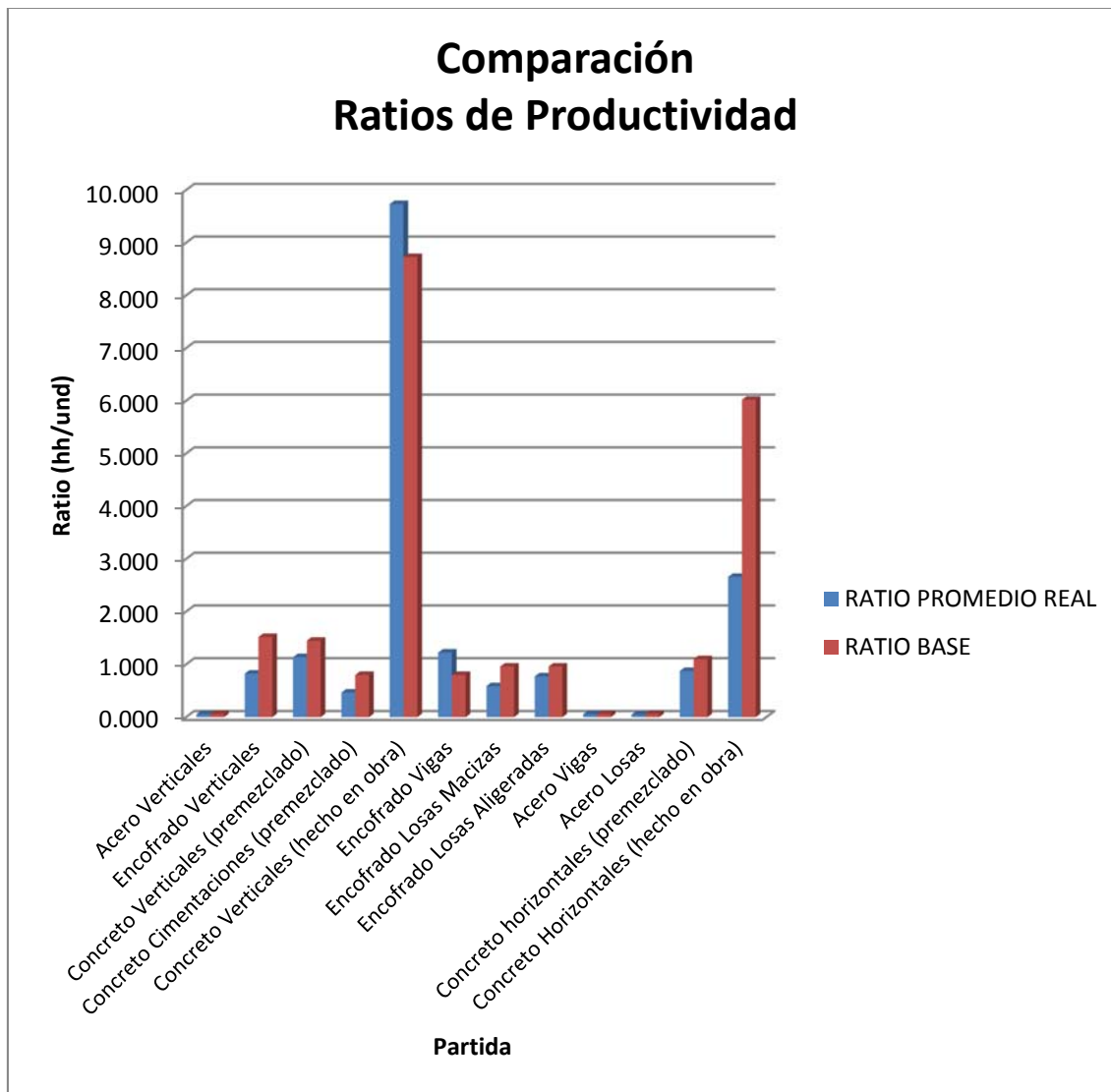
Como se mencionó, el control permanente de los ratios es una herramienta importantísima para definir si el proyecto está siendo productivo o no, al poder comparar el consumo de recursos por unidad real versus lo presupuestado.

En este capítulo se muestran los ratios obtenidos en campo durante toda la etapa de la construcción del edificio de las partidas con mayor incidencia y objetivo de esta investigación. Los datos están separados primero por cada nivel y se ha tomado el promedio de éstos para englobarlo en una hoja resumen que contiene los ratios promedio por piso. Se ha comparado cada promedio con el Ratio Base del presupuesto elaborado, obteniendo un porcentaje de variación con respecto a éstos. Finalmente se ha tomado el promedio de la variación para definir en qué medida el proyecto ha sido más productivo de lo esperado.

Con esta información se logra validar la hipótesis del trabajo:

| Partida                               | Unidad            | Ratio (hh/ ) |           |           |           |           | RATIO PROMEDIO REAL | RATIO BASE | Δ    |
|---------------------------------------|-------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------|------------|------|
|                                       |                   | Sótano       | 1er Nivel | 2do Nivel | 3er Nivel | 4to Nivel |                     |            |      |
| Acero Verticales                      | hh/kgf            | 0.045        | 0.044     | 0.045     | 0.070     | 0.072     | 0.055               | 0.060      | 9%   |
| Encofrado Verticales                  | hh/m <sup>2</sup> | 0.72         | 0.70      | 0.82      | 0.91      | 0.98      | 0.83                | 1.52       | 84%  |
| Concreto Verticales (premezclado)     | hh/m <sup>3</sup> | 0.78         | 1.80      | 1.56      | 0.69      | 0.86      | 1.14                | 1.45       | 27%  |
| Concreto Cimentaciones (premezclado)  | hh/m <sup>3</sup> | 0.47         | -         | -         | -         | -         | 0.47                | 0.80       | 71%  |
| Concreto Verticales (hecho en obra)   | hh/m <sup>3</sup> | -            | 14.12     | -         | 3.70      | 11.39     | 9.74                | 8.73       | -10% |
| Encofrado Vigas                       | hh/m <sup>2</sup> | 2.19         | 0.86      | 0.95      | 0.81      | 1.31      | 1.22                | 0.80       | -35% |
| Encofrado Losas Macizas               | hh/m <sup>2</sup> | 0.78         | 0.40      | 0.50      | 0.72      | 0.55      | 0.59                | 0.96       | 63%  |
| Encofrado Losas Aligeradas            | hh/m <sup>2</sup> | 0.98         | 1.03      | 0.61      | 0.61      | 0.64      | 0.77                | 0.96       | 24%  |
| Acero Vigas                           | hh/kgf            | 0.043        | 0.070     | 0.051     | 0.051     | 0.062     | 0.055               | 0.060      | 8%   |
| Acero Losas                           | hh/kgf            | 0.067        | 0.042     | 0.045     | 0.043     | 0.041     | 0.048               | 0.060      | 26%  |
| Concreto horizontales (premezclado)   | hh/m <sup>3</sup> | 0.35         | 1.37      | 1.69      | 0.38      | 0.60      | 0.88                | 1.10       | 25%  |
| Concreto Horizontales (hecho en obra) | hh/m <sup>3</sup> | -            | -         | 2.66      | -         | -         | 2.66                | 6.02       | 126% |

Representando la información en un gráfico:



Como se puede observar, la mayoría de actividades se han realizado consumiendo una menor cantidad de recursos que los presupuestados, lo que significa una mayor productividad.

Al promediar las variaciones del ratio real promedio con respecto al ratio base, el resultado es el siguiente:

|                      |            |
|----------------------|------------|
| <b>PRODUCTIVIDAD</b> | <b>35%</b> |
|----------------------|------------|

Con este resultado se puede demostrar que al mejorar los procesos, impedir que los flujos paren y haciendo los flujos eficientes, la productividad de la obra resulta siendo un 35% mejor de lo que se esperaba. La empresa produjo más metros cuadrados, metros cúbicos y kilogramos con menos uso de mano de obra; las pérdidas en el proceso pudieron ser controladas con efectividad: la empresa ahorró un 35% de lo que planeaba gastar en mano de obra.

#### 5.4.17 MANUAL DE PROCESOS

El aporte final de este trabajo de investigación es la elaboración de un pequeño manual de Procesos para la implementación del Last Planner en Lean Construction. Un manual es una de las mejores herramientas para administrar una organización. Sirven para transmitir completa y efectivamente los conocimientos, experiencias y cultura organizacional a todo el personal nuevo ingreso y al promovido a un nuevo puesto.

Documentar la experiencia acumulada por la empresa le permite crear su propio know-how y de este modo seguir con la mejora continua esperada.

Este manual en una primera parte explica la política empleada para la implementación de Lean Construction, pero básicamente el correcto uso de los formatos o herramientas empleadas, para que se pueda tomar esta información como punto de inicio en la búsqueda del cambio de filosofía.

Se adjunta en el ANEXO N° 10.





## CAPÍTULO 6: EVALUACIÓN

## **6.1 EVALUACIÓN CUALITATIVA**

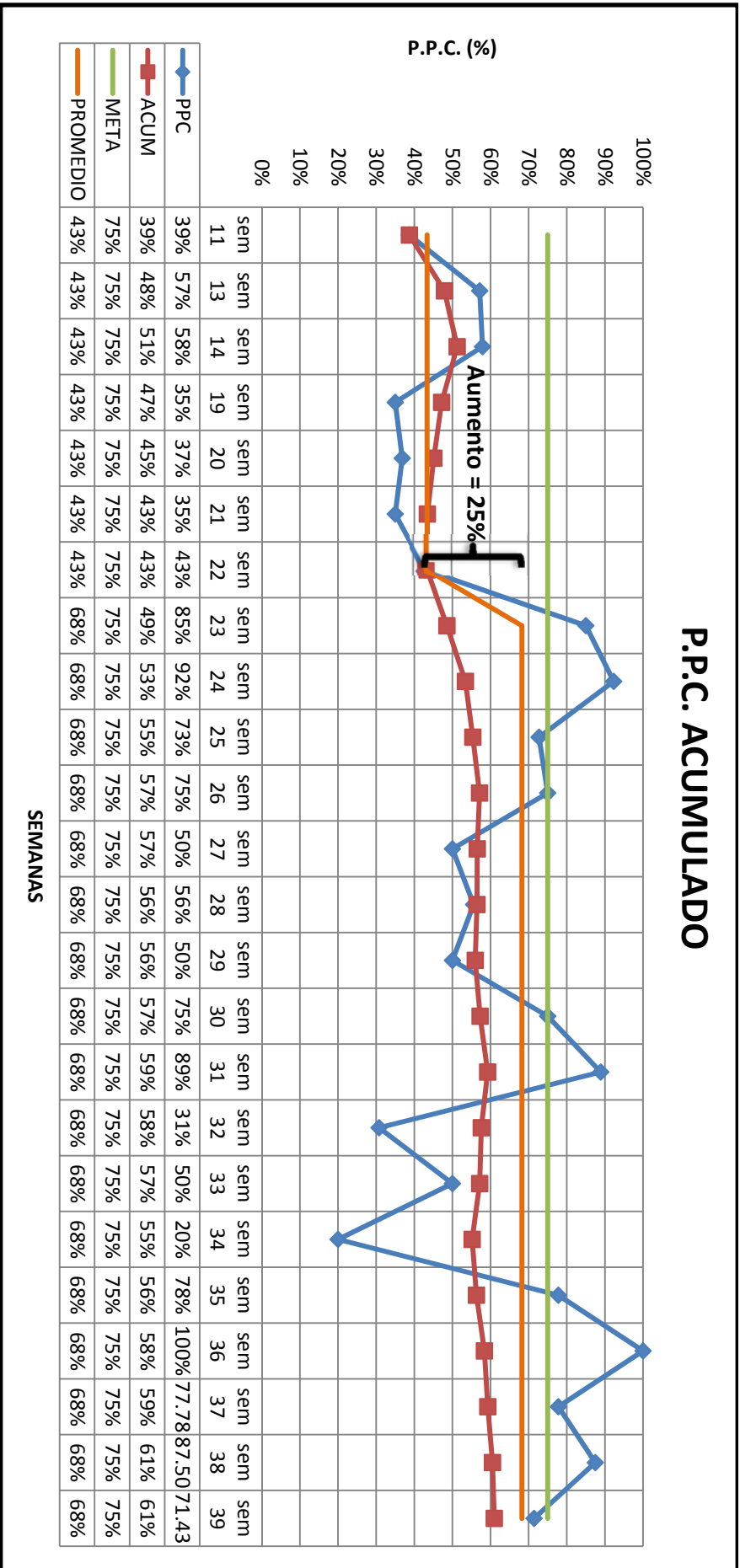
### **6.1.1 FILOSOFÍA**

- El conocimiento y comprensión de los principios Lean es el primer paso para conseguir la implementación de la filosofía, entender que se deben reducir las actividades que no agregan valor y que se debe incrementar el valor del producto inician el cambio. Lo que satisface al cliente es lo que agrega valor, por ello todo debe centrarse primero en el valor. Reducir la variabilidad, el tiempo de los ciclos, simplificar mediante la reducción del número de pasos y partes como formas de optimizar y lograr flujos y procesos continuos y eficientes; aumentar la flexibilidad de salida, incrementar la transparencia de los procesos, enfocarse en los procesos globales o completos como una forma de crear cultura, valor y mejoras y finalmente, el benchmarking, el balance de los flujos y conversiones y la introducción de la mejora continua como pilares de la filosofía permiten una correcta implementación y desarrollo de cultura.
- Reconocer que existen pérdidas y clasificarlas como trabajos productivos, contributorios y no contributorios permiten desarrollar un trabajo colaborativo entre los encargados para eliminarlas o minimizarlas y para controlar su impacto dentro del sistema de conversión. Además tener conocimiento de los 7 tipos de desperdicios: sobreproducción, trabajos re-hechos, movimientos innecesarios, transportes innecesarios, sobre-procesamiento, inventarios y esperas ayudan a identificarlas en el momento exacto de su ocurrencia en campo. Al ver que se desarrollan alguna de estas actividades fuentes de pérdidas, la reacción es inmediata y se buscan las causas para corregirlas y optimizar los procesos donde aparecen.
- Conocer las necesidades del cliente para determinar qué es lo que agrega valor al producto es básico para Lean Construction; diferenciar entre valor y no valor debe ser una práctica común y la primera pregunta que se debe hacer al comienzo, durante y al final de una actividad. El valor lo define el cliente y lo genera el productor.

### **6.1.2 TECNOLOGÍA**

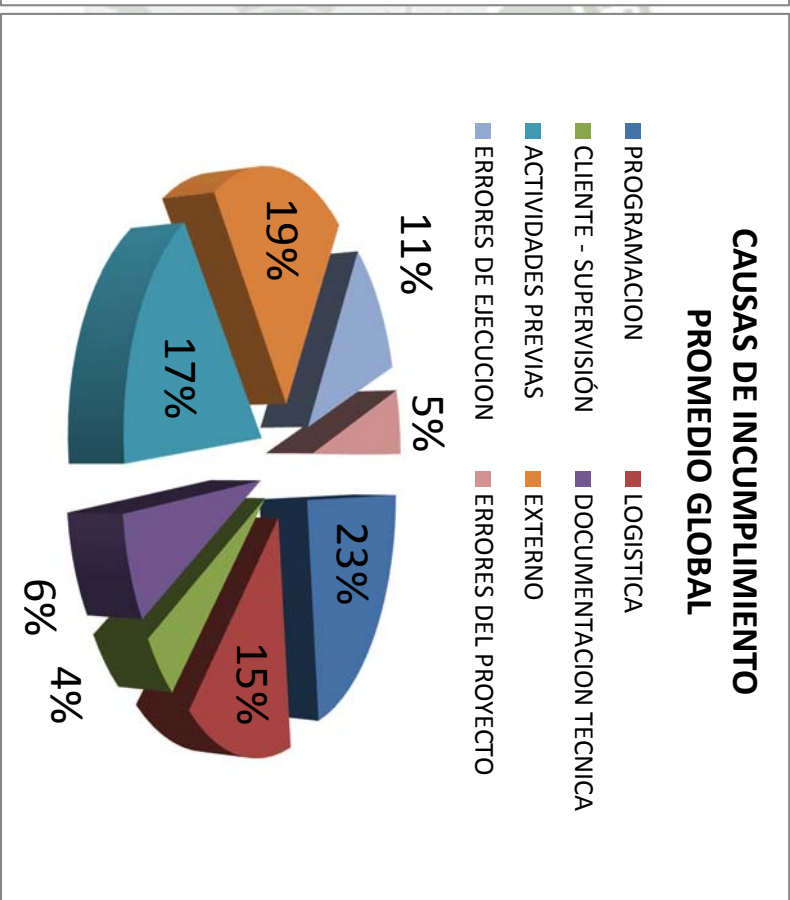
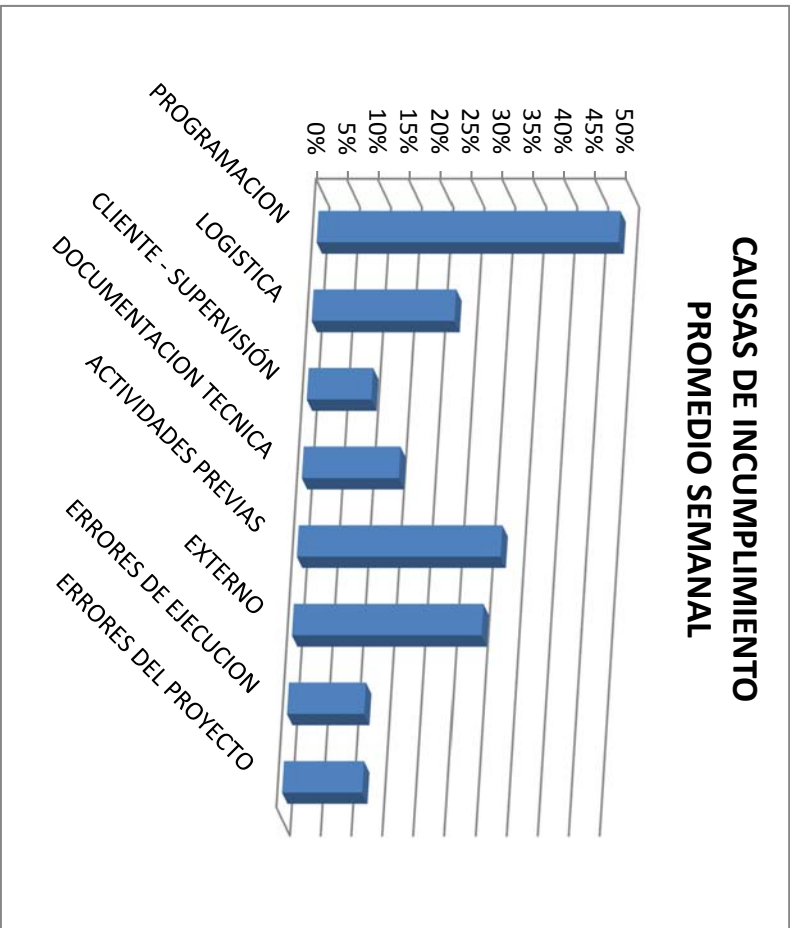
- La herramienta principal de Lean es el Last Planner System; implementarla físicamente no es complicado pues no requiere de materiales costosos ni espacios amplios, la dificultad se centra en asumir el compromiso de tiempo y colaboración que conlleva realizar las reuniones semanalmente para elaborar el Lookahead, analizar las restricciones en función de los 7 flujos, elaborar el plan semanal, evaluar el Porcentaje de plan cumplido y las causas de incumplimiento para finalmente fomentar la mejora continua. Se requiere de un trabajo consciente y constante para generar correctamente todas las etapas del LPS, en este caso, se tuvieron dificultades y recomendaciones que han sido evaluadas en cada formato adjunto en el Manual de Procesos. Una mejor puesta en práctica se dio en el ANEXO N°11 referido al uso del LPS en el vaciado de concreto de la losa del estacionamiento; donde al poner cada responsable en la pizarra y tenerla con su nombre claro, la liberación de las restricciones fue hecha justo a tiempo en el último momento responsable.

Los resultados globales del análisis del Porcentaje de Plan Cumplido del proyecto son las siguientes:



Se puede apreciar un incremento del 25% del P.P.C. desde el Estacionamiento hasta las Aulas, representado en un incremento del 35% de Productividad. Al tener un promedio de 68% se mejoró notablemente el cumplimiento de los planes. Se busca la mejora continua.

Las Causas de Incumplimiento del proyecto se resumen en las siguientes:



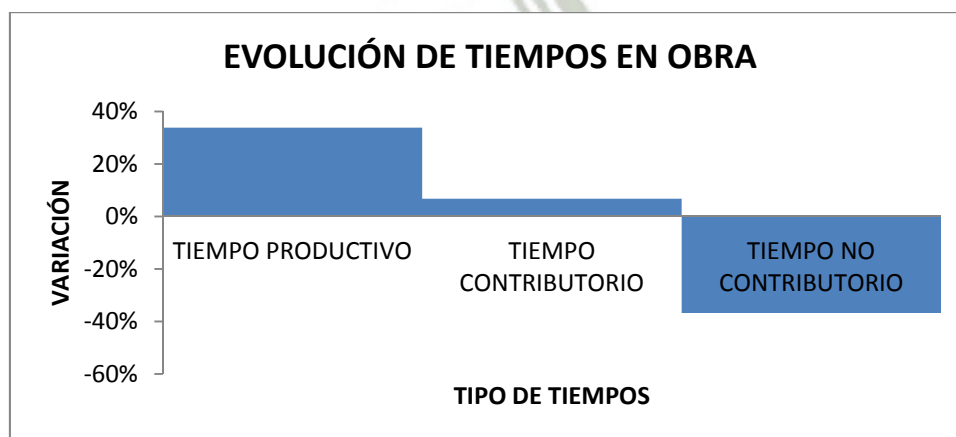
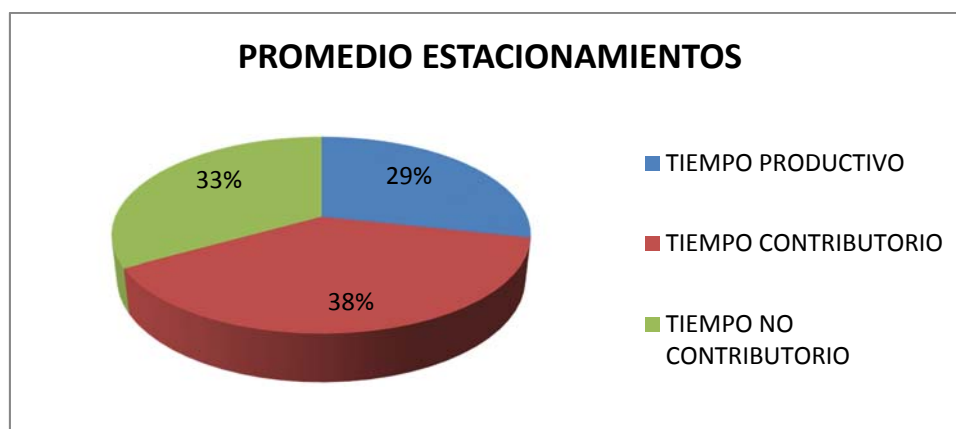
En promedio semanalmente, las causas de incumplimiento repetitivas comenzando por errores de programación, actividades previas y factores externos contra los que se tuvo que enfrentar.

En el acumulado, la programación como causa de incumplimiento se presentó un 23% de las veces, los factores externos un 19%, las actividades previas un 17% y la logística un 15%. Los demás factores se encuentran por debajo del 11%.

- El uso del Just In Time fue muy importante en esta obra debido a las condiciones de espacio mostradas. Los materiales solo debían entrar en la cantidad y el momento adecuado para no generar inventarios que ocupen el ya reducido espacio de trabajo o tener que generar posteriores transportes innecesarios. Una relación de cumplimiento, confianza y garantía con los proveedores es fundamental para conseguir que los materiales lleguen justo a tiempo.  
Sin embargo no se trata solo de materiales, sino del cumplimiento de actividades: El sistema jalar implica que las actividades posteriores jalen a las predecesoras para no generar inventario de por ejemplo elementos verticales por encofrar, de tal modo que el armado de acero debe hacerse en el último momento responsable para que el encofrado “jale” el producto y lo procese. Esto se logró en obra teniendo la cantidad de personal adecuado, con la sectorización y los trenes de trabajo, el abastecimiento adecuado de materiales, en resumen: garantizando un flujo continuo y un sistema pull.
- La principal herramienta adoptada por la empresa fue el Kaizen o mejora continua: se entendió que el esfuerzo para reducir los desperdicios e incrementar el valor del producto a través de una actividad interna, creciente y repetitiva puede y debe llevarse a cabo continuamente. Existía una preocupación permanente por reducir las pérdidas cada vez que eran identificadas pero sobretodo de optimizar los procesos con el uso de innovaciones tecnológicas o mejorando los procesos. Todo esto se adaptó al sistema de mediciones con cartas balance o nivel general de actividad para demostrar con números que habían oportunidades de mejora.
- Se presentan a continuación la comparación entre los resultados de tiempos productivos, contributorios y no contributorios identificados en la primera y segunda etapa de la investigación y la variación obtenida tras la mejora continua:

|   | TIEMPO PRODUCTIVO | TIEMPO CONTRIBUTORIO | TIEMPO NO CONTRIBUTORIO |
|---|-------------------|----------------------|-------------------------|
| <b><u>ESTACIONAMIENTOS</u></b>                  |                   |                      |                         |
| NIVEL GENERAL DE ACTIVIDAD ESTACIONAMIENTOS     | 35                | 44                   | 21                      |
| ENCOFRADO DE LOSAS MACIZAS ESTACIONAMIENTOS     | 18                | 58                   | 24                      |
| COLOCACIÓN ACERO LOSAS MACIZAS ESTACIONAMIENTOS | 41                | 18                   | 41                      |
| CONCRETO PREMEZCLADO ESTACIONAMIENTOS           | 15                | 36                   | 49                      |
| PRUEBA DE LOS 5 MINUTOS ESTACIONAMIENTOS        | 33                | 36                   | 31                      |
|   |                   |                      |                         |
| <b>PROMEDIO ESTACIONAMIENTOS</b>                | <b>28</b>         | <b>38</b>            | <b>33</b>               |
| <b><u>AULAS</u></b>                             |                   |                      |                         |
| NIVEL GENERAL DE ACTIVIDAD AULAS                | 49                | 36                   | 15                      |
| ACERO CORRUGADO EN VERTICALES AULAS             | 13                | 70                   | 17                      |
| ENCOFRADO DE ELEMENTOS VERTICALES AULAS         | 39                | 38                   | 23                      |

|  |            |           |             |
|--|------------|-----------|-------------|
| CONCRETO PREMEZCLADO VERTICALES AULAS                    | 34         | 33        | 33          |
| PRUEBA DE LOS 5 MINUTOS AULAS                            | 55         | 28        | 17          |
| <b>PROMEDIO AULAS</b>                                    | <b>38</b>  | <b>41</b> | <b>21</b>   |
| <b>DIFERENCIA ENTRE TIEMPOS ESTACIONAMIENTOS - AULAS</b> | <b>34%</b> | <b>7%</b> | <b>-37%</b> |



- Los gráficos representan la evolución de los tiempos a medida que mejoraba la implementación de Lean en el proyecto. Se puede apreciar que el trabajo productivo se incrementó en un 34%, el trabajo contributivo se incrementó en un 7% y el trabajo no contributivo disminuyó un 37%. Estos datos son muy importantes porque están directamente relacionados con la mejora en la productividad determinada en las aulas del 35% y el ahorro de dinero para la empresa.
- El intento de utilizar el modelamiento de la información con sistema BIM usando ARCHICAD fue una herramienta tecnológica muy interesante e innovadora; a pesar de no proporcionar toda la información que BIM implica, la construcción del modelo virtual constituye una primera construcción del proyecto, donde ya se ven incompatibilidades y problemas, se toman las medidas y se llevan al campo para construir el proyecto por segunda vez, reduciendo la variabilidad al máximo. Como se mostró, el simple modelamiento de elementos estructurales, arquitectónicos y de instalaciones permitió reducir las probabilidades de errores y pérdidas por trabajos re- hechos principalmente.
- El uso de la sectorización, trenes de trabajo, reducción de lotes de transferencia, y el sistema jalar fueron son muy valiosas para conseguir una de las principales metas del proyecto: cumplimiento Just In Time e incluso antes del Plazo. El disminuir el tamaño del lote a sectores cada vez más pequeños, jalar los productos de uno a otro con trenes de trabajo y flujos balanceados es la clave del éxito de Lean, al permitir avances increíblemente veloces sin descuidar la calidad, la seguridad y el costo del proyecto.

### 6.1.3 CULTURA

- Lean tiene que ver con un sistema de creencias, cambiar las creencias es lo más complicado de la implementación. Las personas están adaptadas al sistema tradicional donde la jerarquía y verticalidad es común, planear en un escritorio y pensar que eso es lo que se va a hacer es un error. Se debe empoderar al personal, mejorar la comunicación haciéndola más flexible y horizontal, crear un ambiente de confianza y respeto, transparencia en todo momento, y todas las características vistas anteriormente.
- Al evaluar el nivel cultural de la implementación, se puede decir que no se pudieron cambiar todas las creencias en cuanto al trabajo de soporte que requiere el Last Planner (resultaba tedioso reunirse a llenar los formatos en la oficina), pero sin embargo sí se generó un cambio importante al crear un trabajo colaborativo de planificación, donde el ingeniero residente baja al terreno, observa, analiza, pregunta, escucha y después recién gestiona. Se realizaban reuniones diarias donde se distribuía el personal y se explicaba el plan del día y el plan de la semana, repitiendo diariamente los objetivos comunes y la meta a cumplir, de tal modo que si veían que se perjudicaba el plan por algún motivo, todos podían apoyar.
- La ventaja en esta obra a nivel cultural fueron tres pilares: primero la ventaja que representa tener un personal seleccionado, de confianza y comprometido con el crecimiento de la empresa, personas inteligentes en las cuales el ingeniero ha depositado su confianza y éstos se la devuelven con trabajo y esfuerzo; en segundo lugar la política de cumplir funciones mixtas o ser polivalentes, ya que todos tienen la capacidad de apoyar porque es necesario en cierto momento a otras actividades, si se

retrasa el fierro los encofradores pueden ayudar a amarrar los estribos por ejemplo e inmediatamente liberada la estructura ponerse a trabajar y finalmente el liderazgo situacional ejercido por el ingeniero residente de la obra, quien en ocasiones era directivo (“Haz lo que te digo”), democrático (Al pedir las opiniones del grupo, sobretodo de los más experimentados), ejemplar (al coger una lampa o ayudar a descargar bolsas de cemento), formativo (al aceptar el error accidental y no castigarlo sino promoviendo la mejora).

## 6.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para realizar la evaluación económica, es necesario volver a analizar los costos manejados por el proyecto tratados de manera superficial en el capítulo 5:

- Estacionamientos con un área de 2280 m<sup>2</sup> valorizados en \$ 800 000 dólares americanos. No incluye sistema contra incendios, cisterna ni cuarto de máquinas. NO INCLUYE I.G.V.

|                             |                      |
|-----------------------------|----------------------|
| Estructuras                 | USD \$ 230.00        |
| Instalaciones               | USD \$ 15.00         |
| Acabados                    | USD \$ 85.00         |
| Gastos Generales y Utilidad | USD \$ 20.00         |
| <b>TOTAL</b>                | <b>USD \$ 350.00</b> |

- Edificio de Aulas de 4 niveles con un área construida de 1455 m<sup>2</sup> valorizados en \$ 727 500 dólares americanos. No incluye Ascensor, sistema contra incendios, césped sintético, cisterna ni cuarto de máquinas. NO INCLUYE I.G.V.

|                             |                      |
|-----------------------------|----------------------|
| Estructuras                 | USD \$ 200.00        |
| Instalaciones               | USD \$ 40.00         |
| Acabados                    | USD \$ 220.00        |
| Gastos Generales y Utilidad | USD \$ 40.00         |
| <b>TOTAL</b>                | <b>USD \$ 500.00</b> |

Obteniéndose globalmente, un presupuesto base de:

|                  |                     | Presupuesto base de la Empresa |                        |            |                     |
|------------------|---------------------|--------------------------------|------------------------|------------|---------------------|
| Zona             | Área m <sup>2</sup> | Dólares / m <sup>2</sup>       | Soles / m <sup>2</sup> | Soles      |                     |
| Estacionamientos | 2280                | 350                            | 962.5                  | S/.        | 2 194 500.00        |
| Edificio         | 1455                | 500                            | 1375                   | S/.        | 2 000 625.00        |
|                  |                     |                                | <b>TOTAL</b>           | <b>S/.</b> | <b>4 195 125.00</b> |

Centrándose en los alcances de esta investigación, todo se reduce al rubro de estructuras y comparándolo con el presupuesto realizado posteriormente con motivo de esta tesis se obtuvo:

|                  |                     | Presupuesto en base a<br>Experiencia de la Empresa |                        | Presupuesto Elaborado    |                        |
|------------------|---------------------|--|------------------------|--------------------------|------------------------|
| Zona             | Área m <sup>2</sup> | Dólares / m <sup>2</sup>                           | Soles / m <sup>2</sup> | Dólares / m <sup>2</sup> | Soles / m <sup>2</sup> |
| Estacionamientos | 2280                | 230  | 632.5                  | 210.70                   | 579.41                 |
| Edificio         | 1455                | 220  | 605                    | 153.92                   | 423.29                 |

|                  |      | Presupuesto base de la empresa |            |            |                     |
|------------------|------|--------------------------------|------------|------------|---------------------|
| Zona             | Área | Dólares / m2                   | Soles / m2 | Soles      |                     |
| Estacionamientos | 2280 | 230                            | 632.5      | S/.        | 1 442 100.00        |
| Edificio         | 1455 | 220                            | 605        | S/.        | 880 275.00          |
| <b>TOTAL</b>     |      |                                |            | <b>S/.</b> | <b>2 322 375.00</b> |

|                  |      | Presupuesto elaborado |            |            |                     |
|------------------|------|-----------------------|------------|------------|---------------------|
| Zona             | Área | Dólares / m2          | Soles / m2 | Soles      |                     |
| Estacionamientos | 2280 | 210.7                 | 579.425    | S/.        | 1 321 089.00        |
| Edificio         | 1455 | 153.92                | 423.28     | S/.        | 615 872.40          |
| <b>TOTAL</b>     |      |                       |            | <b>S/.</b> | <b>1 936 961.40</b> |

Se adjunta en el ANEXO N° 05 el presupuesto del rubro estructuras elaborado para los fines de la investigación.

### 6.2.1 COSTO DE IMPLEMENTACIÓN

La implementación representa un costo indirecto dentro del presupuesto en cuanto a gastos fijos y variables y se demuestra a continuación lo que gastó la empresa en implementar y trabajar bajo Lean:

## PRESUPUESTO

| Ítem         | Descripción  | Unidad | Cantidad | P.U.       | Parcial            |
|--------------|--|--------|----------|------------|--------------------|
| <b>1.0</b>   | <b><u>GASTOS FIJOS</u></b>                           |        |          |            |                    |
| 1.1          | Gastos Indirectos Varios                             |        |          |            |                    |
| 1.1.1        | Mobiliario de Oficina (Pizarra, impresora A-3)       | Glb    | 1        | S/.800.00  | S/. 800.00         |
| <b>2.0</b>   | <b><u>GASTOS VARIABLES</u></b>                       |        |          |            |                    |
| 2.1          | Gastos de Administración en Obra                     |        |          |            |                    |
| 2.1.1        | Implementador/Asistente de campo*                    | mes    | 8        | S/.1500.00 | S/.12000.00        |
| 2.1.2        | Papelería en General, útiles y materiales de oficina | Glb    | 1        | S/.200.00  | S/. 200.00         |
| <b>TOTAL</b> |  |        |          |            | <b>S/.13000.00</b> |

\*El implementador/Asistente de campo era la labor del autor de esta tesis con un sueldo mensual que no era por implementar Lean sino por trabajar como asistente de ingeniero residente, así que este costo puede ser el más variable.

$$\text{Porcentaje del Presupuesto} = \frac{13\,000.00}{4195125.00} \times 100\%$$

**Porcentaje del Presupuesto = 0.31%**

Para la empresa constructora representó un costo de S/. 13 000.00 nuevos soles implementar Lean Construction, lo que representa un 0.31% del Presupuesto de la Obra.

### 6.2.2 RENTABILIDAD POR IMPLEMENTACIÓN

Se va a medir la rentabilidad por la mejora de la productividad con la implementación de Lean en dos aspectos muy importantes: Reducción de tiempo y Reducción de pérdidas.

#### A. REDUCCIÓN DEL PLAZO

Para analizar de una forma estandarizada la reducción del plazo se va a considerar las fechas de vaciado por sectores y zonas según sea el estacionamiento o el edificio, de tal manera que la diferencia entre fechas de vaciados es proporcional a la reducción del tamaño del Lote de transferencia y por consiguiente a la liberación de otros frentes; en otras palabras al haber hecho vaciados pequeños la etapa de acabados o cualquier actividad posterior “jalaba” todo el sistema, ganando varios días de trabajo y adelantando de este modo el plazo. Para ser más demostrativos, por ejemplo una vez vaciado la zona 1 del Sector B se empezaron a enterrar las tuberías en el perímetro y a trabajar en la jardinería porque ya existía el frente necesario; al terminar la Zona 2 del Sector B se comenzó a trazar y a poner los puntos para el vaciado de contrapiso en la losa multiusos, ganando valiosos días de trabajo.

#### ESTACIONAMIENTOS

| SECTOR B   |            |                   |
|------------|------------|-------------------|
| ZONA       | FECHA REAL | DIFERENCIA (días) |
| ZONA 1     | 23/03/2013 |                   |
| ZONA 2     | 27/03/2013 | 3                 |
| ZONA 3     | 04/04/2013 | 6                 |
| ZONA 4 - 5 | 18/04/2013 | 12                |
| TOTAL      |            | 21                |

| SECTOR C |            |                   |
|----------|------------|-------------------|
| ZONA     | FECHA REAL | DIFERENCIA (días) |
| ZONA 1   | 25/05/2013 |                   |
| ZONA 2   | 31/05/2013 | 5                 |
| ZONA 3   | 15/06/2013 | 13                |
| TOTAL    |            | 18                |

*Reducción del Plazo = 21 días Sector B + 18 días Sector C*

*Reducción del Plazo = 39 días*

Considerando una planilla semanal para el estacionamiento de S/. 12 500 nuevos soles en promedio, y con las condiciones explicadas para este parámetro, se obtuvo un ahorro en mano de obra de:

Planilla para el ESTACIONAMIENTO: S/. 12 500.00 semanal  
Días reducidos: 39 días  
Semanas reducidas: 6.5 semanas

Costo en Mano de Obra reducido: S/. 81 250.00

**EDIFICIO**

| EDIFICIO |        |            |                   |
|----------|--------|------------|-------------------|
| PISO     | ZONA   | FECHA REAL | DIFERENCIA (días) |
| SÓTANO   | ZM1    | 08/06/2013 | *                 |
|          | ZM2-ZA | 06/07/2013 |                   |
| 1ER PISO | ZA     | 31/07/2013 | 9                 |
|          | ZM1    | 03/08/2013 |                   |
|          | ZM2    | 10/08/2013 |                   |
| 2DO PISO | ZA     | 28/08/2013 | 1                 |
|          | ZM1    | 29/08/2013 |                   |
|          | ZM2    | 30/08/2013 |                   |
| 3ER PISO | ZM1    | 14/09/2013 | 6                 |
|          | ZM2-ZA | 21/09/2013 |                   |
| 4TO PISO | ZM1    | 28/09/2013 | 6                 |
|          | ZM2-ZA | 07/10/2013 |                   |
| TOTAL    |        |            | <b>29</b>         |

\* Durante este periodo se llevó a cabo una actividad en el colegio que se mencionó anteriormente y por la cual se tuvo que cambiar el plan, no siendo una muestra de reducción de plazo la diferencia entre las fechas de los vaciados.

Esto se puede demostrar de otro modo: El vaciado de verticales por piso demoraba aproximadamente 1.5 semanas si se tomaba el lote de producción igual al lote de transferencia. Al reducir el lote de transferencia, prácticamente se ahorraba 1 semana por piso; al multiplicarlo por los 4 pisos, son las 4 semanas que se obtienen aproximadamente en el cálculo anterior.

Considerando una planilla semanal para el edificio en etapa de estructuras de S/. 15 000 nuevos soles en promedio, y con las condiciones explicadas para este parámetro, se obtuvo un ahorro en mano de obra de:

|                                 |                      |              |
|---------------------------------|----------------------|--------------|
| Planilla para el EDIFICIO:      | S/. 15 000.00        | semanal      |
| Días reducidos:                 |                      | 29 días      |
| Semanas reducidas:              |                      | 4.83 semanas |
| Costo en Mano de Obra reducido: | <b>S/. 72 500.00</b> |              |

Al sumar los valores del edificio y el estacionamiento, se obtiene una reducción de aproximadamente 2 meses de trabajo, lo que representa alrededor de **S/. 150 000** nuevo soles de ahorro por reducción del tiempo de trabajo.

## B. REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS Y AUMENTO DE PRODUCTIVIDAD

Como se vio en la parte final del capítulo 5, toda la implementación de Lean Construction trajo como consecuencia el incremento de la productividad de la obra. Los valores fueron medidos en campo y son datos reales de consumo de recursos para obtener las unidades de producción requeridas. Se compararon con el presupuesto realizado para la obra y se obtuvo un incremento de la productividad del 35%, lo que representa que se produjo más con menos recursos.

Es importante mencionar que el presupuesto realizado para esta investigación contiene rendimientos en base a la realidad de la obra; es decir, no se presupuestó con encofrado de madera sino con encofrado metálico, tampoco concreto en obra sino concreto premezclado. Por esta razón el valor de la mano de obra no es tan elevado como debería ser (alrededor del 30%) sino que para los estacionamientos la incidencia de esta es del 16.90 % y del 19.00% para el edificio de aulas. ANEXO N°09

Para estandarizar los parámetros, se afectará el incremento de la productividad directamente sobre la mano de obra para demostrar cuánto se pudo ahorrar por evitar esperas, trabajos re- hechos, movimientos innecesarios, transporte innecesario, sobreproducción, inventarios y errores en los procesos.

COMPARACIÓN CON EL PRESUPUESTO REALIZADO PARA ESTA INVESTIGACIÓN

ESTACIONAMIENTO

SECTOR B

SECTOR C

**Procesamiento del Presupuesto**

**ESTADÍSTICAS**

| ITEMS                         | Faltantes | Verificados |
|-------------------------------|-----------|-------------|
| METRADOS                      | 28        | 63          |
| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS | 0         | 63          |
| PRECIOS                       | 0         | 53          |
| RECURSOS CON CANTIDAD CERO    | 0         | 0           |
| SUBPARTIDAS CON CANTIDAD CERO | 0         | 0           |

**ITEMS**

|                      | Total |
|----------------------|-------|
| PARTIDAS             | 63    |
| FORMATOS             | 0     |
| TITULOS Y SUBTITULOS | 16    |

**COSTOS**

|                 | Monto S/.  |
|-----------------|------------|
| COSTO DIRECTO   | 581,603.56 |
| COSTO INDIRECTO | 0.00       |
| TOTAL           | 581,603.56 |
| MANO DE OBRA    | 98,231.27  |
| MATERIALES      | 411,736.63 |
| EQUIPOS         | 5,054.59   |
| SUBCONTRATOS    | 66,766.49  |

Inicio: 17:29:33  
Fin cálculo precios unitarios: 17:29:35  
Fin generación de consolidado: 17:29:36

**Procesamiento del Presupuesto**

**ESTADÍSTICAS**

| ITEMS                         | Faltantes | Verificados |
|-------------------------------|-----------|-------------|
| METRADOS                      | 21        | 56          |
| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS | 0         | 56          |
| PRECIOS                       | 0         | 47          |
| RECURSOS CON CANTIDAD CERO    | 0         | 0           |
| SUBPARTIDAS CON CANTIDAD CERO | 0         | 0           |

**ITEMS**

|                      | Total |
|----------------------|-------|
| PARTIDAS             | 56    |
| FORMATOS             | 0     |
| TITULOS Y SUBTITULOS | 16    |

**COSTOS**

|                 | Monto S/.  |
|-----------------|------------|
| COSTO DIRECTO   | 399,618.01 |
| COSTO INDIRECTO | 0.00       |
| TOTAL           | 399,618.01 |
| MANO DE OBRA    | 62,967.23  |
| MATERIALES      | 289,295.98 |
| EQUIPOS         | 3,047.25   |
| SUBCONTRATOS    | 44,447.46  |

Inicio: 17:30:07  
Fin cálculo precios unitarios: 17:30:09  
Fin generación de consolidado: 17:30:10

SECTOR D

**Procesamiento del Presupuesto**

**ESTADÍSTICAS**

| ITEMS                         | Faltantes | Verificados |
|-------------------------------|-----------|-------------|
| METRADOS                      | 11        | 62          |
| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS | 0         | 62          |
| PRECIOS                       | 0         | 53          |
| RECURSOS CON CANTIDAD CERO    | 0         | 0           |
| SUBPARTIDAS CON CANTIDAD CERO | 0         | 0           |

**ITEMS**

|                      | Total |
|----------------------|-------|
| PARTIDAS             | 62    |
| FORMATOS             | 0     |
| TITULOS Y SUBTITULOS | 16    |

**COSTOS**

|                 | Monto S/.  |
|-----------------|------------|
| COSTO DIRECTO   | 266,803.99 |
| COSTO INDIRECTO | 0.00       |
| TOTAL           | 266,803.99 |
| MANO DE OBRA    | 45,152.29  |
| MATERIALES      | 183,789.57 |
| EQUIPOS         | 2,335.64   |
| SUBCONTRATOS    | 35,626.93  |

Inicio: 17:30:38  
Fin cálculo precios unitarios: 17:30:40  
Fin generación de consolidado: 17:30:42

|  |            |                  |
|--|------------|------------------|
| <b>MANO DE OBRA PRESUPUESTADA ESTACIONAMIENTOS</b> | S/.        | 206 350.79       |
| AHORRO POR MEJORA DE PRODUCTIVIDAD 35%             | <b>S/.</b> | <b>72 222.78</b> |
| <b>COSTO FINAL DE MANO DE OBRA</b>                 | S/.        | 134 128.01       |

**EDIFICIO**

PISO 1

PISO 2

**Procesamiento del Presupuesto**

**ESTADÍSTICAS**

| ITEMS                         | Faltantes | Verificados |
|-------------------------------|-----------|-------------|
| ITEMS                         |           | 45          |
| METRADOS                      | 0         | 36          |
| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | 0         | 36          |
| PRECIOS                       | 0         | 34          |
| RECURSOS CON CANTIDAD CERO    |           | 0           |
| SUBPARTIDAS CON CANTIDAD CERO |           | 0           |

**ITEMS**

|                      | Total |
|----------------------|-------|
| PARTIDAS             | 36    |
| FORMATOS             | 0     |
| TÍTULOS Y SUBTÍTULOS | 9     |

**COSTOS**

|                 | Monto S/.  |
|-----------------|------------|
| COSTO DIRECTO   | 146,376.16 |
| COSTO INDIRECTO | 0.00       |
| TOTAL           | 146,376.16 |
| MANO DE OBRA    | 26,120.01  |
| MATERIALES      | 94,689.51  |
| EQUIPOS         | 964.06     |
| SUBCONTRATOS    | 24,685.01  |

Inicio: 17:39:42  
Fin cálculo precios unitarios: 17:39:43  
Fin generación de consolidado: 17:39:43

**Procesamiento del Presupuesto**

**ESTADÍSTICAS**

| ITEMS                         | Faltantes | Verificados |
|-------------------------------|-----------|-------------|
| ITEMS                         |           | 45          |
| METRADOS                      | 0         | 36          |
| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | 0         | 36          |
| PRECIOS                       | 0         | 34          |
| RECURSOS CON CANTIDAD CERO    |           | 0           |
| SUBPARTIDAS CON CANTIDAD CERO |           | 0           |

**ITEMS**

|                      | Total |
|----------------------|-------|
| PARTIDAS             | 36    |
| FORMATOS             | 0     |
| TÍTULOS Y SUBTÍTULOS | 9     |

**COSTOS**

|                 | Monto S/.  |
|-----------------|------------|
| COSTO DIRECTO   | 156,732.05 |
| COSTO INDIRECTO | 0.00       |
| TOTAL           | 156,732.05 |
| MANO DE OBRA    | 29,821.22  |
| MATERIALES      | 99,189.24  |
| EQUIPOS         | 1,058.28   |
| SUBCONTRATOS    | 26,726.76  |

Inicio: 17:40:07  
Fin cálculo precios unitarios: 17:40:08  
Fin generación de consolidado: 17:40:08

PISO 3

PISO 4

**Procesamiento del Presupuesto**

**ESTADÍSTICAS**

| ITEMS                         | Faltantes | Verificados |
|-------------------------------|-----------|-------------|
| ITEMS                         |           | 45          |
| METRADOS                      | 0         | 36          |
| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | 0         | 36          |
| PRECIOS                       | 0         | 34          |
| RECURSOS CON CANTIDAD CERO    |           | 0           |
| SUBPARTIDAS CON CANTIDAD CERO |           | 0           |

**ITEMS**

|                      | Total |
|----------------------|-------|
| PARTIDAS             | 36    |
| FORMATOS             | 0     |
| TÍTULOS Y SUBTÍTULOS | 9     |

**COSTOS**

|                 | Monto S/.  |
|-----------------|------------|
| COSTO DIRECTO   | 157,423.86 |
| COSTO INDIRECTO | 0.00       |
| TOTAL           | 157,423.86 |
| MANO DE OBRA    | 29,971.26  |
| MATERIALES      | 99,731.96  |
| EQUIPOS         | 1,058.28   |
| SUBCONTRATOS    | 26,726.76  |

Inicio: 17:40:27  
Fin cálculo precios unitarios: 17:40:28  
Fin generación de consolidado: 17:40:29

**Procesamiento del Presupuesto**

**ESTADÍSTICAS**

| ITEMS                         | Faltantes | Verificados |
|-------------------------------|-----------|-------------|
| ITEMS                         |           | 45          |
| METRADOS                      | 0         | 36          |
| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS | 0         | 36          |
| PRECIOS                       | 0         | 34          |
| RECURSOS CON CANTIDAD CERO    |           | 0           |
| SUBPARTIDAS CON CANTIDAD CERO |           | 0           |

**ITEMS**

|                      | Total |
|----------------------|-------|
| PARTIDAS             | 36    |
| FORMATOS             | 0     |
| TÍTULOS Y SUBTÍTULOS | 9     |

**COSTOS**

|                 | Monto S/.  |
|-----------------|------------|
| COSTO DIRECTO   | 147,235.16 |
| COSTO INDIRECTO | 0.00       |
| TOTAL           | 147,235.16 |
| MANO DE OBRA    | 28,039.22  |
| MATERIALES      | 93,660.19  |
| EQUIPOS         | 1,038.08   |
| SUBCONTRATOS    | 24,557.32  |

Inicio: 17:40:53  
Fin cálculo precios unitarios: 17:40:54  
Fin generación de consolidado: 17:40:54

|  |            |                  |
|--|------------|------------------|
| <b>MANO DE OBRA PRESUPUESTADA EDIFICIO</b> | S/.        | 113 951.71       |
| AHORRO POR MEJORA DE PRODUCTIVIDAD 35%     | <b>S/.</b> | <b>39 883.10</b> |
| <b>COSTO FINAL DE MANO DE OBRA</b>         | S/.        | 74 068.61        |

NOTA: El cálculo solo hace referencia al rubro de estructuras, se debe rescatar que durante el periodo de construcción se trabajó en paralelo con los acabados, por lo que todo se jalaba muy rápidamente. De tal modo que no se puede generalizar y tratar de incluir todo dentro de un solo costo porque se está separando.

Al sumar los valores del edificio y el estacionamiento, se obtiene un ahorro de mano de obra por incremento de la productividad de aproximadamente **S/. 100 000.00** nuevos soles.

### COMPARACIÓN CON EL PRESUPUESTO DE LA EMPRESA

Se ha realizado este mismo análisis de productividad comparando el resultado con el presupuestado por la empresa, obteniendo lo siguiente:

|                 | PRESUPUESTO<br>EMPRESA  | % M.O. | PRESUPUESTO<br>M.O.   | INCREMENTO 35%<br>PRODUCTIVIDAD | PRESUPUESTO<br>REAL   |
|-----------------|-------------------------|--------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|
| ESTACIONAMIENTO | S/. 1 442 100.00        | 16.9%  | S/. 243 714.90        | S/. 85 300.22                   | S/. 158 414.69        |
| AULAS           | S/. 880 275.00          | 19.0%  | S/. 167 252.25        | S/. 58 538.29                   | S/. 108 713.96        |
|                 | <b>S/. 2 322 375.00</b> |        | <b>S/. 410 967.15</b> | <b>S/. 143 838.50</b>           | <b>S/. 267 128.65</b> |

Se consiguió un ahorro de **S/. 143 838.50** nuevos soles.

Consolidando la reducción de plazo y pérdidas se tiene un ahorro de aproximadamente S/. 300 000.00 nuevos soles.

Sin embargo se va a considerar la reducción de las pérdidas como S/. 250 000.00 que es en promedio lo que la empresa **realmente** pudo ahorrar. (En base a planillas y el control de sus gastos).

$$\text{Reducción de pérdidas} = \frac{S/. 250\ 000}{S/. 1\ 936\ 961.40} \times 100\%$$

$$\text{Reducción de pérdidas} = \mathbf{12.90\%}$$

## CONCLUSIONES

1. Se valida la hipótesis central de la investigación al demostrar que se pudieron reducir las pérdidas un 12.90% en la construcción del estacionamiento y las aulas. Así mismo, un 21.00% en el trabajo del piso del sótano del colegio Lord Byron en la ciudad de Arequipa, en consecuencia de implementar la filosofía Lean Construction y la herramienta del Last Planner®.
2. Se demuestra que implementar la filosofía Lean Construction no implica gastos importantes al representar el 0.31% del presupuesto general de la obra, validando la primera hipótesis complementaria.
3. Se demuestra que con el sistema Last Planner® se logró cumplir los plazos de entrega pactados para el estacionamiento y adelantar el plazo de entrega del casco del edificio de 4 pisos hasta en 29 días.
4. Con esta implementación y los resultados obtenidos, se muestra que sí se puede aplicar Lean Construction en la realidad de Arequipa, siempre y cuando se cambien la cultura, se introduzca la filosofía y se utilicen todas las herramientas presentadas.
5. Al mejorar la implementación de Lean Construction y sus herramientas, se evidenciaron cambios en los tres tipos de trabajo. El trabajo productivo se incrementó un 34%, el trabajo contributivo un 7% y el trabajo no contributivo disminuyó un 37%.
6. Entre la primera y segunda etapa de la implementación se presentó una mejora del 25% en el Porcentaje de Plan Cumplido (PPC), pasando de un 43% a un 68%. Esto representa que aún existen oportunidades de mejora.
7. Las principales causas de incumplimiento percibidas en el proyecto son por programación un 23% de los casos, causas externas un 19%, actividades previas un 17% y la logística representa un 15%.
8. Para lograr implementar Lean Construction, la parte más complicada es cambiar la cultura, porque se tienen que modificar las creencias de las personas, las costumbres que tienen más arraigadas en su vida.
9. Una vez adoptaba la nueva cultura, lo siguiente es insertar la filosofía para entender los conceptos fundamentales que lleva Lean para conseguir los resultados esperados. Entender lo que significa el Valor para el cliente y que se deben reducir o eliminar los desperdicios; conocer los principios Lean y sus características, de la misma manera todos los fundamentos de Toyota.
10. Con la Cultura y la Filosofía incorporadas a la organización “Lean Enterprise”, la tecnología es lo más sencillo. Utilizar las herramientas Lean como el Last Planner System, los trenes de trabajo, la reducción de los lotes de transferencia, BIM, etc. como medio para conseguir la mejora continua y maximizar el valor para el cliente interno y externo.
11. Implementando Lean desde la etapa de diseño usando nuevas tecnologías, se pueden alcanzar resultados aún más elevados.

12. En la práctica la idea fundamental es lograr sistemas de producción efectivos basados en obtener un flujo continuo y eficiente de trabajo a través de la sectorización y el uso de trenes de actividades como forma de programar la obra bajo un sistema pull. Seguidamente se busca conseguir que los procesos sean eficientes mediante el uso de herramientas de la ingeniería industrial para la optimización; utilizar medición de Nivel General de Actividad para identificar procesos deficientes, emplear Cartas Balance para evitar el sobre-dimensionamiento de cuadrillas y la optimización en sí mediante la observación basado en la Teoría de Restricciones (TOC) que identifica los Cuellos de Botella del sistema, aumenta su capacidad, subordina todo lo demás y comienza todo de nuevo. Finalmente Retroalimentación constante para obtener la mejora continua.
13. Los resultados de la encuesta a las empresas constructoras de Arequipa mostraron resultados particulares y propios para la ciudad:
  - a. El 89% de las empresas considera que la programación tradicional de una obra se cumple parcialmente.
  - b. La principal restricción a la hora de realizar un plan son los problemas con los materiales, evidenciando también un deficiente servicio principalmente en el concreto premezclado y agregados. En segundo y tercer lugar la mano de obra y las condiciones externas como flujo a tener muy en consideración a la hora de planear una obra.
  - c. En promedio las empresas constructoras de Arequipa afirman cumplir semanalmente entre el 51% y 75% de sus planes, lo que evidencia un intento por proteger sus planes con base al criterio y sin las herramientas Lean.
  - d. Las principales causas de incumplimiento de los planes en Arequipa son en orden descendente: Errores del Proyecto, Logística, Documentación Técnica, Programación, Subcontratos, Administración, Equipos y Condiciones Externas, Errores de Ejecución, Cliente-Supervisión y Actividades Previas y finalmente Control de Calidad. Esta información es muy útil porque nos da una perspectiva de lo que una empresa en Arequipa va a tener que enfrentarse al iniciar un nuevo proyecto, permitiendo tomar las medidas a tiempo y en forma puntual.
  - e. Las empresas constructoras reconocen que pagan por trabajos improductivos y que alrededor del 6% al 20% de sus presupuestos se destinan a pérdidas.
  - f. El principal desperdicio percibido en la ciudad son las esperas, seguido por los movimientos innecesarios, los trabajos re-hechos y errores en los procesos.
  - g. El total de las empresas cree que puede identificar, eliminar o minimizar las pérdidas en la construcción y les gustaría implementar una nueva filosofía de construcción que les permita incrementar sus utilidades. Finalmente, el 52% ha escuchado o tiene noción de lo que es Lean Construction.

## RECOMENDACIONES

1. Es importante tener un periodo de inducción del personal de trabajo desde el gerente hasta el maestro de obra. Se recomienda al menos un mes de una forma intensiva usando presentaciones de diapositivas. Una vez se inicie la implementación, continuar con la formación mediante lecturas y videos de internet con información clara y específica sobre Lean o el Last Planner.
2. Para poder insertar la cultura Lean y lograr la concientización se requiere una ardua labor. Se recomienda utilizar diferentes métodos para conseguir este objetivo. Se recomienda mucha perseverancia, pero sobretodo tener la seguridad de lo que se hace.
3. Para implementar el Last Planner se invita al uso del Manual de Procesos del ANEXO N° 10, donde se dan una serie de recomendaciones y lecciones aprendidas sobre los formatos de esta herramienta.
4. Buscar la innovación constantemente, diseñar nuevos procesos, analizar los flujos con los principios Lean para manejar la variabilidad.
5. Se recomienda un nuevo estilo de liderazgo: el liderazgo Lean, caracterizado por una visión clara, concisa, convincente y compartida; Pasión, con un compromiso inquebrantable; Participación, liderar con el ejemplo; Comunicación, con pasión y escuchando activamente y finalmente, Multiplificación del Talento, para dar poder a la gente y para lograr una planeación sucesiva.

## LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURA

- La utilización del Last Planner System en el rubro de arquitectura, específicamente en los acabados; donde los subcontratos y los lotes de transferencia deben ser muy bien manejados.
- Lean Project Management o Lean Project Delivery System como herramienta de gestión de proyectos, desde la etapa de definición del diseño (Project Definition), diseño del proyecto (Lean Design), Logística del Proyecto (Lean Supply), Construcción del Proyecto (Lean Assembly) y el uso del mismo (Use).
- Uso del Target Value Design para definir el precio de final de los productos de construcción en base a al precio objetivo que paga el mercado.
- Otras herramientas Lean como Value Stream Mapping, Best Value Selection, aplicación de las 5's, y Lean Sigma.



## ANEXOS

### ANEXO N°01: EMPRESAS CONSTRUCTORAS ENCUESTADAS

| Nº | EMPRESA   | CARGO                                 |
|----|---|---------------------------------------|
| 1  | ARQUITHEM   | ASISTENTE DE INGENIERO<br>RESIDENTE   |
| 2  | ASAS INVERSIONES  | INGENIERO RESIDENTE                   |
| 3  | BEROLATTY ARQUITECTOS E.I.R.L.                          | GERENTE GENERAL                       |
| 4  | CONSORCIO PUENTE CHILINA - CORSAN CORVIAM               | INGENIERO DE PRODUCCIÓN               |
| 5  | CONSORCIO PUENTE CHILINA - INCOT                        | INGENIERO DE PRODUCCIÓN Y<br>GESTIÓN  |
| 6  | CONSTRUCTORA MURILLO ARQUITECTOS E<br>INGENIEROS S.R.L. | GERENCIA                              |
| 7  | CONSTRUCTORA RIVAS MUELLE S.A.C.                        | INGENIERO RESIDENTE                   |
| 8  | CONSTRUCTORA VALENCIA                                   | GERENTE GENERAL                       |
| 9  | CONYMSAC  | INGENIERO RESIDENTE                   |
| 10 | COPIMA S.A.   | INGENIERO DE COSTOS Y<br>PRESUPUESTOS |
| 11 | ECONYSUR  | GERENTE GENERAL                       |
| 12 | G&A INGENIEROS  | ASISTENTE DE INGENIERO<br>RESIDENTE   |
| 13 | GRUPO 5   | INGENIERO DE PRESUPUESTOS             |
| 14 | INVERCON  | GERENTE GENERAL                       |
| 15 | JAST SRLTDA.  | INGENIERO DE PROYECTOS                |
| 16 | JCYZ ARQUITECTOS  | GERENTE DE OPERACIONES                |
| 17 | MACCAFERRI  | INGENIERO DE PROYECTOS                |
| 18 | MAGNUS  | INGENIERO ÁREA TÉCNICA                |
| 19 | MARIA HELENA HERRERA ARQUITECTOS E.I.R.L.               | INGENIERO RESIDENTE                   |
| 20 | MARQUISA  | ASISTENTE DE INGENIERO<br>RESIDENTE   |
| 21 | NUEVA ANDINA S.A.                                       | GERENTE GENERAL                       |
| 22 | PROMOTORA CARREALDI                                     | INGENIERO RESIDENTE                   |
| 23 | REFUGIOS ECOLÓGICOS                                     | GERENTE DE OPERACIONES                |
| 24 | SURING  | GERENTE GENERAL                       |
| 25 | TECCON SRL.   | GERENTE GENERAL                       |
| 26 | TERRACON  | GERENTE GENERAL                       |
| 27 | URBACON PERU E.I.R.L.                                   | LOGÍSTICA                             |

**ANEXO Nº 02: CONTROL DE LLEGADA Y SALIDA DE MIXERS A OBRA**

| Control del Concreto                  |           |             |             |  |                                       |                                   |
|---------------------------------------|-----------|-------------|-------------|--|---------------------------------------|-----------------------------------|
| <u>Observación:</u> Bomba Telescópica |           |             |             | <u>Fecha:</u> 13/02/2013                             |                                       |                                   |
| <u>Duración Total:</u> 03:21          |           |             |             |  |                                       |                                   |
| <u>Tolerancia:</u> 00:05              |           |             |             |  |                                       |                                   |
| Nº                                    | Volumen   | Hora inicio | Hora Salida | Espera (Salida <sub>n+1</sub> -Salida <sub>n</sub> ) | %Espera Total (Espera/duración total) | %Espera Final (Espera-Tolerancia) |
| 1                                     | 8         | 08:20       | 08:35       |  |                                       |                                   |
| 2                                     | 8         | 08:39       | 08:48       | 00:04  | 2%                                    | -0.50%                            |
| 3                                     | 8         | 08:54       | 09:02       | 00:06  | 3%                                    | 0.50%                             |
| 4                                     | 8         | 09:05       | 09:13       | 00:03  | 1%                                    | -1.00%                            |
| 5                                     | 8         | 09:21       | 09:31       | 00:08  | 4%                                    | 1.49%                             |
| 6                                     | 8         | 09:36       | 09:43       | 00:05  | 2%                                    | 0.00%                             |
| 7                                     | 8         | 09:51       | 09:58       | 00:08  | 4%                                    | 1.49%                             |
| 8                                     | 8         | 10:05       | 10:15       | 00:07  | 3%                                    | 1.00%                             |
| 9                                     | 8         | 10:18       | 10:28       | 00:03  | 1%                                    | -1.00%                            |
| 10                                    | 8         | 10:50       | 11:02       | 00:22  | 11%                                   | 8.46%                             |
| 11                                    | 8         | 11:36       | 11:41       | 00:34  | 17%                                   | 14.43%                            |
| <b>TOTALES</b>                        | <b>88</b> |             |             | <b>01:40</b>   | <b>50%</b>                            | <b>24.88%</b>                     |

| Control del Concreto                  |           |             |             |  |                                 |                                   |
|---------------------------------------|-----------|-------------|-------------|--|---------------------------------|-----------------------------------|
| <u>Observación:</u> Bomba Telescópica |           |             |             | <u>Fecha:</u> 16/02/2013                             |                                 |                                   |
| <u>Duración Total:</u> 02:27          |           |             |             |  |                                 |                                   |
| <u>Tolerancia:</u> 00:05              |           |             |             |  |                                 |                                   |
| Nº                                    | Volumen   | Hora inicio | Hora Salida | Espera (Salida <sub>n+1</sub> -Salida <sub>n</sub> ) | %Espera (Espera/duración total) | %Espera Final (Espera-Tolerancia) |
| 1                                     | 8         | 12:05       | 12:15       |  |                                 |                                   |
| 2                                     | 8         | 12:22       | 12:33       | 00:07  | 3%                              | 1.36%                             |
| 3                                     | 8         | 13:10       | 13:19       | 00:37  | 18%                             | 21.77%                            |
| 4                                     | 8         | 13:23       | 13:30       | 00:04  | 2%                              | -0.68%                            |
| 5                                     | 8         | 14:00       | 14:19       | 00:30  | 15%                             | 17.01%                            |
| 6                                     | 5         | 14:22       | 14:32       | 00:03  | 1%                              | -1.36%                            |
| <b>TOTALES</b>                        | <b>45</b> |             |             | <b>01:21</b>   | <b>40%</b>                      | <b>38.10%</b>                     |

| Control del Concreto                  |  |  |  |                          |  |  |
|---------------------------------------|--|--|--|--------------------------|--|--|
| <u>Observación:</u> Bomba Telescópica |  |  |  | <u>Fecha:</u> 20/02/2013 |  |  |
| <u>Duración Total:</u> 01:48          |  |  |  |                          |  |  |
| <u>Tolerancia:</u> 00:05              |  |  |  |                          |  |  |

| Nº             | Volumen   | Hora inicio | Hora Salida | Espera<br>(Salida <sub>n+1</sub> -<br>Salida <sub>n</sub> ) | %Espera (Espera/duración total) | %Espera Final<br>(Espera-<br>Tolerancia) |
|----------------|-----------|-------------|-------------|---|---------------------------------|--|
| 1              | 7         | 07:40       | 07:47       |   |                                 |  |
| 2              | 8         | 07:54       | 08:06       | 00:07   | 6%                              | 1.85%                                    |
| 3              | 7         | 08:13       | 08:25       | 00:07   | 6%                              | 1.85%                                    |
| 4              | 7         | 09:20       | 09:28       | 00:55   | 51%                             | 46.30%                                   |
| <b>TOTALES</b> | <b>29</b> |             |             | <b>01:09</b>  | <b>64%</b>                      | <b>50.00%</b>                            |

| Control del Concreto   |           |                   |             |   |                                 |  |
|------------------------|-----------|-------------------|-------------|---|---------------------------------|--|
| <u>Observación:</u>    |           | Bomba Telescópica |             | <u>Fecha:</u>   |                                 | 21/02/2013                               |
| <u>Duración Total:</u> |           | 01:17             |             |   |                                 |  |
| <u>Tolerancia:</u>     |           | 00:05             |             |   |                                 |  |
| Nº                     | Volumen   | Hora inicio       | Hora Salida | Espera<br>(Salida <sub>n+1</sub> -<br>Salida <sub>n</sub> ) | %Espera (Espera/duración total) | %Espera Final<br>(Espera-<br>Tolerancia) |
| 1                      | 7         | 08:09             | 08:18       |   |                                 |  |
| 2                      | 7         | 08:27             | 08:40       | 00:09   | 12%                             | 5.19%                                    |
| 3                      | 7         | 08:46             | 08:54       | 00:06   | 8%                              | 1.30%                                    |
| 4                      | 7         | 09:16             | 09:26       | 00:22   | 29%                             | 22.08%                                   |
| <b>TOTALES</b>         | <b>28</b> |                   |             | <b>00:37</b>  | <b>48%</b>                      | <b>28.57%</b>                            |

| Control del Concreto   |           |                   |             |   |  |  |
|------------------------|-----------|-------------------|-------------|---|--|--|
| <u>Observación:</u>    |           | Bomba Telescópica |             | <u>Fecha:</u>   |  | 25/02/2013                               |
| <u>Duración Total:</u> |           | 01:45             |             |   |  |  |
| <u>Tolerancia:</u>     |           | 00:05             |             |   |  |  |
| Nº                     | Volumen   | Hora inicio       | Hora Salida | Espera<br>(Salida <sub>n+1</sub> -<br>Salida <sub>n</sub> ) | %Espera Total<br>(Espera/duración total) | %Espera Final<br>(Espera-<br>Tolerancia) |
| 1                      | 8         | 14:00             | 14:10       |   |  |  |
| 2                      | 8         | 14:13             | 14:23       | 00:03   | 3%                                       | -1.90%                                   |
| 3                      | 8         | 14:25             | 14:36       | 00:02   | 2%                                       | -2.86%                                   |
| 4                      | 8         | 14:55             | 15:20       | 00:19   | 18%                                      | 13.33%                                   |
| 5                      | 6         | 15:30             | 15:45       | 00:10   | 10%                                      | 4.76%                                    |
| <b>TOTALES</b>         | <b>38</b> |                   |             | <b>00:34</b>  | <b>32%</b>                               | <b>13.33%</b>                            |

| Control del Concreto   |  |                   |  |               |  |            |
|------------------------|--|-------------------|--|---------------|--|------------|
| <u>Observación:</u>    |  | Bomba Telescópica |  | <u>Fecha:</u> |  | 28/02/2013 |
| <u>Duración Total:</u> |  | 02:04             |  |               |  |            |
| <u>Tolerancia:</u>     |  | 00:05             |  |               |  |            |

| Nº             | Volumen   | Hora inicio | Hora Salida | Espera<br>(Salida <sub>n+1</sub> -<br>Salida <sub>n</sub> ) | %Espera Total<br>(Espera/duración total) | %Espera Final<br>(Espera-<br>Tolerancia) |
|----------------|-----------|-------------|-------------|---|--|--|
| 1              | 8         | 08:40       | 08:52       |   |  |  |
| 2              | 8         | 08:58       | 09:16       | 00:06   | 5%                                       | 0.81%                                    |
| 3              | 9         | 10:27       | 10:44       | 01:11   | 57%                                      | 53.23%                                   |
| <b>TOTALES</b> | <b>25</b> |             |             | <b>01:17</b>  | <b>62%</b>                               | <b>54.03%</b>                            |

| Control del Concreto   |           |                    |             |   |  |  |
|------------------------|-----------|--------------------|-------------|---|--|--|
| <u>Observación:</u>    |           | Bomba Estacionaria |             | <u>Fecha:</u>   |  | 15/03/2013                               |
| <u>Duración Total:</u> |           | 01:59              |             |   |  |  |
| <u>Tolerancia:</u>     |           | 00:05              |             |   |  |  |
| Nº                     | Volumen   | Hora inicio        | Hora Salida | Espera<br>(Salida <sub>n+1</sub> -<br>Salida <sub>n</sub> ) | %Espera Total<br>(Espera/duración total) | %Espera Final<br>(Espera-<br>Tolerancia) |
| 1                      | 7         | 15:27              | 15:35       |   |  |  |
| 2                      | 8         | 15:44              | 15:51       | 00:09   | 8%                                       | 3.36%                                    |
| 3                      | 8         | 16:16              | 16:25       | 00:25   | 21%                                      | 16.81%                                   |
| 4                      | 8         | 16:38              | 16:45       | 00:13   | 11%                                      | 6.72%                                    |
| 5                      | 8         | 17:00              | 17:05       | 00:15   | 13%                                      | 8.40%                                    |
| 6                      | 8         | 17:07              | 17:14       | 00:02   | 2%                                       | -2.52%                                   |
| 7                      | 5         | 17:18              | 17:26       | 00:04   | 3%                                       | -0.84%                                   |
| <b>TOTALES</b>         | <b>52</b> |                    |             | <b>01:08</b>  | <b>57%</b>                               | <b>31.93%</b>                            |

| Control del Concreto   |           |                    |             |   |  |  |
|------------------------|-----------|--------------------|-------------|---|--|--|
| <u>Observación:</u>    |           | Bomba Estacionaria |             | <u>Fecha:</u>   |  | 11/05/2013                               |
| <u>Duración Total:</u> |           | 04:40              |             |   |  |  |
| <u>Tolerancia:</u>     |           | 00:05              |             |   |  |  |
| Nº                     | Volumen   | Hora inicio        | Hora Salida | Espera<br>(Salida <sub>n+1</sub> -<br>Salida <sub>n</sub> ) | %Espera Total<br>(Espera/duración total) | %Espera Final<br>(Espera-<br>Tolerancia) |
| 1                      | 7         | 08:45              | 08:56       |   |  |  |
| 2                      | 8         | 09:15              | 09:28       | 00:19   | 7%                                       | 5.00%                                    |
| 3                      | 8         | 09:42              | 09:59       | 00:14   | 5%                                       | 3.21%                                    |
| 4                      | 7         | 10:10              | 10:31       | 00:11   | 4%                                       | 2.14%                                    |
| 5                      | 7         | 10:55              | 11:12       | 00:24   | 9%                                       | 6.79%                                    |
| 6                      | 8         | 12:22              | 12:34       | 01:10   | 25%                                      | 23.21%                                   |
| 7                      | 5         | 13:00              | 13:25       | 00:26   | 9%                                       | 7.50%                                    |
| <b>TOTALES</b>         | <b>50</b> |                    |             | <b>02:44</b>  | <b>59%</b>                               | <b>47.86%</b>                            |

| Control del Concreto   |  |                    |  |               |  |            |
|------------------------|--|--------------------|--|---------------|--|------------|
| <u>Observación:</u>    |  | Bomba Estacionaria |  | <u>Fecha:</u> |  | 18/05/2013 |
| <u>Duración Total:</u> |  | 03:07              |  |               |  |            |

| <u>Tolerancia:</u> 00:05 |           |             |             |   |  |  |
|--------------------------|-----------|-------------|-------------|---|--|--|
| Nº                       | Volumen   | Hora inicio | Hora Salida | Espera<br>(Salida <sub>n+1</sub> -<br>Salida <sub>n</sub> ) | %Espera Total<br>(Espera/duración total) | %Espera Final<br>(Espera-<br>Tolerancia) |
| 1                        | 7         | 08:53       | 09:15       |   |  |  |
| 2                        | 8         | 09:56       | 10:24       | 00:41   | 22%                                      | 19.25%                                   |
| 3                        | 8         | 10:47       | 11:23       | 00:23   | 12%                                      | 9.63%                                    |
| 4                        | 7         | 11:30       | 12:00       | 00:07   | 4%                                       | 1.07%                                    |
| <b>TOTALES</b>           | <b>30</b> |             |             | <b>01:11</b>  | <b>38%</b>                               | <b>29.95%</b>                            |

| <b>Control del Concreto</b>            |           |                          |             |   |  |  |
|--|-----------|--------------------------|-------------|---|--|--|
| <u>Observación:</u> Bomba Estacionaria |           | <u>Fecha:</u> 25/05/2013 |             |   |  |  |
| <u>Duración Total:</u> 05:53           |           |                          |             |   |  |  |
| <u>Tolerancia:</u> 00:05               |           |                          |             |   |  |  |
| Nº                                     | Volumen   | Hora inicio              | Hora Salida | Espera<br>(Salida <sub>n+1</sub> -<br>Salida <sub>n</sub> ) | %Espera Total<br>(Espera/duración total) | %Espera Final<br>(Espera-<br>Tolerancia) |
| 1                                      | 8         | 08:42                    | 08:56       |   |  |  |
| 2                                      | 8         | 09:45                    | 10:03       | 00:49   | 14%                                      | 12.46%                                   |
| 3                                      | 8         | 10:07                    | 11:28       | 00:04   | 1%                                       | -0.28%                                   |
| 4                                      | 8         | 11:34                    | 11:43       | 00:06   | 2%                                       | 0.28%                                    |
| 5                                      | 8         | 11:48                    | 12:08       | 00:05   | 1%                                       | 0.00%                                    |
| 6                                      | 8         | 12:30                    | 12:40       | 00:22   | 6%                                       | 4.82%                                    |
| 7                                      | 8         | 13:00                    | 13:08       | 00:20   | 6%                                       | 4.25%                                    |
| 8                                      | 6         | 13:25                    | 13:32       | 00:17   | 5%                                       | 3.40%                                    |
| 9                                      | 6         | 13:52                    | 14:02       | 00:20   | 6%                                       | 4.25%                                    |
| 10                                     | 6         | 14:11                    | 14:35       | 00:09   | 3%                                       | 1.13%                                    |
| <b>TOTALES</b>                         | <b>74</b> |                          |             | <b>02:32</b>  | <b>43%</b>                               | <b>30.31%</b>                            |

| <b>Control del Concreto</b>            |         |                          |             |   |  |  |
|--|---------|--------------------------|-------------|---|--|--|
| <u>Observación:</u> Bomba Estacionaria |         | <u>Fecha:</u> 08/06/2013 |             |   |  |  |
| <u>Duración Total:</u> 05:18           |         |                          |             |   |  |  |
| <u>Tolerancia:</u> 00:05               |         |                          |             |   |  |  |
| Nº                                     | Volumen | Hora inicio              | Hora Salida | Espera<br>(Salida <sub>n+1</sub> -<br>Salida <sub>n</sub> ) | %Espera Total<br>(Espera/duración total) | %Espera Final<br>(Espera-<br>Tolerancia) |
| 1                                      | 7       | 09:08                    | 09:15       |   |  |  |
| 2                                      | 8       | 09:17                    | 09:27       | 00:02   | 1%                                       | -0.94%                                   |
| 3                                      | 8       | 11:05                    | 11:10       | 01:38   | 31%                                      | 29.25%                                   |
| 4                                      | 7       | 12:07                    | 12:15       | 00:57   | 18%                                      | 16.35%                                   |
| 5                                      | 8       | 12:26                    | 12:35       | 00:11   | 3%                                       | 1.89%                                    |
| 6                                      | 6       | 13:18                    | 14:26       | 00:43   | 14%                                      | 11.95%                                   |

|         |           |  |              |            |               |
|---------|-----------|--|--------------|------------|---------------|
| TOTALES | <b>44</b> |  | <b>03:31</b> | <b>66%</b> | <b>58.49%</b> |
|---------|-----------|--|--------------|------------|---------------|

| <b>Control del Concreto</b> |           |                    |             |   |  |  |
|-----------------------------|-----------|--------------------|-------------|---|--|--|
| <u>Observación:</u>         |           | Bomba Estacionaria |             | <u>Fecha:</u>   |  | 14/06/2013                               |
| <u>Duración Total:</u>      |           | 02:45              |             |   |  |  |
| <u>Tolerancia:</u>          |           | 00:05              |             |   |  |  |
| Nº                          | Volumen   | Hora inicio        | Hora Salida | Espera<br>(Salida <sub>n+1</sub> -<br>Salida <sub>n</sub> ) | %Espera Total<br>(Espera/duración total) | %Espera Final<br>(Espera-<br>Tolerancia) |
| 1                           | 8         | 08:34              | 08:58       |   |  |  |
| 2                           | 8         | 09:05              | 09:56       | 00:07   | 4%                                       | 1.21%                                    |
| 3                           | 8         | 10:03              | 10:14       | 00:07   | 4%                                       | 1.21%                                    |
| 4                           | 8         | 10:20              | 10:34       | 00:06   | 4%                                       | 0.61%                                    |
| 5                           | 6         | 10:46              | 10:58       | 00:12   | 7%                                       | 4.24%                                    |
| 6                           | 4         | 11:12              | 11:19       | 00:14   | 8%                                       | 5.45%                                    |
| TOTALES                     | <b>42</b> |                    |             | <b>00:46</b>  | <b>28%</b>                               | <b>12.73%</b>                            |

| <b>Control del Concreto</b> |           |                    |             |   |  |  |
|-----------------------------|-----------|--------------------|-------------|---|--|--|
| <u>Observación:</u>         |           | Bomba Estacionaria |             | <u>Fecha:</u>   |  | 15/06/2013                               |
| <u>Duración Total:</u>      |           | 04:33              |             |   |  |  |
| <u>Tolerancia:</u>          |           | 00:05              |             |   |  |  |
| Nº                          | Volumen   | Hora inicio        | Hora Salida | Espera<br>(Salida <sub>n+1</sub> -<br>Salida <sub>n</sub> ) | %Espera Total<br>(Espera/duración total) | %Espera Final<br>(Espera-<br>Tolerancia) |
| 1                           | 8         | 09:01              | 09:22       |   |  |  |
| 2                           | 7         | 10:05              | 10:11       | 00:43   | 16%                                      | 13.92%                                   |
| 3                           | 8         | 10:26              | 10:32       | 00:15   | 5%                                       | 3.66%                                    |
| 4                           | 8         | 10:38              | 10:48       | 00:06   | 2%                                       | 0.37%                                    |
| 5                           | 7         | 11:11              | 11:20       | 00:23   | 8%                                       | 6.59%                                    |
| 6                           | 8         | 11:25              | 11:36       | 00:05   | 2%                                       | 0.00%                                    |
| 7                           | 8         | 11:58              | 12:37       | 00:22   | 8%                                       | 6.23%                                    |
| 8                           | 7         | 12:42              | 13:02       | 00:05   | 2%                                       | 0.00%                                    |
| 9                           | 8         | 13:12              | 13:08       | 00:10   | 4%                                       | 1.83%                                    |
| 10                          | 8         | 13:27              | 13:34       | 00:19   | 7%                                       | 5.13%                                    |
| TOTALES                     | <b>77</b> |                    |             | <b>02:28</b>  | <b>54%</b>                               | <b>37.73%</b>                            |

| <b>Control del Concreto</b> |  |                    |  |               |  |            |
|-----------------------------|--|--------------------|--|---------------|--|------------|
| <u>Observación:</u>         |  | Bomba Estacionaria |  | <u>Fecha:</u> |  | 14/06/2013 |
| <u>Duración Total:</u>      |  | 02:12              |  |               |  |            |
| <u>Tolerancia:</u>          |  | 00:05              |  |               |  |            |

| Nº             | Volumen   | Hora inicio | Hora Salida | Espera<br>(Salida <sub>n+1</sub> -<br>Salida <sub>n</sub> ) | %Espera Total<br>(Espera/duración total) | %Espera Final<br>(Espera-<br>Tolerancia) |
|----------------|-----------|-------------|-------------|---|--|--|
| 1              | 8         | 08:33       | 09:45       |   |  |  |
| 2              | 8         | 09:47       | 10:09       | 00:02   | 2%                                       | -2.27%                                   |
| 3              | 8         | 10:34       | 10:45       | 00:25   | 19%                                      | 15.15%                                   |
| <b>TOTALES</b> | <b>24</b> |             |             | <b>00:27</b>  | <b>20%</b>                               | <b>12.88%</b>                            |

| Control del Concreto   |           |                    |             |   |  |  |
|------------------------|-----------|--------------------|-------------|---|--|--|
| <u>Observación:</u>    |           | Bomba Estacionaria |             | <u>Fecha:</u>   |  | 06/07/2013                               |
| <u>Duración Total:</u> |           | 03:57              |             |   |  |  |
| <u>Tolerancia:</u>     |           | 00:05              |             |   |  |  |
| Nº                     | Volumen   | Hora inicio        | Hora Salida | Espera<br>(Salida <sub>n+1</sub> -<br>Salida <sub>n</sub> ) | %Espera Total<br>(Espera/duración total) | %Espera Final<br>(Espera-<br>Tolerancia) |
| 1                      | 8         | 10:55              | 11:04       |   |  |  |
| 2                      | 8         | 11:10              | 11:17       | 00:06   | 3%                                       | 0.42%                                    |
| 3                      | 8         | 11:41              | 11:49       | 00:24   | 10%                                      | 8.02%                                    |
| 4                      | 8         | 11:52              | 12:15       | 00:03   | 1%                                       | -0.84%                                   |
| 5                      | 8         | 12:40              | 12:54       | 00:25   | 11%                                      | 8.44%                                    |
| 6                      | 8         | 13:27              | 13:34       | 00:33   | 14%                                      | 11.81%                                   |
| 7                      | 6         | 14:24              | 14:32       | 00:50   | 21%                                      | 18.99%                                   |
| 8                      | 5         | 14:39              | 14:52       | 00:07   | 3%                                       | 0.84%                                    |
| <b>TOTALES</b>         | <b>59</b> |                    |             | <b>02:28</b>  | <b>62%</b>                               | <b>47.68%</b>                            |

| Control del Concreto   |           |                    |             |   |  |  |
|------------------------|-----------|--------------------|-------------|---|--|--|
| <u>Observación:</u>    |           | Bomba Estacionaria |             | <u>Fecha:</u>   |  | 16/07/2013                               |
| <u>Duración Total:</u> |           | 02:49              |             |   |  |  |
| <u>Tolerancia:</u>     |           | 00:05              |             |   |  |  |
| Nº                     | Volumen   | Hora inicio        | Hora Salida | Espera<br>(Salida <sub>n+1</sub> -<br>Salida <sub>n</sub> ) | %Espera Total<br>(Espera/duración total) | %Espera Final<br>(Espera-<br>Tolerancia) |
| 1                      | 8         | 13:37              | 14:30       |   |  |  |
| 2                      | 7         | 14:35              | 16:26       | 00:05   | 3%                                       | 0.00%                                    |
| <b>TOTALES</b>         | <b>15</b> |                    |             | <b>00:05</b>  | <b>3%</b>                                | <b>0.00%</b>                             |

| Control del Concreto   |  |                    |  |               |  |            |
|------------------------|--|--------------------|--|---------------|--|------------|
| <u>Observación:</u>    |  | Bomba Estacionaria |  | <u>Fecha:</u> |  | 31/07/2013 |
| <u>Duración Total:</u> |  | 02:30              |  |               |  |            |
| <u>Tolerancia:</u>     |  | 00:05              |  |               |  |            |

| Nº             | Volumen   | Hora inicio | Hora Salida | Espera<br>(Salida <sub>n+1</sub> -<br>Salida <sub>n</sub> ) | %Espera Total<br>(Espera/duración total) | %Espera Final<br>(Espera-<br>Tolerancia) |
|----------------|-----------|-------------|-------------|---|--|--|
| 1              | 8         | 08:40       | 09:01       |   |  |  |
| 2              | 7         | 09:17       | 09:45       | 00:16   | 11%                                      | 7.33%                                    |
| 3              | 2         | 11:02       | 11:10       | 01:17   | 51%                                      | 48.00%                                   |
| <b>TOTALES</b> | <b>17</b> |             |             | <b>01:33</b>  | <b>62%</b>                               | <b>55.33%</b>                            |

| <b>Control del Concreto</b> |             |                    |             |   |  |  |
|-----------------------------|-------------|--------------------|-------------|---|--|--|
| <u>Observación:</u>         |             | Bomba Estacionaria |             | <u>Fecha:</u>   |  | 03/08/2013                               |
| <u>Duración Total:</u>      |             | 02:26              |             |   |  |  |
| <u>Tolerancia:</u>          |             | 00:05              |             |   |  |  |
| Nº                          | Volumen     | Hora inicio        | Hora Salida | Espera<br>(Salida <sub>n+1</sub> -<br>Salida <sub>n</sub> ) | %Espera Total<br>(Espera/duración total) | %Espera Final<br>(Espera-<br>Tolerancia) |
| 1                           | 8           | 14:24              | 14:48       |   |  |  |
| 2                           | 8           | 14:54              | 15:45       | 00:06   | 4%                                       | 0.68%                                    |
| 3                           | 8           | 15:56              | 16:12       | 00:11   | 8%                                       | 4.11%                                    |
| 4                           | 5           | 16:24              | 16:35       | 00:12   | 8%                                       | 4.79%                                    |
| 5                           | 4.5         | 16:37              | 16:50       | 00:02   | 1%                                       | -2.05%                                   |
| <b>TOTALES</b>              | <b>33.5</b> |                    |             | <b>00:31</b>  | <b>21%</b>                               | <b>7.53%</b>                             |

| <b>Control del Concreto</b> |           |                    |             |   |  |  |
|-----------------------------|-----------|--------------------|-------------|---|--|--|
| <u>Observación:</u>         |           | Bomba Estacionaria |             | <u>Fecha:</u>   |  | 08/08/2013                               |
| <u>Duración Total:</u>      |           | 02:13              |             |   |  |  |
| <u>Tolerancia:</u>          |           | 00:05              |             |   |  |  |
| Nº                          | Volumen   | Hora inicio        | Hora Salida | Espera<br>(Salida <sub>n+1</sub> -<br>Salida <sub>n</sub> ) | %Espera Total<br>(Espera/duración total) | %Espera Final<br>(Espera-<br>Tolerancia) |
| 1                           | 8         | 18:02              | 18:38       |   |  |  |
| 2                           | 7         | 18:45              | 20:15       | 00:07   | 5%                                       | 1.50%                                    |
| <b>TOTALES</b>              | <b>15</b> |                    |             | <b>00:07</b>  | <b>5%</b>                                | <b>1.50%</b>                             |

| <b>Control del Concreto</b> |         |                    |             |   |  |  |
|-----------------------------|---------|--------------------|-------------|---|--|--|
| <u>Observación:</u>         |         | Bomba Estacionaria |             | <u>Fecha:</u>   |  | 10/08/2013                               |
| <u>Duración Total:</u>      |         | 04:06              |             |   |  |  |
| <u>Tolerancia:</u>          |         | 00:05              |             |   |  |  |
| Nº                          | Volumen | Hora inicio        | Hora Salida | Espera<br>(Salida <sub>n+1</sub> -<br>Salida <sub>n</sub> ) | %Espera Total<br>(Espera/duración total) | %Espera Final<br>(Espera-<br>Tolerancia) |
| 1                           | 8       | 15:50              | 16:21       |   |  |  |
| 2                           | 7       | 16:30              | 16:51       | 00:09   | 4%                                       | 1.63%                                    |

|                |           |       |       |              |            |               |
|----------------|-----------|-------|-------|--------------|------------|---------------|
| 3              | 8         | 17:25 | 17:35 | 00:34        | 14%        | 11.79%        |
| 4              | 8         | 17:40 | 18:29 | 00:05        | 2%         | 0.00%         |
| 5              | 8         | 18:37 | 18:48 | 00:08        | 3%         | 1.22%         |
| 6              | 8         | 19:02 | 19:25 | 00:14        | 6%         | 3.66%         |
| 7              | 6         | 19:45 | 19:56 | 00:20        | 8%         | 6.10%         |
| <b>TOTALES</b> | <b>53</b> |       |       | <b>01:30</b> | <b>37%</b> | <b>24.39%</b> |

| <b>Control del Concreto</b> |           |                    |             |   |  |  |
|-----------------------------|-----------|--------------------|-------------|---|--|--|
| <u>Observación:</u>         |           | Bomba Estacionaria |             | <u>Fecha:</u>   |  | 17/08/2013                               |
| <u>Duración Total:</u>      |           | 01:58              |             |   |  |  |
| <u>Tolerancia:</u>          |           | 00:05              |             |   |  |  |
| Nº                          | Volumen   | Hora inicio        | Hora Salida | Espera<br>(Salida <sub>n+1</sub> -<br>Salida <sub>n</sub> ) | %Espera Total<br>(Espera/duración total) | %Espera Final<br>(Espera-<br>Tolerancia) |
| 1                           | 8         | 08:30              | 09:00       |   |  |  |
| 2                           | 8         | 09:15              | 10:10       | 00:15   | 13%                                      | 8.47%                                    |
| 3                           | 4         | 10:15              | 10:28       | 00:05   | 4%                                       | 0.00%                                    |
| <b>TOTALES</b>              | <b>20</b> |                    |             | <b>00:20</b>  | <b>17%</b>                               | <b>8.47%</b>                             |





**ANEXO Nº03: CÁLCULO DE HORAS HOMBRE PERDIDAS EN ESPERAS DE CONCRETO PREMEZCLADO.**

| Nº | Bomba        | FECHA      | Volumen      | Duración Total  | Espera (Salida <sub>n-1</sub> -Salida <sub>n</sub> ) | %Espera Total (Espera/duración total) | %Espera Final (Espera-Tolerancia) | Velocidad (m <sup>3</sup> /hr) | Horas de Trabajo Perdidas Promedio | Horas Hombre Promedio Perdidas | Costo Promedio | Ratio de Productividad* (hb/m <sup>3</sup> ) |             |
|----|--------------|------------|--------------|-----------------|--|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|----------------|--|-------------|
| 1  |              | 13/02/2013 | 88           | 03:21           | 01:40  | 50%                                   | 24.88%                            | 26.3                           | 0.83                               | 5.00                           | S/.            | 60.00  | 0.23        |
| 2  |              | 16/02/2013 | 45           | 02:27           | 01:21  | 40%                                   | 38.10%                            | 18.4                           | 0.93                               | 5.60                           | S/.            | 67.20  | 0.33        |
| 3  | Telescópica  | 20/02/2013 | 29           | 01:48           | 01:09  | 64%                                   | 50.00%                            | 16.1                           | 0.90                               | 5.40                           | S/.            | 64.80  | 0.37        |
| 4  |              | 21/02/2013 | 28           | 01:17           | 00:37  | 48%                                   | 28.57%                            | 21.8                           | 0.37                               | 2.20                           | S/.            | 26.40  | 0.28        |
| 5  |              | 25/02/2013 | 38           | 01:45           | 00:34  | 32%                                   | 13.33%                            | 21.7                           | 0.23                               | 1.40                           | S/.            | 16.80  | 0.28        |
| 6  |              | 28/02/2013 | 25           | 02:04           | 01:17  | 62%                                   | 54.03%                            | 12.1                           | 1.12                               | 11.17                          | S/.            | 134.00                                       | 0.50        |
| 7  |              | 15/03/2013 | 52           | 01:59           | 01:08  | 57%                                   | 31.93%                            | 26.2                           | 0.63                               | 6.33                           | S/.            | 76.00  | 0.23        |
| 8  |              | 11/05/2013 | 50           | 04:40           | 02:44  | 59%                                   | 47.86%                            | 10.7                           | 2.23                               | 22.33                          | S/.            | 268.00                                       | 0.56        |
| 9  |              | 18/05/2013 | 30           | 03:07           | 01:11  | 38%                                   | 29.95%                            | 9.6                            | 0.93                               | 9.33                           | S/.            | 112.00                                       | 0.62        |
| 10 |              | 25/05/2013 | 74           | 05:53           | 02:32  | 43%                                   | 30.31%                            | 12.6                           | 1.78                               | 17.83                          | S/.            | 214.00                                       | 0.48        |
| 11 |              | 08/06/2013 | 44           | 05:18           | 03:31  | 66%                                   | 58.49%                            | 8.3                            | 3.10                               | 31.00                          | S/.            | 372.00                                       | 0.72        |
| 12 |              | 14/06/2013 | 42           | 02:45           | 00:46  | 28%                                   | 12.73%                            | 15.3                           | 0.35                               | 3.50                           | S/.            | 42.00  | 0.39        |
| 13 |              | 15/06/2013 | 77           | 04:33           | 02:28  | 54%                                   | 37.73%                            | 16.9                           | 1.72                               | 17.17                          | S/.            | 206.00                                       | 0.35        |
| 14 | Estacionaria | 14/06/2013 | 24           | 02:12           | 00:27  | 20%                                   | 12.88%                            | 10.9                           | 0.28                               | 2.83                           | S/.            | 34.00  | 0.55        |
| 15 |              | 06/07/2013 | 59           | 03:57           | 02:28  | 62%                                   | 47.68%                            | 14.9                           | 1.88                               | 18.83                          | S/.            | 226.00                                       | 0.40        |
| 16 |              | 16/07/2013 | 15           | 02:49           | 00:05  | 3%                                    | 0.00%                             | 5.3                            | 0.00                               | 0.00                           | S/.            | 0.00   | 1.13        |
| 17 |              | 31/07/2013 | 17           | 02:30           | 01:33  | 62%                                   | 55.33%                            | 6.8                            | 1.38                               | 13.83                          | S/.            | 166.00                                       | 0.88        |
| 18 |              | 03/08/2013 | 33.5         | 02:26           | 00:31  | 21%                                   | 7.53%                             | 13.8                           | 0.18                               | 1.83                           | S/.            | 22.00  | 0.44        |
| 19 |              | 08/08/2013 | 15           | 02:13           | 00:07  | 5%                                    | 1.50%                             | 6.8                            | 0.03                               | 0.33                           | S/.            | 4.00   | 0.89        |
| 20 |              | 10/08/2013 | 53           | 04:06           | 01:30  | 37%                                   | 24.39%                            | 12.9                           | 1.00                               | 10.00                          | S/.            | 120.00                                       | 0.46        |
| 21 |              | 17/08/2013 | 20           | 01:58           | 00:20  | 17%                                   | 8.47%                             | 10.2                           | 0.17                               | 1.67                           | S/.            | 20.00  | 0.59        |
|    |              |            | <b>858.5</b> | <b>63:08:00</b> | <b>27:59:00</b>                                      | <b>41%</b>                            | <b>29%</b>                        | <b>14.17</b>                   | <b>20.07</b>                       | <b>187.60</b>                  | <b>S/.</b>     | <b>2 251.20</b>                              | <b>0.51</b> |

\*Se presenta un promedio en base a los datos de campo, las cuadrillas, rendimientos, duraciones varían según el elemento a vaciar En este caso se considera una cuadrilla promedio de 6 personas para la bomba telescópica y 10 para la bomba estacionaria y un costo de hora hombre de S/. 12.00



**ANEXO N°04: RESUMEN DE METRADO RUBRO ESTRUCTURAS DEL PROYECTO**

PROYECTO : ESTACIONAMIENTO - AULAS LORD BYRON  
 UBICACIÓN : CERRO COLORADO - AREQUIPA  
 FECHA : FEB. 2013

| <b>TTE</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>   | <b>UNIDAD</b> | <b>SÓTANO</b> | <b>1ER PISO</b> | <b>2DO PISO</b> | <b>3RO PISO</b> | <b>4TO PISO</b> | <b>AZOTEA</b> | <b>TOTAL</b> |
|------------|--|---------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------|
|            | OBRAS PRELIMINARES   |               |               |                 |                 |                 |                 |               |              |
|            | OBRAS PROVISIONALES  |               |               |                 |                 |                 |                 |               |              |
|            | MOVIMIENTO DE TIERRAS  |               |               |                 |                 |                 |                 |               |              |
|            | EXCAVACIÓN MASIVA  | m3            | 9 079.46      |                 |                 |                 |                 |               | 9 079.46     |
|            | EXCAVACIÓN PARA ZAPATAS  | m3            | 673.67        |                 |                 |                 |                 |               | 673.67       |
|            | RELLENO COMPACTADO   | m3            | 189.62        |                 |                 |                 |                 |               | 189.62       |
|            | ELIMINACIÓN  | m3            | 12 432.55     |                 |                 |                 |                 |               | 12 432.55    |
|            | NIVELACIÓN   | m2            | 2528          |                 |                 |                 |                 |               | 2 527.50     |
|            | CONCRETO SIMPLE  |               |               |                 |                 |                 |                 |               |              |
|            | CONCRETO SOLADO MEZCLA 1:1:10 CEMENTO-HORMIGÓN e=0.05<br>vaciado MANUALMENTE | m2            | 495.19        |                 |                 |                 |                 |               | 495.19       |
|            | CONCRETO ARMADO  |               |               |                 |                 |                 |                 |               |              |
|            | <b>ZAPATAS</b>   |               |               |                 |                 |                 |                 |               |              |
|            | CONCRETO ZAPATAS f'c=210 kg/cm2  | m3            | 293.79        |                 |                 |                 |                 |               | 293.79       |
|            | ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60                                     | kgf           | 6 671.42      |                 |                 |                 |                 |               | 6 671.42     |
|            | CURADO   | m2            | 418.71        |                 |                 |                 |                 |               | 418.71       |
|            | <b>VIGA DE CIMENTACIÓN</b>   |               |               |                 |                 |                 |                 |               |              |
|            | CONCRETO VIGAS DE CIMENTACIÓN f'c=210 kg/cm2                                 | m3            | 79.87         |                 |                 |                 |                 |               | 79.87        |
|            | ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60                                     | kgf           | 8 114.99      |                 |                 |                 |                 |               | 8 114.99     |
|            | CURADO   | m2            | 135.12        |                 |                 |                 |                 |               | 135.12       |
|            | <b>MUROS DE CONTENCIÓN</b>   |               |               |                 |                 |                 |                 |               |              |
|            | CONCRETO PREMEZCLADO MURO DE CONTENCIÓN f'c=210<br>kg/cm2                    | m3            | 219.60        |                 |                 |                 |                 |               | 219.60       |



|  |     |           |          |          |          |          |          |          |       |                  |  |  |
|--|-----|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|------------------|--|--|
| <b>LOSAS MACIZAS</b>   |     |           |          |          |          |          |          |          |       |                  |  |  |
| CONCRETO PREMEZCLADO LOSAS MACIZAS $f_c=210$ kg/cm <sup>2</sup>          | m3  | 393.85    | 50.83    | 48.10    | 48.10    | 48.10    | 48.10    | 48.10    | 1.16  | <b>590.13</b>    |  |  |
| ENCOFRADO LOSAS MACIZAS  | m2  | 1 999.55  | 267.00   | 250.56   | 250.56   | 250.56   | 250.56   | 250.56   | 7.22  | <b>3 025.45</b>  |  |  |
| DESENCOFRADO LOSAS   | m2  | 1 999.55  | 267.00   | 250.56   | 250.56   | 250.56   | 250.56   | 250.56   | 7.22  | <b>3 025.45</b>  |  |  |
| ACERO CORRUGADO FY = 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60                    | kgf | 23 167.00 | 4 130.30 | 3 940.13 | 3 940.13 | 3 940.13 | 3 940.13 | 3 940.13 | 65.86 | <b>39 183.54</b> |  |  |
| CURADO   | m2  | 1 999.55  | 267.00   | 250.91   | 250.91   | 250.91   | 250.91   | 250.91   | 7.22  | <b>3 026.50</b>  |  |  |
| <b>ESCALERAS</b>   |     |           |          |          |          |          |          |          |       |                  |  |  |
| CONCRETO PREMEZCLADO ESCALERA $f_c=210$ kg/cm <sup>2</sup>               | m3  | 7.14      | 2.84     | 2.84     | 2.84     | 2.84     | 2.84     | 2.84     |       | <b>18.48</b>     |  |  |
| ENCOFRADO NORMAL EN ESCALERA   | m2  | 39.83     | 20.62    | 20.62    | 20.62    | 20.62    | 20.62    | 20.62    |       | <b>122.31</b>    |  |  |
| DESENCOFRADO ESCALERAS   | m2  | 39.83     | 20.62    | 20.62    | 20.62    | 20.62    | 20.62    | 20.62    |       | <b>122.31</b>    |  |  |
| ACERO CORRUGADO FY = 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60                    | kgf | 377.36    | 156.71   | 156.71   | 156.71   | 156.71   | 156.71   | 156.71   |       | <b>1 004.20</b>  |  |  |
| CURADO   | m2  | 33.20     | 16.15    | 16.15    | 16.15    | 16.15    | 16.15    | 16.15    |       | <b>97.80</b>     |  |  |
| <b>COLUMNA DE AMARRE</b>   |     |           |          |          |          |          |          |          |       |                  |  |  |
| CONCRETO COLUMNAS $f_c=175$ kg/cm <sup>2</sup>                           | m3  |           | 1.01     | 4.65     | 4.65     | 4.65     | 4.65     | 4.65     |       | <b>14.95</b>     |  |  |
| ENCOFRADO METÁLICO EN COLUMNAS DE AMARRE                                 | m2  |           | 21.44    | 99.16    | 99.16    | 99.16    | 99.16    | 99.16    |       | <b>318.92</b>    |  |  |
| DESENCOFRADO COLUMNAS  | m2  |           | 21.44    | 99.16    | 99.16    | 99.16    | 99.16    | 99.16    |       | <b>318.92</b>    |  |  |
| ACERO CORRUGADO FY = 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60                    | kgf | 13.89     | 163.17   | 520.22   | 520.22   | 520.22   | 520.22   | 448.88   |       | <b>1 666.39</b>  |  |  |
| TECNOPORT EN COLUMNETAS  | m   |           |          |          |          |          |          |          |       |                  |  |  |
| <b>RAMPA DE ACCESO</b>   |     |           |          |          |          |          |          |          |       |                  |  |  |
| CONCRETO PREMEZCLADO LOSA DE PISO h=15.0 cm $f_c=210$ kg/cm <sup>2</sup> | m3  | 17.49     |          |          |          |          |          |          |       | <b>17.49</b>     |  |  |
| JUNTAS   | m   | 90.00     |          |          |          |          |          |          |       |                  |  |  |
| ACERO CORRUGADO FY = 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60                    | kgf | 452.48    |          |          |          |          |          |          |       | <b>452.48</b>    |  |  |
| CURADO   | m2  | 116.57    |          |          |          |          |          |          |       | <b>116.57</b>    |  |  |
| <b>PAVIMENTO RÍGIDO</b>  |     |           |          |          |          |          |          |          |       |                  |  |  |
| CONCRETO PREMEZCLADO LOSA DE PISO h=15.0 cm $f_c=210$ kg/cm <sup>2</sup> | m3  | 317.90    |          |          |          |          |          |          |       | <b>317.90</b>    |  |  |
| JUNTAS   | m   | 1 165.80  |          |          |          |          |          |          |       | <b>1 165.80</b>  |  |  |
| ACERO CORRUGADO FY = 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60                    | kgf | 8 090.52  |          |          |          |          |          |          |       | <b>8 090.52</b>  |  |  |
| CURADO   | m2  | 2 114.30  |          |          |          |          |          |          |       | <b>2 114.30</b>  |  |  |

Parámetros finales del metrado:

| ÁREA      | UNIDAD         | SÓTANO   | 1ER PISO | 2DO PISO | 3ro PISO | 4to PISO | AZOTEA | TOTAL      | factor/m <sup>2</sup> |
|-----------|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|------------|-----------------------|
| CONCRETO  | m <sup>3</sup> | 2502.55  | 386.5    | 374.1    | 374.1    | 374.1    | 7.72   | 4019.07    | 1                     |
|           |                | 1 588.0  | 135.1    | 144.0    | 144.0    | 136.0    | 8.7    | 2 155.77   | 0.54                  |
|           |                | 0.6      | 0.3      | 0.4      | 0.4      | 0.4      | 1.1    | 0.54       |                       |
|           | Factor         |          |          |          |          |          |        |            |                       |
| ACERO     | kgf            | 90 110.2 | 12 975.8 | 13 320.5 | 12 911.1 | 12 449.2 | 420.0  | 142 186.74 | 35.38                 |
|           |                | 36.0     | 33.6     | 35.6     | 34.5     | 33.3     | 54.4   | 35.38      |                       |
|           | Factor         |          |          |          |          |          |        |            |                       |
| ENCOFRADO | m <sup>2</sup> | 5 511.9  | 962.3    | 1 116.3  | 1 116.3  | 1 035.3  | 68.8   | 9 810.87   | 2.44                  |
|           |                | 2.2      | 2.5      | 3.0      | 3.0      | 2.8      | 8.9    | 2.44       |                       |
|           | Factor         |          |          |          |          |          |        |            |                       |



## **ANEXO Nº05: PRESUPUESTO RUBRO ESTRUCTURAS**

S10

Página: 1

### **Datos Generales del Presupuesto**

Obra **0102005 Colegio Lord Byron**  
 Propietario **22000614 Medina Lazo, Lidia**  
 Lugar **040103 AREQUIPA - AREQUIPA - CAYMA**  
 Fecha **03/03/2013** Plazo **180** días Jornada **8.00** horas  
 Moneda principal **01 NUEVOS SOLES**

|                 | <b>Presupuesto (S/.)</b> |             |
|-----------------|--------------------------|-------------|
| Costo directo   | <b>1,936,949.76</b>      | <b>0.00</b> |
| Costo indirecto | <b>0.00</b>              | <b>0.00</b> |
| Total           | <b>1,936,949.76</b>      | <b>0.00</b> |

#### **Subpresupuestos:**

| <b>Código</b> | <b>Descripción</b>         | <b>Cantidad</b> | <b>Precio (S/.)</b> | <b>Parcial (S/.)</b> |
|---------------|----------------------------|-----------------|---------------------|----------------------|
| 002           | SECTOR B - ESTACIONAMIENTO | 1.00            | 581,603.56          | 581,603.56           |
| 004           | SECTOR C - ESTACIONAMIENTO | 1.00            | 399,618.01          | 399,618.01           |
| 005           | SECTOR D - ESTACIONAMIENTO | 1.00            | 266,803.99          | 266,803.99           |
| 006           | SECTOR D - 1º PISO         | 1.00            | 146,376.16          | 146,376.16           |
| 007           | SECTOR D - 2º PISO         | 1.00            | 156,732.05          | 156,732.05           |
| 008           | SECTOR D - 3º PISO         | 1.00            | 157,423.86          | 157,423.86           |
| 009           | SECTOR D - 4º PISO         | 1.00            | 147,235.16          | 147,235.16           |
| 010           | SECTOR D - AZOTEA          | 1.00            | 8,120.58            | 8,120.58             |
| 011           | SECTOR A - ESTACIONAMIENTO | 1.00            | 73,036.39           | 73,036.39            |



**ANEXO Nº06: EJEMPLO DE FORMATO LOOKAHEAD PLAN**

| A  | B | E   | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | W | X | Y | Z | AA | AB | AC | AD | AE | AF |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|-----------|---|---|---|---|---|---|-----------|---|---|---|---|---|---|-----------|---|---|---|---|---|---|-----------|---|---|---|---|---|---|
|    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | SEMANA 19 |   |   |   |   |   |   | SEMANA 20 |   |   |   |   |   |   | SEMANA 21 |   |   |   |   |   |   | SEMANA 22 |   |   |   |   |   |   |
|    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | L         | M | M | J | V | S | D | L         | M | M | J | V | S | D | L         | M | M | J | V | S | D | L         | M | M | J | V | S | D |
| 1  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 2  |   | OBRA: ESTACIONAMIENTOS - AULAS COLEGIO LORD BYRON |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 3  |   | RESPONSABLE: ING. DANTE YAGUA PADILLA             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 4  |   | LOOK AHEAD 4 SEMANAS:                             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 5  |   | SEMANA 19   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 6  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 7  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 8  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 9  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 10 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 11 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 12 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 13 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 14 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 15 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 16 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 17 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 18 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 19 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 20 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 21 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 22 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 23 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 24 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 25 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 26 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 27 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 28 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 29 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 30 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 31 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 32 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 33 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 34 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 35 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 36 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 37 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 38 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 39 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 40 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 41 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 42 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 43 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 44 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 45 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 46 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 47 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 48 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 49 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 50 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 51 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 52 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 53 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 54 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 55 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 56 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 57 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 58 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 59 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 60 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 61 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 62 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 63 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |
| 64 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |           |   |   |   |   |   |   |

**ANEXO Nº07: EJEMPLO DE FORMATO ANÁLISIS DE RESTRICCIONES**

|    | E                                     | F  | G                       | H            | I                                 | J         | K                         | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | W | X | Y | Z | AA | AE |  |
|----|---------------------------------------|--|-------------------------|--------------|-----------------------------------|-----------|---------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|--|
| 1  |                                       |  |                         |              |                                   |           |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 2  | ONAMIENTOS - AULAS COLEGIO LORD BYRON |  |                         |              |                                   |           |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 3  | ING. DANTE YAGUA PADILLA              |  |                         |              |                                   |           |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 4  | RESTRICCIONES:                        |  |                         |              |                                   |           |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 5  | SEMANA 20                             |  |                         |              |                                   |           |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 6  | ACTIVIDADES DETALLADAS PARA:          |  |                         |              |                                   |           |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 7  | SEMANA 20                             |  |                         |              |                                   |           |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 8  | Pendiente                             |  |                         |              |                                   |           |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 9  | DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD           | DESCRIPCION DE LA RESTRICCION                        | FECHA REQUERIDA EN OBR/ | RESPONSABLE  | OBSERVACIONES                     | STATUS    |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 10 |                                       |  |                         |              |                                   |           | Nº TOTAL DE RESTRICCIONES |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 11 |                                       |  |                         |              |                                   |           | %                         |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 12 | EXCAVACIÓN                            | Motobombas operativas                                | 20-may                  | Ing. Dante   | Probarlas y ventilar con gasolina | Pendiente | 67%                       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 13 |                                       | Madera para enlitar                                  | 20-may                  | Nando        | Cuidar el salud                   | OK!       |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 14 |                                       | Petroseparador operativa                             | 20-may                  | Ing. Dante   | Verificar operatividad            | Pendiente |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 15 | ACERO VERTICALES                      | Solicitar acero a proveedor                          | 20-may                  | Ing. Dante   | Verificar pedido                  | OK!       |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 16 | CONCRETO VC, ZAPATAS                  | Agregados en cancha                                  | 25-may                  | Ing. Dante   | Solicitar volquetes olicos        | OK!       |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 17 | CONCRETO VC, ZAPATAS                  | Cemento en almácén                                   | 25-may                  | Ing. Dante   | Comprar                           | OK!       |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 18 | CONCRETO VERTICALES                   | Separar bomba de supermix                            | 22-may                  | Ing. Dante   | Llamar con anticipación           | OK!       |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 19 |                                       | Mixtar al detalle                                    | 24-may                  | Cherna       | Planilla de metrados              | Pendiente |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 20 |                                       | Comparar tubos de 8" para ventilación                | 23-may                  | Ing. Dante   | Dejar pases                       | OK!       |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 21 |                                       | Verificar colocación de tubos para ventilación       | 23-may                  | Ing. Dante   | Altura y separación horizontal    | Pendiente |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 22 |                                       | Definir alturas de vaciado                           | 28-may                  | Cherna       | Usar BIM                          | Pendiente |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 23 | ACERO HORIZONTALES                    | Pedido de Acero                                      | 20-may                  | Ing. Dante   | Pedido de vigas y losas           | OK!       |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 24 | CONCRETO HORIZONTALES                 | Separar bomba de supermix                            | 22-may                  | Ing. Dante   | Llamar con anticipación           | OK!       |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 25 |                                       | Mixtar al detalle                                    | 24-may                  | Cherna       | Planilla de metrados              | Pendiente |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 26 |                                       | Marcar pases A.C.I.                                  | 24-may                  | David        | Con tubo de acero                 | Pendiente |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 27 |                                       | Definir iluminación en gradase                       | 24-may                  | Sr. Esquivel | Iluminación de camino             | Pendiente |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 28 |                                       | Definir estructura de vidrio block                   | 23-may                  | Ing. Dante   | Solicitar a Ing. Flores Castro    | Pendiente |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 29 | CONTRAPISO                            | Alisadora operativa                                  | 06-jun                  | Ing. Dante   | Gasolina y mantenimiento          | Pendiente |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 30 | DESENCOFRADO HORIZONTALES             | Seleccionar material para devolver a ERECO - ZONA 1  | 01-may                  | Nando        | Coordinar con Jhossmar            | Pendiente |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 31 |                                       | Contratar transporte para devolver material - ZONA 1 | 03-jun                  | Ing. Dante   | Según cantidad de material        | Pendiente |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 32 | CÉSPED ARTIFICIAL                     | Definir drenaje pluvial                              | 23-may                  | Ing. Dante   | Coordinar cant. De sumideros      | Pendiente |                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |

## ANEXO Nº08: FICHA TÉCNICA DEL PUENTE DE ADHERENCIA



**CHEM MASTERS DEL PERU S.A.**

**Chema Epox ADHESIVO 32**

Pegamento epóxico gris para pegar concreto antiguo con concreto nuevo

Versión: Octubre 2012

### DESCRIPCION:

Pegamento epóxico gris compuesto por resinas epóxicas y cargas seleccionadas de dos componentes de alta adherencia y elevadas resistencias mecánicas. Asegura una unión perfecta entre concreto fresco y endurecido, concreto con metal y otros. Componentes: Parte "A" Resina Epóxica y Parte "B" Catalizador. Este pegamento una vez mezclado puede aplicarse como puente de adherencia o para preparar un mortero epóxico de reparación en elementos estructurales ( de concreto o como relleno de cangrejas).

Entre las principales propiedades tenemos:

- Asegura una unión monolítica entre concretos de distintas edades.
- Alta resistencia a la humedad y a los ataques químicos.
- Producto de fácil aplicación.
- Alta adherencia sobre concreto, fierro, acero, piedra, madera, fibrocemento y otros.

### USOS:

- Como puente de adherencia entre concreto fresco y endurecido.
- Unión de pre fabricados de concreto.
- Como anclaje
- Extensión de columnas
- Apoyos de nuevas vigas sobre estructuras antiguas
- Fijación de los refuerzos estructurales
- Para reparaciones, de elementos de concreto ( tubos y otros).
- Para pegar concreto nuevo a viejo y/o reemplazando los elementos deteriorados o desgastados, por ejemplo en la reparación de losas desgastadas.
- Para pegar diversos materiales del mismo tipo o totalmente diferentes como hierro o concreto, fibrocemento, madera y otros.
- Para reparaciones de grietas de volumen en elementos estructurales.
- Para resanar muros de ladrillo portantes que hayan sufrido rajaduras.

### APLICACION:

**1. IMPORTANTE:** Utilice guantes, lentes y mascarilla de protección antes de aplicar el producto

#### **2. PREPARACION DE LA SUPERFICIE:**

La superficie debe estar totalmente limpia, seca y libre de humedad, eliminándose el polvo, grasa, pintura y aceite de la superficie, debiendo dejarse sólo lo que esta estructuralmente sano. Una vez limpia se recomienda soplearla con aire comprimido.

#### **3. PREPARACION DEL PRODUCTO:**

Prepare la mezcla en recipiente de plástico u otro, pero no hacerlo en el mismo envase metálico. Mezcle lo necesario a usar en el momento. Mezcle ambos componentes en volumen: 3 partes de A y 1 parte de B y bata ambas partes hasta obtener una mezcla homogénea de preferencia con un taladro de baja velocidad 350 RPM usando aspas o paletas.

Deje reposar unos minutos para eliminar burbujas y luego aplique con una brocha en el área de contacto.

El color de las partes batidas debe ser uniforme, nunca agregarle ningún solvente.

**IMPORTANTE:** El tiempo abierto para vaciar el concreto es de 2 horas como máximo.

Tiempo de trabajabilidad: 2 horas a 25° C

Temperatura de aplicación: 5° C a 40° C

#### **4. APLICACION DE LA MEZCLA DEL PRODUCTO:**

Aplique el **CHEMA EPOX ADHESIVO 32** preparado como puente de adherencia con una brocha cubriendo bien la superficie de contacto antes de las 2 horas. El espesor de la capa debe ser alrededor 1mm, dependiendo de la rugosidad de la superficie.

La información que suministramos está basada en ensayos que consideramos seguros y correctos de acuerdo a nuestra experiencia. Los usuarios quedan en libertad de efectuar las pruebas y ensayos previos que estimen conveniente para determinar si son apropiados para un uso particular. El uso, aplicación y manejo de los productos, queda fuera de nuestro control y es de exclusiva responsabilidad del usuario.



**IMPORTADORA TECNICA INDUSTRIAL Y COMERCIAL S.A.**

Av. Industrial 765, Lima 1. Teléf. (511) 336-8407 - Fax (511) 336-8408  
e-mail: chema@iticsa.com web: www.iticsa.com



| CARACTERISTICAS FISICO QUIMICAS      | CHEMA EPOX                    |                          |
|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
|                                      |                               | ADHESIVO 32              |
| Color                                | Parte "A"                     | Gris Oscuro              |
|                                      | Parte "B"                     | Ambar                    |
|                                      | Mezcla A+B                    | Gris Oscuro              |
| Peso específico (Kg/gal)             | Parte "A"                     | 5.668                    |
|                                      | Parte "B"                     | 3.699                    |
|                                      | Mezcla A+B                    | 5.234                    |
| Viscosidad (KU)                      | Mezcla A+B                    | 108.5                    |
| Pot life                             | Mezcla A+B                    | 2h 10'                   |
| Resistencia a la compresión (Kg/Cm2) | 1 día                         | 550                      |
|                                      | 3 días                        | 715                      |
|                                      | 7 días                        | 814                      |
| Dureza Shore D                       | 1 día                         | 55                       |
|                                      | 3 días                        | 65                       |
|                                      | 7 días                        | 70                       |
| Secado                               | Tacto                         | 4h30'                    |
|                                      | Tacto duro                    | 24h                      |
| Rendimiento                          | Como Relleno de Anclaje       | 3.5 litros/gal           |
|                                      | Como Película (1 mm de e.p.h) | 4.65 m <sup>2</sup> /gal |
| Proporción Mezcla en Volumen         | Parte "A"                     | 3                        |
|                                      | Parte "B"                     | 1                        |
| Proporción Mezcla en peso (Kg)       | Parte "A"                     | 4.11                     |
|                                      | Parte "B"                     | 0.89                     |
|                                      | Total                         | 5.00                     |

**RENDIMIENTO:** Consumo aprox. 0.3 a 0.5 Kg/m<sup>2</sup>

**ALMACENAMIENTO:** 1 año mínimo en su envase original cerrado, en ambientes entre 10° y 25°.

**PRESENTACION:**

Kit de 1 kg (Parte A: 0.82kg Parte B: 0.18 kg)

Kit de 5 kg (Parte A: 4.11kg Parte B: 0.89 kg)

**COMPOSICION:** Resinas epóxicas

**INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD:**

Los componentes del epóxico pueden causar irritación. Evite el contacto con los ojos y la piel. utilice guantes y lentes protectores al aplicarlo como precaución. Para mayor información solicite la Hoja Técnica u Hoja de Seguridad al Telf: (511) 336-8407 e-mail: atecnico@iticsa.com

**ANEXO Nº09: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS Y POLINÓMICA**

S10 Página : 1

**Fórmula Polinómica**

Presupuesto **0102005 Colegio Lord Byron**  
 Subpresupuesto **002 SECTOR B - ESTACIONAMIENTO**  
 Fecha Presupuesto **03/03/2013**  
 Moneda **NUEVOS SOLES**  
 Ubicación Geográfica **040103 AREQUIPA - AREQUIPA - CAYMA**

$K = 0.169^{*}(Mr / Mo) + 0.439^{*}(ACr / ACo) + 0.202^{*}(Ar / Ao) + 0.075^{*}(Mr / Mo) + 0.115^{*}(lr / lo)$

| Monomio | Factor | (%)     | Simbolo | Indice | Descripción                             |
|---------|--------|---------|---------|--------|---|
| 1       | 0.169  | 100.000 | M       | 47     | MANO DE OBRA INC. LEYES SOCIALES        |
| 2       | 0.439  | 78.815  | AC      | 05     | AGREGADO GRUESO                         |
|         |        | 21.185  |         | 21     | CEMENTO PORTLAND TIPO I                 |
| 3       | 0.202  | 100.000 | A       | 03     | ACERO DE CONSTRUCCION CORRUGADO         |
| 4       | 0.075  | 100.000 | M       | 48     | MAQUINARIA Y EQUIPO NACIONAL            |
| 5       | 0.115  | 100.000 | I       | 39     | INDICE GENERAL DE PRECIOS AL CONSUMIDOR |

S10 Página : 1

**Fórmula Polinómica**

Presupuesto **0102005 Colegio Lord Byron**  
 Subpresupuesto **007 SECTOR D - 2º PISO**  
 Fecha Presupuesto **03/03/2013**  
 Moneda **NUEVOS SOLES**  
 Ubicación Geográfica **040103 AREQUIPA - AREQUIPA - CAYMA**

$K = 0.580^{*}(AAr / AAo) + 0.190^{*}(Mr / Mo) + 0.171^{*}(lr / lo) + 0.059^{*}(MMr / MMo)$

| Monomio | Factor | (%)     | Simbolo | Indice | Descripción                             |
|---------|--------|---------|---------|--------|---|
| AA      | 0.580  | 44.138  |         | 03     | ACERO DE CONSTRUCCION CORRUGADO         |
|         |        | 55.862  | AA      | 05     | AGREGADO GRUESO                         |
| J       | 0.190  | 100.000 | M       | 47     | MANO DE OBRA INC. LEYES SOCIALES        |
| L       | 0.171  | 100.000 | I       | 39     | INDICE GENERAL DE PRECIOS AL CONSUMIDOR |
| M       | 0.059  | 18.644  |         | 43     | MADERA NACIONAL PARA ENCOF. Y CARPINT.  |
|         |        | 81.356  | MM      | 49     | MAQUINARIA Y EQUIPO IMPORTADO           |





- ✘ Muchas veces las actividades de la semana estaban con restricciones, y según la teoría solo se deben programar en el plan semanal aquellas que se encuentren libres de restricciones. Poco a poco se llegó a dominar el tiempo necesario para levantar una restricción. Así por ejemplo, al principio el pedido de acero se hacía con 2 días de anticipación.
- ✘ Comenzó a aparecer la principal restricción del proyecto: La disponibilidad del concreto premezclado para vaciados de un volumen considerable con la única concretera del medio. (Se analizará con detenimiento posteriormente).
- ✓ No se recomienda copiar las partidas del presupuesto y pegarlas en el formato *Look Ahead* porque resulta muy largo y difícil de comprender. Es preferible agrupar las actividades por sus similitudes (horizontales, verticales, excavaciones) o usar un idioma más sencillo (en vez de “acero corrugado Grado 60 para columnas” usar “acero verticales”).
- ✓ Es recomendable anotar las principales restricciones en una pizarra y las restricciones menos importantes o con un plazo mayor de tiempo para levantarlas alcanzárselas al responsable con el uso de post-it.
- ✓ Es necesario un seguimiento al cumplimiento de las restricciones porque de lo contrario el flujo puede parar al no haber mano de obra, recursos, equipos, insumos, etc.



**NOMBRE DEL DOCUMENTO**  
**INSTRUCTIVO DE LLENADO DEL FORMATO**  
**“PLAN SEMANAL”**

OBRA: ESTACIONAMIENTOS - AULAS COLEGIO LORD BYRON  
RESPONSABLE: ING. DANTE YAGUA PADILLA  
PLAN SEMANAL: SEMANA 21

| ÍTEM     | Actividad                 | Und      | Metrado Total | Metrado Semanal | SEMANA 21 |    |    |          |    |    |    |
|----------|---------------------------|----------|---------------|-----------------|-----------|----|----|----------|----|----|----|
|          |                           |          |               |                 | MAYO      |    |    |          |    |    |    |
|          |                           |          |               |                 | L         | M  | M  | J        | V  | S  | D  |
|          |                           |          |               |                 |           |    |    |          |    |    |    |
|          |                           |          |               |                 | 27        | 28 | 29 | 30       | 31 | 01 | 02 |
| <b>1</b> | <b>II ETAPA</b>           | <b>3</b> | <b>4</b>      | <b>5</b>        |           |    |    | <b>6</b> |    |    |    |
|          | <b>SECTOR C</b>           |          |               |                 |           |    |    |          |    |    |    |
| 4.1      | EXCAVACIÓN                | m3       |               |                 | X         | X  | X  |          |    |    |    |
| 4.2      | CONCRETO SOLADO           | m2       |               |                 |           | X  | X  |          |    |    |    |
| 4.3      | ACERO VC, ZAPATAS         | kg       |               |                 |           |    |    | X        |    |    |    |
| 4.4      | ACERO VERTICALES          | kg       |               |                 |           | X  | X  | X        | X  |    |    |
| 4.5      | CONCRETO VC, ZAPATAS      | m3       |               |                 |           |    |    |          |    | Ce |    |
| 4.6      | ENCOFRADO VERTICALES      | m2       |               |                 |           |    |    |          |    |    |    |
| 4.7      | CONCRETO VERTICALES       | m3       |               |                 |           |    |    |          |    |    |    |
| 4.8      | DESENCOFRADO VERTICALES   | m2       |               |                 | X         | X  |    |          |    |    |    |
| 4.9      | RELLENO                   | m3       |               |                 |           |    |    | X        | X  |    |    |
| 4.10     | NIVELACIÓN                | m2       |               |                 | X         |    |    |          |    |    |    |
| 4.11     | PAVIMENTO                 | m2       |               |                 |           |    |    |          |    |    |    |
| 4.12     | ENCOFRADO HORIZONTALES    | m2       |               |                 | X         | X  | X  | X        | X  |    |    |
| 4.13     | ACERO HORIZONTALES        | kg       |               |                 | X         | X  | X  | X        | X  |    |    |
| 4.14     | CONCRETO HORIZONTALES     | m3       |               |                 |           |    |    |          | Z2 |    |    |
| 4.15     | CONTRAPISO                | m2       |               |                 |           |    |    |          |    |    |    |
| 4.16     | DESENCOFRADO HORIZONTALES | m2       |               |                 |           |    |    |          | X  |    |    |
| 4.17     | DETALLES ARQUITECTÓNICOS  |          |               |                 |           |    |    |          |    |    |    |

|          |   |
|----------|---|
| <b>1</b> | Corresponde al ítem sacado del presupuesto. Por ejemplo, 01.02  |
| <b>2</b> | Nombre de la Actividad. En este caso no solo es copiar del presupuesto, se deben incrementar todas las actividades, trabajos, mandados, etc. que intervienen en la semana y son importantes. Por ejemplo: Concreto Verticales, Armar Winche, Reunión con Cliente. |
| <b>3</b> | Unidad de medida. Si no tiene unidad poner “ – ”  |
| <b>4</b> | Metrado Total extraído del presupuesto. Si no tiene metrado poner “ – ”   |
| <b>5</b> | Metrado semanal objetivo. Es el avance que se pretende tener en la semana. Si no tiene metrado poner “ – ”  |
| <b>6</b> | Se le asigna un día de la semana a cada actividad. Puede ponerse una “X”, colorearse, poner el sector al que pertenece; en general cualquier identificador que sea significativo para los que utilizarán el plan.   |

|           |            |          |        |
|-----------|------------|----------|--------|
| CÓDIGO    | FECHA      | REVISIÓN | PÁGINA |
| LC-ILL-03 | JULIO 2013 | 01       | 1 de 1 |

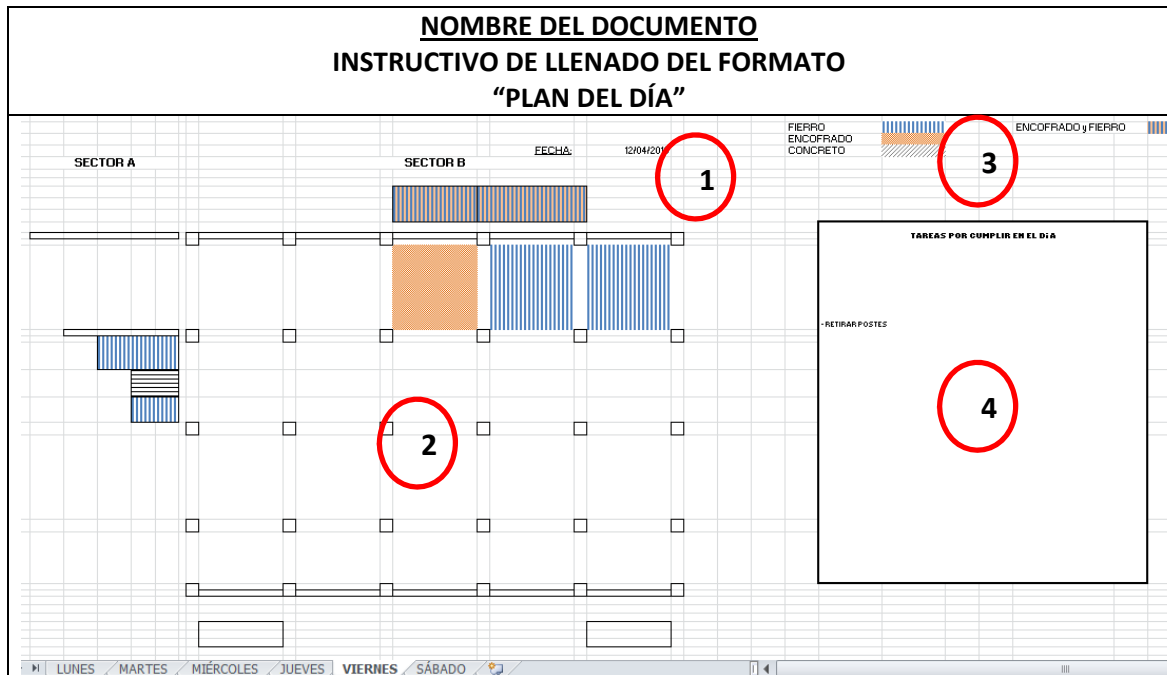
**DIFICULTADES – LECCIONES APRENDIDAS**  
**IMPLEMENTACIÓN PROGRAMACIÓN SEMANAL**

- ✘ Era común incluir actividades en el plan semanal sin que hayan sido liberadas a la fecha de programar por la costumbre de hacerlo un día antes o el mismo día. Por ejemplo, armando el plan un día viernes, y necesitando el acero para el miércoles, se esperaba llamar el día martes para pedirlo sin ser conscientes de que podía fallarnos el proveedor principal o cualquier otra razón externa que podía detener el flujo.
- ✘ En esta primera etapa el plan semanal era impreso en hojas A-3 exactamente como el formato. Esto presentó ciertas dificultades porque no es muy fácil para el maestro de obra o el personal leer e interpretar el gráfico tipo Gantt. Así que se analizó una forma más sencilla y dinámica para la siguiente etapa.
- ✘ Si el plan semanal no es elaborado en conjunto no trae resultados y es simplemente una

hoja pegada en la pared. Se debe realizar en equipo y con el compromiso de su realización.

- ✓ No se trata solo de copiar la primera semana del Look Ahead e imprimirla. Se debe realizar un análisis más profundo de ésta y explotar las actividades para determinar cómo controlar las restricciones.
- ✓ No se recomienda copiar las partidas del presupuesto y pegarlas en el formato *Look Ahead* porque resulta muy largo y difícil de comprender. Es preferible agrupar las actividades por sus similitudes (horizontales, verticales, excavaciones) o usar un idioma más sencillo (en vez de “acero corrugado Grado 60 para columnas” usar “acero verticales”).
- ✓ Es recomendable que las principales y más importantes actividades a realizar en la semana sean resaltadas por ser más críticas que las demás. Por ejemplo contratar la maquinaria para el día martes debe hacerse en el momento adecuado. De lo contrario significará el fracaso del Plan semanal.





|          |   |
|----------|---|
| <b>1</b> | Fecha del día de Trabajo. Se puede programar en Excel para que sea automatizado con una fórmula.  |
| <b>2</b> | Esquema gráfico realizado con Celdas de Excel. Se pueden hacer fácilmente columnas, placas, muros. No es algo exacto pero tiene que permitir rellenar y colorear con facilidad.                                   |
| <b>3</b> | Listado de actividades, cada una con su respectiva trama o color de relleno. De este modo si hay que encofrar o vaciar cierta zona se rellena con un color o trama diferente.                                     |
| <b>4</b> | Tareas por Cumplir en el Día. En este cuadro se ponen las tareas como lista de actividades o se podría poner con horas, dependiendo del nivel de precisión y del personal de Soporte para el llenado de la ficha. |

|           |            |          |        |
|-----------|------------|----------|--------|
| CÓDIGO    | FECHA      | REVISIÓN | PÁGINA |
| LC-ILL-04 | JULIO 2013 | 01       | 1 de 1 |

**DIFICULTADES – LECCIONES APRENDIDAS**  
**IMPLEMENTACIÓN PLAN DEL DÍA**

- ✘ El llenado de este formato requiere de tiempo y para ello es necesario personal que tenga esta labor como una de sus responsabilidades.
- ✘ Es fundamental el compromiso del grupo de trabajo porque de lo contrario va a ser simplemente una hoja sin sentido y que será desechada constantemente.
- ✓ Es muy bueno realizar el plan del día siguiente en una pequeña reunión en campo con el Último Planificador ya que brindará aportes muy importantes sobre el avance real y las restricciones que se puedan tener que muchas veces no son de conocimiento del Ingeniero.
- ✓ Resulta importante consultarle a los jefes de cuadrillas y operarios principales sobre su capacidad para realizar estas labores. Así, se llegan a comprometer y tienen el conocimiento de la labor que realizarán al día siguiente.
- ✓ Durante la preparación de este plan es importante considerar la cantidad de recursos que se utilizarán y sobretodo distribuir correctamente la mano de obra, de tal manera que en la reunión diaria sobre el Plan del Día, todo el personal tenga claro el trabajo que realizará y no se presente el caso de personal que no estaba considerado y que tenga que hacer otras labores o sobredimensione cuadrillas.

| <b><u>NOMBRE DEL DOCUMENTO</u></b>   |                   |           |               |
|--|-------------------|-----------|---------------|
| <b>PROCEDIMIENTO MAESTRO PARA OPTIMIZAR PROCESOS</b>   |                   |           |               |
| <b>FASE 1: SIMPLE OBSERVACIÓN</b>  |                   |           |               |
| <p>2. <b><u>ÍNDICE</u></b></p> <p>12. ÍNDICE</p> <p>13. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</p> <p>14. NÚMERO DE MEDICIÓN Y FECHA</p> <p>15. OBJETIVO</p> <p>16. RESPONSABLE</p> <p>17. OBSERVACIONES</p> <p>18. RECURSOS</p> <p>19. GRÁFICO DEL PROCESO</p> <p>20. CONTROL DE TIEMPOS</p> <p>21. ANÁLISIS</p> <p>22. ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN</p> <p><b>12. <u>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</u></b></p> <p>Se describe el proceso específico a analizar.</p> <p><b>13. <u>NÚMERO DE MEDICIÓN Y FECHA</u></b></p> <p>Es necesario llevar un control de las mediciones para la retroalimentación. Así también la fecha de implementación.</p> <p><b>14. <u>OBJETIVO</u></b></p> <p>Se plantea el objetivo que se planea alcanzar en el proceso. Puede definir objetivos por sub-proceso en base a experiencias previas.</p> <p><b>15. <u>RESPONSABLE</u></b></p> <p>El ingeniero Residente, asistente o encargado de Producción. Puede hacerlo el Maestro de Obra a un Nivel Básico pero efectivo.</p> <p><b>16. <u>OBSERVACIONES</u></b></p> <p>Se deben mencionar características particulares de alguno de los sub-procesos. Se recomienda hacer una grabación de video y guardarla como respaldo del trabajo.</p> <p><b>17. <u>RECURSOS</u></b></p> <p>Mencionar la mano de obra (clasificada por rango o sin clasificar), Equipos, Herramientas, Materiales.</p> <p><b>18. <u>GRÁFICO DEL PROCESO</u></b></p> <p>Un gráfico sencillo que detalla el proceso. Sirve para tener noción de los desplazamientos y flujo de tareas.</p> <p><b>19. <u>CONTROL DE TIEMPOS</u></b></p> <p>Se subdivide el proceso y se controla la duración de cada uno de ellos.</p> <p><b>20. <u>ANÁLISIS</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>g. Metrado Producido (Con su Unidad de Medida)</li> <li>h. Horas Hombre utilizadas.</li> <li>i. Ratio de Producción (b/a)</li> <li>j. Cuellos de botella</li> <li>k. Pérdidas observadas</li> <li>l. Otros Análisis</li> </ul> <p><b>21. <u>ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN</u></b></p> <p>Se plantean todas las alternativas posibles para ser analizadas y aplicadas para la mejora continua.</p> |                   |           |               |
| CÓDIGO   | FECHA             | REVISIÓN  | PÁGINA        |
| <b>LC-PRO-01</b>   | <b>JULIO 2013</b> | <b>01</b> | <b>1 de 1</b> |

## ANEXO Nº11: LEAN CONSTRUCTION APLICADO EN EL PAVIMENTO DEL ESTACIONAMIENTO DEL COLEGIO LORD BYRON

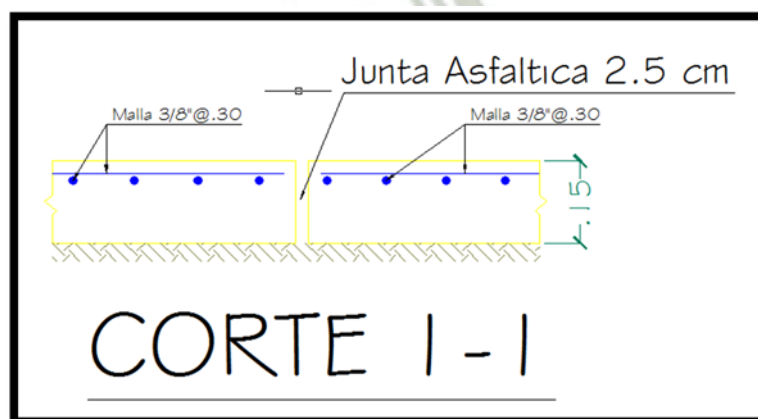
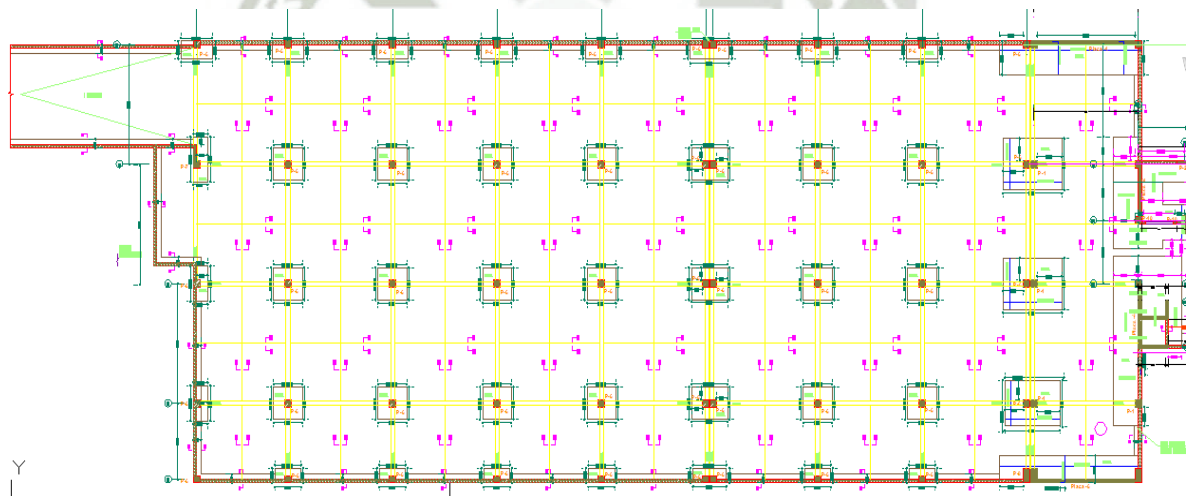
La siguiente investigación tiene como objetivo mostrar en la práctica lo que Lean Construction significa desde la perspectiva del último planificador, al asumir el reto de ser el encargado de llevar las órdenes directamente al campo y actuar como capataz o maestro de obra.

Se expondrá el uso de Lean Project Management desde la etapa de diseño, planificación y ejecución del pavimento para maximizar el valor para el cliente y reducir las pérdidas. Finalmente se hará una evaluación de los resultados obtenidos.

### A. Presentación del Caso

El proyecto de estacionamientos incluye un pavimento rígido de 2230 m<sup>2</sup> como superficie de rodadura para el tránsito de los 68 vehículos que tiene como capacidad y existe toda una disposición de circulación y señalización aprobada por el colegio.

El diseño original propone geoméricamente paños de 4 metros por 4 metros y estructuralmente un pavimento de concreto de 15 centímetros de espesor con una malla de acero en ambas direcciones para afectos de temperatura o control de fisuración y una junta de 2.5 cm de espesor a ser rellenada con mezcla asfáltica tipo damero.



Se analizó la opción y se buscaron otras alternativas con el objetivo principal de reducir los plazos de construcción; para ello se contactó con una consultora especializada en pavimentos para que propongan un diseño de pavimento utilizando fibras sabiendo que en nuestra región es un material nuevo y que en teoría permitiría alcanzar los objetivos planteados.

De tal modo que plantearon lo siguiente:



Departamento de Ingeniería y Proyectos  
Tel: (51-54) 257-794  
Email: [arequipa@maccaferri.com.pe](mailto:arequipa@maccaferri.com.pe)  
Web: [www.maccaferri.com.pe](http://www.maccaferri.com.pe)

Fecha: 11/02/2013

Proyecto: PE-PAV-40-13

Rev: 00

Para: NUEVA ANDINA S.A.

Atención: Ing. Dante Yagua Padilla



Referencia: Losa fibroreforzada para el estacionamiento subterráneo del Colegio Lord Byron

## 1.0 INTRODUCCION

El presente proyecto trata de una losa monolítica apoyada sobre el suelo, la cual será ejecutada en concreto fibroreforzado. Pavimentos rígidos realizados en concreto fibroreforzado traen consigo ventajas técnicas y económicas en comparación con las pavimentaciones rígidas ejecutadas en concreto reforzados convencionalmente.

La incorporación de fibras de acero WIRAND® logran un incremento sustancial en las propiedades de esfuerzo y tenacidad, especialmente en condiciones de subbase desfavorables.

No es necesaria la utilización de una capa regularizadora o recubrimiento para la losa, por lo que el espesor de la losa puede ser generalmente optimizado o reducido.

El ahorro en tiempo y costo que viene dado por la utilización de fibras de acero WIRAND® debido a la eliminación de costos de colocación y control del acero convencional, además que el camión de concreto puede acceder directamente hasta el sitio de colocación evitando así gastos en la utilización de bombas de concreto.

Las fibras de acero WIRAND® pueden ser añadidas a la mezcla de concreto con mucha facilidad, ya sea directamente al camión con la mezcla lista o en la planta durante el proceso de introducción de los agregados. En el caso de introducción directa en el camión, el tiempo de mezclado será aproximadamente de 1 minuto por metro cúbico, desde el inicio de colocación de las fibras.

No es necesaria la utilización de equipos especiales de dosificación de fibras, pero los mismos se encuentran disponibles en caso que el cliente lo considere apropiado para incrementar la productividad de la obra.

## 2.0 Diseño Estructural

El principio general de la metodología de diseño es la determinación del espesor de la losa de concreto o pavimento. La consideración de las características reales del concreto fibroreforzado permite obtener resultados validos en la práctica.

El diseño estructural de losas de concreto fibroreforzado se basa en reglas técnicas y recomendaciones incluidas en el código ingles TR 34/3. Este procedimiento facilita el uso de las propiedades mecánicas naturales del concreto mejorando las propiedades de esfuerzo y comportamiento post fisuración debido a la incorporación de fibras de acero WIRAND® FF1. Las reflexiones sobre factores de seguridad están acorde al código EC 2 / TR34.

[TR34] Los cálculos y las consideraciones de diseño de este método están basadas en los códigos EN206, Eurocódigo 2, y en el reporte TR34 tercera edición, de "The Concrete Society", UK, de pisos de concreto apoyados sobre suelos. Las teorías de diseño están basadas en los métodos de Losberg, Meyerhof y Hetenyi.

### 3.0 DISEÑO

#### 3.1 Procedimiento de Cálculo

El procedimiento de cálculo adaptado por el programa PAVE 2008 está basado en los reglamentos mencionados en los párrafos anteriores, el cual puede ser seleccionado por el diseñador según su preferencia.

A partir de un pre-diseño (Peralte de losa y dosificación de fibras metálicas y/o polipropileno) se determina los esfuerzos admisibles de la estructura.

Luego, se determinan los esfuerzos actuantes debido a las cargas sobre el pavimento, los cambios de temperatura y los esfuerzos de retracción que están presentes en el concreto; en el caso de las cargas se verificará también si la carga es en el borde del paño, en la esquina o en el centro, considerando también si las juntas serán con dowells o no.

Estos esfuerzos actuantes son amplificadas utilizando los factores de seguridad que estipule el código seleccionado para el diseño.

Finalmente, se compararán los esfuerzos actuantes con los admisibles por la estructura y se calcularán factores de seguridad que serán los que determinen la certeza del diseño recomendado.

#### 3.2 Datos de Diseño:

- CBR de diseño = 6.0 %.
- Resistencia de Concreto  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- Espesor de losa de 12.50 cm con  $20 \text{ kg/m}^3$  de fibra de acero Wirand FF1 y  $600\text{gr/m}^3$  de fibra de polipropileno Fibromac12.
- Carga para el diseño: 1 Tnf por rueda (Van Hyundai H-1)

#### 3.3 Cálculo del espesor de la losa de concreto

Se introducen los principales datos del sistema (espesor y dosificación de fibras a verificar), datos de temperatura, calidad de concreto, valores de resistencia, etc. como se muestra a continuación:

Para comenzar con el diseño se ha considerado los siguientes datos de entrada.

|                                  |   |                      |
|----------------------------------|---|----------------------|
| h (espesor de losa)              | : | 125 mm               |
| Concreto                         | : | 210 $\text{kg/cm}^2$ |
| Espaciamiento entre juntas $L_x$ | : | 4.00 m               |
| Espaciamiento entre juntas $L_y$ | : | 2.58 m               |

*El espaciamiento entre juntas puede variar de acuerdo a la geometría como se observa en el plano adjunto.*



#### 4.0 DETALLE DE LAS JUNTAS

##### 4.1 Junta de Contracción

- *Concreto Simple:*

$$E_{cs} = (24 \text{ a } 36) \times \text{espesor de losa} \longrightarrow E_{cs} = 3.75 \text{ m}$$

- *Concreto Fibroreforzado:*

$$E_{cf} = 1.3E_{cs} \longrightarrow E_{cf} = 4.875 \text{ m}$$

Se considerará una junta de contracción cada 4.00 m típicas o según geometría dada.  
No se utilizarán Dowels

##### 5.0 Aplicación de fibras para el control de retracción de primera etapa del concreto

Sugerimos para complementar este diseño el controlar la retracción en primera etapa de curado del concreto con la adición de fibras de polipropileno del tipo micro filamentos del tipo FIBROMAC 12, a una razón de 600gr/m<sup>3</sup>, que blindaría la alternativa con microfisuraciones logrando un acabado impecable para la estructura prevista y alargando la vida útil de la estructura mejorando su resistencia a la abrasión.

##### 6.0 Sugerencias sobre la mezcla de concreto

Quisiéramos no dejar de resaltar algunas consideraciones importantes que vienen al caso de la aplicación en consideración de la mezcla de concreto:

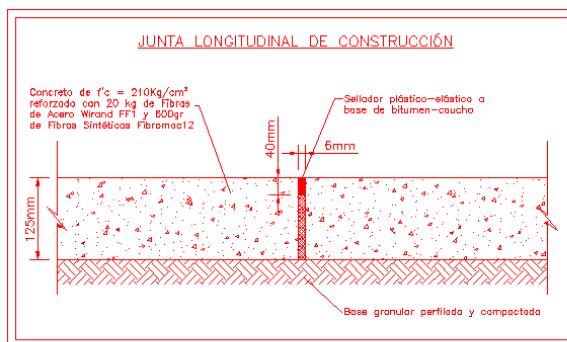
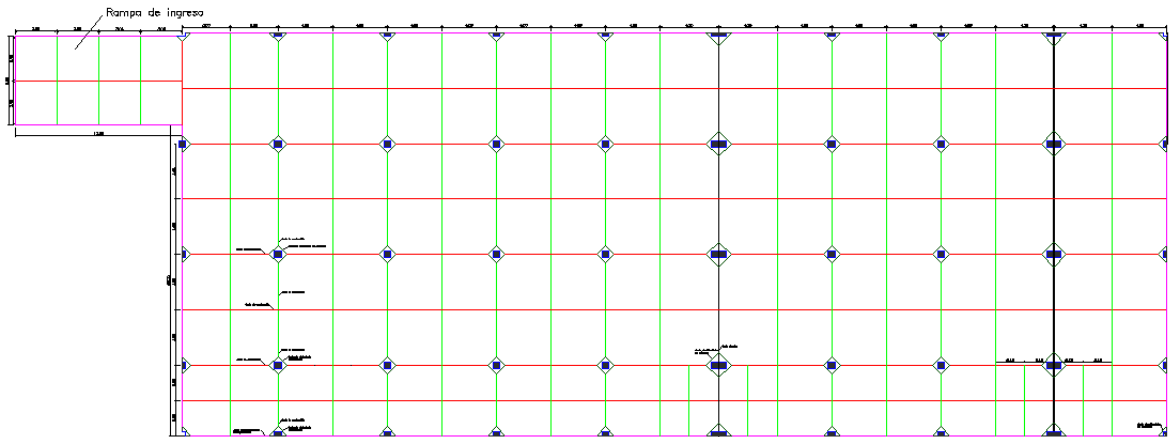
- ✓ La fibra que se sugiere es una fibra larga de L=50mm y diámetro D=1.00mm, para acompañar un agregado grueso importante en el orden de ¾" de diámetro máximo. Respetando la regla de no involucrar áridos mayores al 50% de la longitud de la fibra, permitiendo esto la distribución uniforme de los elementos y la superposición de los mismos, con el objeto de garantizar la transmisión correcta de esfuerzos.
- ✓ Es importante ubicar una mezcla rica en cantidad de cemento y agregado grueso para este revestimiento, que irán a incrementar el factor durabilidad por agresión abrasiva.
- ✓ La trabajabilidad de la mezcla se sugiere cuidar de la reducción de 1" en el slump tradicional del concreto simple.

#### 9.0 CONCLUSIONES

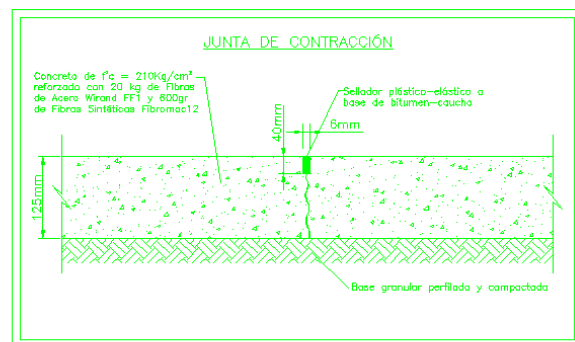
Luego de la justificación técnica pasamos a continuación a realizar un resumen de las aplicaciones:

| Aplicación | Espesor  | Solución Fibroreforzada  |  | Calidad de hormigón                    | CBR de diseño |
|------------|----------|--|--|--|---------------|
|            |          | Dosificación   |  |  |               |
|            |          | Fibra Metalica   | Fibra Sintética  |  |               |
| Losa       | 12.50 cm | <br>20 kg/m <sup>2</sup> de Wirand® FF1 | <br>0,6 Kg/m <sup>3</sup> de Fibromac® 12 | f <sub>c</sub> =210 Kg/cm <sup>2</sup> | 6.00%         |

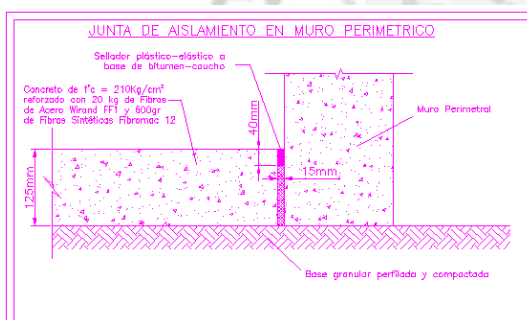
Con la dosificación de fibras se evitaba por completo la malla de acero, pero también permitía realizar vaciados por franjas longitudinales con juntas de construcción, contracción y aislamiento como se muestra en el siguiente esquema:



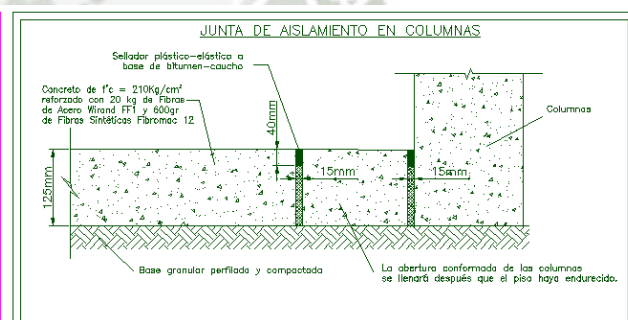
JUNTA LONGITUDINAL DE CONSTRUCCIÓN (SIN DOWEL)



JUNTA DE CONTRACCION (SIN DOWEL)



JUNTA DE AISLAMIENTO EN MUROS PERIMETRALES (SIN DOWEL)



JUNTA DE AISLAMIENTO EN COLUMNAS (SIN DOWEL)

Con la información recopilada, se procedió a realizar un análisis detallado desde el punto de la Constructabilidad. Además se tuvo que luchar contra el procedimiento tradicional de la malla de acero por el miedo que representan las cosas nuevas y la innovación.

## B. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN ENTRE LAS DOS OPCIONES

### a. Costo de Materiales

A primera instancia se pensó que esta tecnología implicaría mayores costos directos de materiales, para lo cual se elaboró un cuadro comparativo entre ambas propuestas que demostró que el costo es inclusive menor que usar acero por el hecho de que se reducen 2.5 centímetros de concreto. Este dato causó muchas dudas en el cliente y la empresa constructora porque no se está acostumbrado a creer en las nuevas tecnologías si son

“baratas”. Se generó desconfianza pero con un sustento teórico y la experiencia a nivel mundial documentada<sup>8</sup> y transmitida al cliente quien se mostró dispuesto al cambio.

|                                 | CONCRETO CON MALLA<br>DE ACERO | CONCRETO<br>FIBROREFORZADO |
|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| <b>Concreto f'c 210 kgf/cm2</b> |                                |                            |
| Área (m2)                       | 2230                           | 2230                       |
| Espesor (m)                     | 0.15                           | 0.125                      |
| Volumen de Concreto (m3)        | 334.5                          | 278.75                     |
| Precio Unitario (S/. / m3)      | 338                            | 338                        |
| Precio Total (S/.)              | S/. 113 061.00                 | S/. 94 217.50              |

| <b>Refuerzo</b>                              |               |               |
|--|---------------|---------------|
| Acero Corrugado G-060 f'y 4200 kgf/cm2 (Kgf) | 9500          | -             |
| Refuerzo de Fibras de Acero (kgf)            | -             | 5640          |
| Refuerzo de Fibras de Polipropileno (kgf)    | -             | 169.2         |
| Precio Unitario (S/. / kgf)                  | 3.363         | 6.23 / 20.7   |
| Precio Total (S/.)                           | S/. 31 948.50 | S/. 38 639.64 |

|              |                       |                       |
|--------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>TOTAL</b> | <b>S/. 145 009.50</b> | <b>S/. 132 857.14</b> |
|--------------|-----------------------|-----------------------|

En el costo de materiales, se obtiene que utilizar fibras de acero y polipropileno resulta un 8.38% más económico en este caso con un ahorro de S/. 12 152.36 nuevos soles.

b. Análisis de Constructabilidad

| CARACTERÍSTICA                                | CONCRETO CON MALLA DE<br>ACERO   | CONCRETO FIBRO-REFORZADO   |
|---|--|--|
| Reducción de Actividades que no agregan Valor | Uso de “Burritos” para mantener el acero a la altura especificada.   | No se requieren “burritos”.  |
| Incrementar el Valor del Producto             | Juntas de asfalto muy poco estéticas.<br>Probabilidad de mayor fisuración y por lo tanto desagradable estéticamente.   | Juntas delgadas rellenas con SikaFlex. Mejor acabado.<br>Control de fisuración. Acabado homogéneo y sin grietas.                                 |
| Reducción de la Variabilidad                  | Dificultades para el vaciado al tener un enmallado que debe mantenerse a una altura específica.<br>Al tener paños de 4 por 4 metros existe mayor probabilidad de falla y fisuración. | El vaciado es sencillo y rápido sin dificultades.<br><br>El diseño estructural está adecuado para paños de hasta 5 metros. Control de fisuración |

<sup>8</sup> Se consiguió el “Manual de Diseño y Construcción de Pisos Industriales” de CEMEX- México, donde se explica claramente las ventajas del uso del concreto fibroreforzado en su experiencia local.

|  |  |  |
|--|--|--|
| Reducción del tiempo de los ciclos.            | Demanda mayor tiempo su construcción.  | Reducción del tiempo producción.   |
| Simplificar el número de pasos.                | Se requiere medir el acero, cortarlo, transportarlo, colocarlo de una forma específica, amarrarlo con alambres cada 30 centímetros, levantarlo del suelo con "burritos", colocar tablas para las juntas y luego sacarlas. Retazos de acero y desperdicios de material. Se requiere vaciar por dameros. | Se elimina por completo la partida acero y solo se requiere de 10 minutos para dosificar las fibras en el mixer. No hay desperdicio de material. Se puede vaciar por franjas más largas. |
| Flexibilidad de salida                         | Los lotes de producción y transferencia son grandes más grandes por el propio procedimiento constructivo.  | Se pueden reducir los lotes de transferencia y trabajar con trenes de actividades. Los procesos son transparentes, claros y limpios.   |
| Transparencia de procesos                      | El proceso no es tan claro porque se requiere de especialización en el manejo del acero durante toda la construcción.  | El proceso es transparente y observable. Todos pueden verificar el proceso y aprender. La parte más técnica es la dosificación de las fibras. Se requieren de cuadrillas polivalentes.   |
| Control de los procesos globales               | Es más complicado conseguir el flujo continuo.   | Se logra flujo continuo.   |
| Mejora continua                                | Acepta pero más difícil de retroalimentar.   | Es muy sencilla la retroalimentación al ser procesos más simples.  |
| Equilibrio entre los flujos y las conversiones | Existe más variabilidad y se hace difícil mantener el flujo continuo.  | Se mejora el flujo de los procesos al ser más sencillo.  |
| Benchmarking                                   | Más fácil tener de donde comparar.   | Al no existir experiencia, se hizo poco confiable al principio hasta la estandarización y la creación del propio know-how.   |

Desde el punto de vista de la Constructabilidad, se demostró que el concreto fibroreforzado y su procedimiento constructivo era más fácil de construir. Finalmente se tuvo que demostrar que el plazo iba a ser menor.

### c. Reducción del Plazo

Se detallará con precisión más adelante la programación utilizada. En este punto se comparará la duración de la actividad con las dos opciones:

| DURACIÓN DE LA ACTIVIDAD  |                                   |
|---|-----------------------------------|
| CONCRETO CON MALLA DE ACERO   | CONCRETO FIBRO-REFORZADO          |
| Con los rendimientos conocidos, utilizando daderos y los impedimentos de este sistema constructivo. | Utilizando las herramientas Lean. |
| 30 días útiles  | 12 días útiles                    |
| 15 obreros  | 15 obreros                        |
| S/. 10.00 soles la hora - hombre  | S/. 10.00 soles la hora - hombre  |
| S/. 36 000 en mano de obra  | S/. 14 400 en mano de obra        |

En el costo de mano de obra, se obtiene que utilizar fibras de acero y polipropileno resulta un 60% más económico en este caso con un ahorro de S/. 21 600.00 nuevos soles.

Ahorro final:

|                      | CONCRETO CON MALLA DE ACERO | CONCRETO FIBROREFORZADO |
|----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| MATERIALES           | S/. 145 009.50              | S/. 132 857.14          |
| MANO DE OBRA         | S/. 36 000.00               | S/. 14 400.00           |
| <b>COSTO DIRECTO</b> | <b>S/. 181 009.50</b>       | <b>S/. 147 257.14</b>   |

Diseñar los productos con bajo la perspectiva de la Constructabilidad y utilizar nuevas tecnologías significó para la empresa un ahorro del 18% en el costo de construcción y una reducción del 60% en el tiempo de entrega con notables incrementos de calidad y satisfacción para el cliente.

d. Lean Design

Adicionalmente a los beneficios mostrados de por la Constructabilidad, se le pidió al consultor mejorar más la Constructabilidad del proyecto y verificar si las juntas de construcción debían llevar tecnoport de ½” como se especificaba.

Analizaron la pregunta y contestaron lo siguiente:

**Juntas de Construcción para Estacionamientos de Vehículos Ligeros**

El presente informe tiene como propósito justificar el uso de juntas de construcción a tope para losas de concreto a ser usadas en estacionamientos de vehículos ligeros.

A continuación se presentan extractos de la norma ACI 224.3R-95 *Joints in Concrete Construction* (Juntas en Construcciones de Concreto) junto con sus respectivas traducciones:

**Fuente:** ACI 224.3R-95 Joints in Concrete Construction, Pag. 28

**6.6 Estacionamientos**

Para propósitos de este informe, se tratará a los estacionamientos como un caso especial para pavimentos de concreto. Los estacionamientos y

aparcamientos realizan una función similar a los pavimentos, ya que proporcionan una superficie para todo ambiente que protege el terreno y distribuye las cargas a éste. Sin embargo, existen diferencias importantes. Los estacionamientos de concreto generalmente se construyen para albergar un tipo particular de vehículo, en vez de una gama amplia de tráfico.

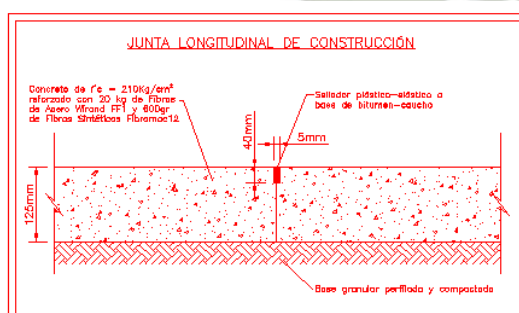
**Fuente:** ACI 224.3R-95 Joints in Concrete Construction, Pag. 23

**5.4.2.2 Juntas a Tope** – Cuando las juntas de construcción no coinciden con las juntas de aislamiento o contracción, se pueden usar juntas a tope en losas delgadas con carga ligera. La transferencia de cargas no es un aspecto determinante en el diseño. Sin embargo, para losas de mayor peralte o losas con cargas pesadas, se debe proveer un sistema de transferencia de cargas con juntas machihembradas o con dowels. De no ser este el caso, se pueden diseñar bordes de mayor peralte para reducir deflexiones en el borde libre de la losa.

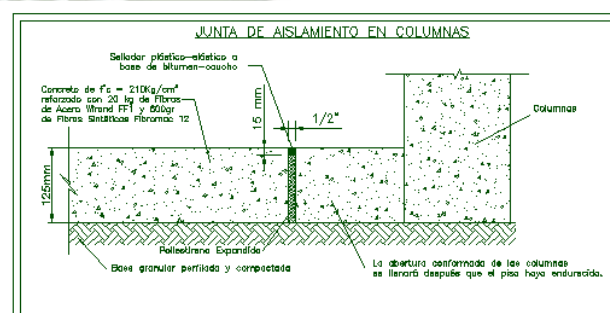
**Fuente:** ACI 224.3R-95 Joints in Concrete Construction, Pag. 28

**6.6.4. Juntas de Construcción** – Las juntas de construcción en estacionamientos pueden ser machihembradas o ser a tope, y pueden estar unidas. Las juntas a tope no proporcionan transferencia de cargas, pero esto no es requerido en estacionamientos que albergan a vehículos ligeros. Se necesita un sistema de transferencia de cargas cuando se trata de vehículos pesados. Ver el Apéndice C de la norma ACI 330R para detalles de juntas de construcción.

Por lo tanto, se justifica no usar dowels en las juntas de construcción de losas de estacionamiento de vehículos ligeros ya que no existen mayor necesidad de un sistema de transferencias de cargas y por lo tanto pueden hacerse juntas frías a tope y luego aserrarlas, tal como se procede con las juntas de contracción.



JUNTA LONGITUDINAL DE CONSTRUCCIÓN



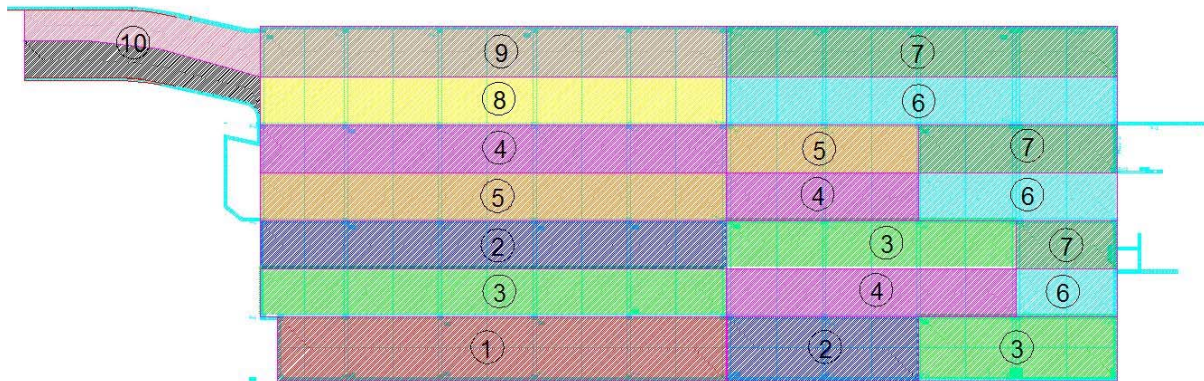
JUNTA DE AISLAMIENTO EN COLUMNAS

De este modo se consiguió eliminar la preparación y colocación de tecnoport a la medida exacta en todas las juntas longitudinales para evitar una bruña, un corte más ancho, más relleno de material sellante y limpieza de junta sin perjudicar la calidad de la estructura por encontrarse dentro de las normativas internacionales.

**C. EXPERIENCIA**

i. Plan Maestro y Look Ahead

Sectorización



Trenes de Trabajo

| ACTIVIDADES            | DÍAS |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |
|------------------------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
|                        | -1   | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9   | 10  | 11  |
| TRAZOS Y ALINEAMIENTO  | Z1   | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 | Z8 | Z9 | Z10 |     |     |
| ENCOFRADO              | Z1   | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 | Z8 | Z9 | Z10 |     |     |
| TECNOPORT              | Z1   | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 | Z8 | Z9 | Z10 |     |     |
| NIVELACIÓN             |      | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 | Z8 | Z9  | Z10 |     |
| COLOCACIÓN DE CONCRETO |      | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 | Z8 | Z9  | Z10 |     |
| PULIDO Y ACABADO       |      | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 | Z8 | Z9  | Z10 |     |
| DEENCOFRADO            |      |    | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 | Z8  | Z9  | Z10 |
| CORTE                  |      |    | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 | Z8  | Z9  | Z10 |
| LIMPIEZA Y CURADO      |      |    | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 | Z8  | Z9  | Z10 |

Se planeó dividir el trabajo en dos etapas: La primera del sector 1 al sector 5 del 18 al 23 de noviembre y la segunda etapa, los sectores del 6 al 10 del 09 al 14 de diciembre. Esto debido a que se necesita el carril ocupado por esos sectores para ingreso de material en camiones pequeños.

ii. Análisis de Restricciones y Plan Semanal

En este caso se utilizó más el visual management y el uso de los 7 flujos o restricciones para generar más compromiso y participación del equipo de trabajo.

Se usaron Post-its donde se escribía el nombre de la restricción y el responsable. El cumplimiento fue efectivo al 100% al hacerlo de este modo y cada responsable estaba preocupado en levantar su restricción en el tiempo solicitado porque se generó un gran compromiso por alcanzar la meta.



Por ejemplo:

- Se solicitaba que el sábado 16 se probaran las máquinas (alisadora y cortadora) para garantizar su correcto funcionamiento el día lunes 18. La Alisadora presentaba defectos técnicos y se aprovechó todo el día sábado para arreglarla. De no haber analizado esta restricción el día lunes no se habría podido cumplir con el plan.





- Se solicitó que las fibras lleguen a más tardar el día viernes 15 para programar una reunión con los consultores y pedirles su asistencia el día del primer vaciado.



iii. Flujo Continuo

La reducción de las partes del proceso generó una rápida curva de aprendizaje, y con la cantidad exacta de materiales se redujeron las pérdidas al máximo. El proceso se redujo a:

| ACTIVIDADES           | PANEL FOTOGRÁFICO  |
|-----------------------|--|
| TRAZOS Y ALINEAMIENTO |  |
| ENCOFRADO             |  |

|   |   |
|---|---|
| <p>TECNOPORT<br/>(En elementos<br/>Estructurales)</p> |   |
| <p>NIVELACIÓN</p>                                     |   |
| <p>COLOCACIÓN DE<br/>CONCRETO</p>                     |  |

|                         |  |
|-------------------------|--|
|                         |    |
| <p>PULIDO Y ACABADO</p> | <br>    |
| <p>DESENCOFRADO</p>     | <br> |

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <p>CORTE</p>             |   |
| <p>LIMPIEZA Y CURADO</p> |  |

iv. Buffers

Se usaron básicamente dos Buffers:

| BUFFER  | PANEL FOTOGRÁFICO  |
|---|--|
| <p>Arena Gruesa, Piedra Chancada y Cemento en cancha para completar la falta de concreto.</p> |  |

Considerar horas extra de trabajo por la lentitud en el fraguado de concreto; requisito importante para poder colocar la alisadora sobre el vaciado.

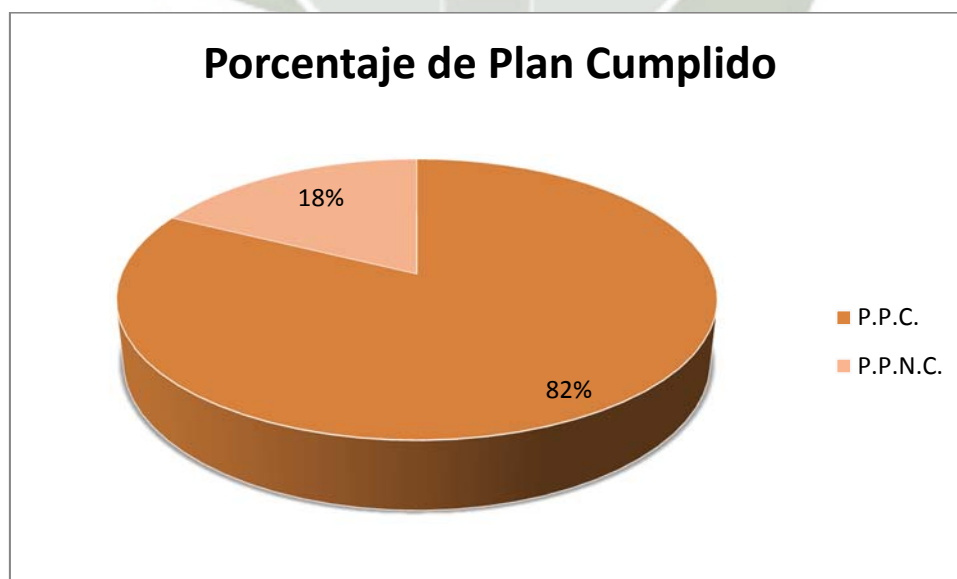


v. Pérdidas

Las pérdidas cuantificadas en el proceso fueron dos:

- Cuadrilla de vaciado esperando ante la demora de los mixers: Este problema se siguió presentando en esta etapa de la obra. La adición de las fibras duraba 10 minutos y el vaciado de todo el mixer otros 10 minutos, terminado ese tiempo había que esperar entre 20 y 40 minutos para el siguiente mixer. Se generaron esperas y tiempos no contributorios.
- Demolición del vaciado perimétrico de 3 columnas por un mal acabado: Las columnas están aisladas con rombos en todo su perímetro y contienen tecnoport para separar la losa de estas estructuras. La cuadrilla especializada no pudo hacerlo y se solicitaron 2 operarios para nuevos. Estos operarios adicionaron arena fina y al día siguiente se desprendía con mucha facilidad. Se decidió demoler y volver a vaciar.

vi. Porcentaje de Plan Cumplido y causas de incumplimiento.



Se alcanzó un Porcentaje de Plan cumplido del 82%, existiendo dos causas de incumplimiento del plan debido a la Logística, que no pudo abastecer las cantidades requeridas de concreto.

vii. Evaluación

Se obtuvieron los datos reales de la planilla de la semana del 18 al 23 de noviembre:

| Nº | PERSONAL OBRERO               | CATEGORÍA | HORAS HOMBRE | HORAS EXTRA | HORAS CONSUMIDAS | COSTO             |
|----|-------------------------------|-----------|--------------|-------------|------------------|-------------------|
| 1  | CAMINO SALINAS LEONARDO       | OFICIAL   | 40           | 0           | 40               | 400               |
| 2  | CASTILLO CASQUINA ROMULO      | OPERARIO  | 48           | 22          | 70               | 820               |
| 3  | CHAIÑA POMA ELOY              | PEÓN      | 25           | 0           | 25               | 218.75            |
| 4  | CHALCO LÓPEZ MARTIN           | OPERARIO  | 48           | 22          | 70               | 790               |
| 5  | GONZALES SABINCO ELISBAN      | OPERARIO  | 48           | 8           | 56               | 650               |
| 6  | GUTIERREZ GÓMEZ ELVER         | OPERARIO  | 40           | 0           | 40               | 595               |
| 7  | HUAMANI SAMATA ISAAC          | PEÓN      | 25           | 0           | 25               | 218.75            |
| 8  | MAMANI MAMANI BELTRÁN         | OFICIAL   | 40           | 0           | 40               | 400               |
| 9  | RAMOS RAMOS GREGORIO          | PEÓN      | 40           | 2.5         | 42.5             | 375               |
| 10 | VALERIANO VALENCIA MILANEO    | OPERARIO  | 48           | 22          | 70               | 790               |
| 11 | VILCA QUISPE TIBURCIO         | OPERARIO  | 48           | 24.5        | 72.5             | 815               |
| 12 | VILLENA RAMÍREZ ANÍBAL        | PEÓN      | 48           | 2.5         | 50.5             | 445               |
| 13 | YANA CHAIÑA ENRIQUE           | OPERARIO  | 40           | 2.5         | 42.5             | 500               |
| 14 | ZAMATA CHULLUNQUIA<br>LUCIANO | PEÓN      | 48           | 2.5         | 50.5             | 445               |
| 15 | ZANTALLA CONDORI AARON        | OPERARIO  | 40           | 2.5         | 42.5             | 500               |
|    |                               |           |              |             | <b>737</b>       | <b>S/. 7962.5</b> |

Control de Productividad del concreto fibroreforzado:

|                              |      |          |
|------------------------------|------|----------|
| Metros Cuadrados Realizados: | 1325 | m2       |
| Horas Hombre Consumidas:     | 737  | hh       |
| Ratio de Producción:         | 0.56 | hh/m2    |
| Mano de Obra por m2:         | 6.01 | Soles/m2 |

De haber utilizado concreto con malla de Acero, los resultados hubiesen sido aproximadamente:

|                              |       |          |
|------------------------------|-------|----------|
| Metros Cuadrados Realizados: | 1325  | m2       |
| Horas Hombre Consumidas:     | 1700  | hh       |
| Ratio de Producción:         | 1.28  | hh/m2    |
| Mano de Obra por m2:         | 13.86 | Soles/m2 |

Se obtuvo un incremento de la productividad del 128% al reducir el consumo de horas hombre de 1.28 a 0.56 horas hombre por metro cuadrado de piso utilizando concreto fibroreforzado, utilizando alisadoras para el acabado pulido, reduciendo y velando por la Constructabilidad.

#### D. CONCLUSIONES

Como se puede apreciar, haber utilizado los criterios de Constructabilidad, la tecnología, innovación, la planificación adecuada, la protección del plan y los principios Lean pudo incrementar la productividad del trabajo realizado y le permitió a la empresa reducir las pérdidas como se muestra en el siguiente cuadro:

|                                    | CONCRETO CON<br>MALLA DE ACERO | CONCRETO<br>FIBROREFORZADO |
|------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| MATERIALES                         | S/. 145 009.50                 | S/. 132 857.14             |
| MANO DE OBRA                       | S/. 36 000.00                  | S/. 14 400.00              |
| GASTOS POR MALA CONSTRUCTABILIDAD* | S/. 5 000.00                   | S/. -                      |
| <b>COSTO DIRECTO</b>               | <b>S/. 186 009.50</b>          | <b>S/. 147 257.14</b>      |

|                                       |                      |
|---------------------------------------|----------------------|
| REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS                 | <b>S/. 38 752.36</b> |
| PORCENTAJE SOBRE EL PROYECTO ORIGINAL | <b>21%</b>           |

\* Referido a más encofrado, juntas más gruesas, procedimiento constructivo por dameros, entre otras fuentes de pérdidas

## ANEXO Nº 12: PLANOS DE ARQUITECTURA

### PLANO Nº01:

PLANIMETRÍA Y PLANTA DEL ACCESO.

ESPECIALIDAD ARQUITECTURA. LÁMINA 01

### PLANO Nº02:

PLANTA DEL SÓTANO.

ESPECIALIDAD ARQUITECTURA. LÁMINA 02

### PLANO Nº03:

SEGUNDA Y TERCERA PLANTA

ESPECIALIDAD ARQUITECTURA. LÁMINA 06

### PLANO Nº04:

CORTE C-C

ESPECIALIDAD ARQUITECTURA. LÁMINA 09

### PLANO Nº05:

ELEVACIÓN NORTE, ELEVACIÓN ESTE Y CORTE I-I

ESPECIALIDAD ARQUITECTURA. LÁMINA 13

## GLOSARIO

**5s:** Cinco palabras que empiezan por la letra “ese” en japonés, utilizadas para crear un entorno de trabajo adecuado para el control visual y la producción esbelta.

**Andon:** Sistema de control visual situado en el área de trabajo, que informa de la situación de las operaciones de producción y alerta a los miembros del equipo de los problemas que surgen.

**Balanceo de la línea:** Un proceso en el cual los elementos del trabajo son gradualmente distribuidos dentro del *Value Stream* para alcanzar el *Takt time*.

**Benchmarking:** Método estructurado para identificar un proceso de clase mundial, para entonces compartir información relevante y aplicarla dentro de la organización para mejorar los procesos que sean similares.

**Buffer:** Es un “colchón” que sirve para manejar la variabilidad. Hay tres tipos: de capacidad, inventario y tiempo.

**Desperdicio:** Conocido como **Muda**. Es todo aquello que no agrega valor y por lo cual el cliente no está dispuesto a pagar. Los siete tipos de desperdicios son: sobreproducción, espera, transporte innecesario, sobre procesamiento, inventario, movimiento y retrabajos.

**Lean Enterprise:** Una organización que entiende completamente, comunica, implementa y mantiene los conceptos Lean en todas y cada una de sus operaciones, así como las áreas que la forman.

**Empowerment:** Es el hecho de delegar poder, autoridad y responsabilidad a los subordinados o asociados y de conferirles el sentimiento de que son dueños de su propio trabajo. Además, es una herramienta que provee los elementos para fortalecer los procesos que llevan a las empresas a su desarrollo, como son programas de calidad, mantenimiento y mejora continua.

**Flujo:** El tercer principio de Lean. La realización progresiva de todas las tareas a lo largo del flujo de valor.

**Flujo continuo:** Se puede resumir en un simple enunciado: “mover uno, hacer uno” (o “mover un pequeño lote, hacer un pequeño lote”).

**Gemba:** Palabra japonesa utilizada para definir el lugar real, el sitio donde ocurre la acción real. La gerencia debe ayudar al gemba para que realice un mejor trabajo mediante la reducción de restricciones.

**Genchi/genbutsu:** Ir – Observar – Entender.

**Heijunka o nivelación de carga:** Es un sofisticado método para planear y nivelar la demanda del cliente a través del volumen y variedad a lo largo del turno o del día.

**Jalar:** Es el cuarto principio del pensamiento Lean, el cual significa que nadie debe producir un bien o servicio hasta que el cliente lo requiera.

**Jidoka:** Un método basado en el uso práctico de la automatización a prueba de errores, con el fin de detectar los defectos y liberar a los trabajadores para que hagan múltiples actividades dentro de la célula. En otras palabras, jidoka busca promover el flujo.

**Just In Time:** Es el primer pilar del sistema de producción Toyota; un paradigma de la producción que asegura de que el cliente reciba solamente lo que necesita, justo cuando lo requiere y en la cantidad exacta que solicitó. Fue diseñado y perfeccionado en Toyota por Taiichi Ohno, específicamente para medir el desperdicio de producción.

**Kaizen:** Pequeñas mejoras diarias hechas por todos. Kai significa “tomar una parte” y zen significa “hacerlo bien”. El punto de la implementación kaizen es la eliminación total del desperdicio. También significa mejoramiento continuo que involucra a todos (gerentes y trabajadores por igual).

**Kanban:** Un sistema para controlar el inventario; es el corazón del sistema jalar. Originalmente usa tarjetas para comunicar a los procesos qué es lo que se requiere y cuándo se necesitan.

**Lean:** Limpio, magro, sin grasa.

**Lean Thinker:** Aquella persona que piensa con el enfoque Lean o Lean Thinking.

**Lean Thinking:** Es un sistema cuyo enfoque es la eliminación del desperdicio, además de proveer una forma de hacer más y más con menos – menos personal, menos equipo, menos tiempo, menos espacio – mientras se hace más corto el tiempo que tardan en brindarle al cliente lo que exactamente desea.

**Lead Time:** Plazo de tiempo que debe esperar el cliente para recibir un producto después de haber formalizado un pedido.

**LPS:** Last Planner System o Sistema del Último planificador.

**Make-do:** Considerada la 8 pérdida para la construcción. Consiste en iniciar una actividad sin tener todos los requisitos para hacerla.

**Make- Ready:** Realizar las acciones necesarias para que esté todo listo en el inicio de una actividad.

**Mantenimiento productivo total:** Este mantenimiento está dirigido a la maximización de la efectividad del equipo durante toda la vida del mismo.

**Poka-Yoke:** Es una técnica para evitar los simples errores humanos de trabajo.

**Proceso:** Una serie de operaciones individuales necesarias para diseñar un producto, completar un pedido o fabricar un producto.

**Sistema Pull:** Un sistema de producción y entrega en cascada que va desde el final del flujo del producto (hacia atrás) hacia su inicio (hacia adelante), en el que nada se fabrica por el proveedor ubicado en el inicio, hasta que el cliente, ubicado al final, expresa una necesidad.

**Takt Time:** Es el ritmo de producción que marca el cliente. Se calcula dividiendo el tiempo de producción disponible (o el tiempo disponible de trabajo por turno) entre la cantidad total requerida (o la demanda del cliente por turno).

**Tiempo del ciclo:** Es el lapso que transcurre desde que inicia un proceso u operación hasta terminarla.

**Valor:** El punto crítico de inicio para el pensamiento Lean es el valor. El valor lo puede definir solamente el cliente. El valor lo crea el fabricante.

**Value Stream:** Son todas las acciones (tanto las que agregan y como las que no agregan valor) requeridas actualmente para brindar un producto a través de flujos esenciales para cualquier producto.

**Value Stream Mapping:** Es la representación visual del flujo de información y materiales de una familia de productos en específico.



## FUENTES DE INFORMACIÓN

### BIBLIOGRAFÍA

- ALARCÓN, L.F.; DIETHELM, S.; ROJO, O.; CALDERÓN, R. (2008) “Assessing the impacts of implementing lean construction”. Revista Ingeniería de Construcción, 23(1), 26-33.
- ALARCÓN, L.F.; PELLICER, E. (2009) “Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas”. Revista de Obras Públicas, 3496, 45-52.
- ALARCÓN, L.F.; RODRÍGUEZ, A.D.; (2011) “La Gestión de la obra desde la perspectiva del último Planificador”. Revista de Obras Públicas, 3518.
- ÁLVAREZ V. M.E.; (2007) “Lean Data: Aplicación de Lean Construction en la toma de datos”
- ÁLVAREZ T. M.; (2008) “Manual para Elaborar Manuales de Políticas y Procedimientos” Segunda Edición: mejorada y enriquecida. Editorial Panorama.
- BALLARD, H.G. (1994) “The last planner”. Northern California Construction Institute, Spring Conference, Monterey, (acceso 29/09/2008).
- BALLARD, H.G. (2000) “The Last Planner System of Production control”. Tesis Doctoral. University of Birmingham, Birmingham.
- BALLARD, H.G., HOWELL, G. (1998) “Shielding production: an essential step in production control”. Journal of Construction Engineering in Management, 124(1), 18-24.
- BALLARD, H.G., HOWELL, G. (2003) “Lean project management”. Building Research & Information, 31(2), 119–133.
- BOTERO, L.F., ÁLVAREZ, M.E. (2004) “Guía de Mejoramiento Continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda”. Revista Universidad EAFIT-Vol. 40 Nro 136 pp 50-64.
- CAMPERO, M.; ALARCON, L.F. (2008) “Administración de proyectos civiles” (3ª edición). Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago.
- DÍAZ, J.M. (2012) “Nuevos pasos para ser un líder en la Construcción” Revista Civilízate. Año 1 – Primera Edición. Pp. 30-31. Universidad Católica de Santa María de Arequipa.
- GOLDRAT E. M. (2007) “La Meta. Un proceso de Mejora Continua” Tercera Edición. Editorial Granica S.A.
- GONZÁLEZ, V.; ALARCÓN, L.F.; MUNDACA, F. (2008) “Investigating the relationship between planning reliability and project performance”. Production Planning and Control, 19(5), 461-474
- KOSKELA, L. (1992) “Application of the new production philosophy to construction”. Technical Report #72. Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University. Stanford.
- KOSKELA, L. (2000) “An exploration towards a production theory and its application to construction”. Tesis Doctoral. Technical Research Centre of Finland, Espoo.
- ORIHUELA, P. (2008) “Aplicación de la Teoría de Restricciones a un proceso constructivo”. Corporación Aceros Arequipa. Construcción Integral. Boletín N°01. Enero – Febrero 2008.
- ORIHUELA, P. (2011) “Lean Construction en el Perú”. Corporación Aceros Arequipa. Construcción Integral. Boletín N°12. Abril 2011.
- ORIHUELA, P. (2011) “La Planificación de las Obras y el Sistema Last Planner”. Corporación Aceros Arequipa. Construcción Integral. Boletín N°12. Julio 2011.
- ORIHUELA, P. (2003) “Constructabilidad en pequeños proyectos inmobiliarios”. VII Congreso Iberoamericano de Construcción y Desarrollo Inmobiliario – M.D.I. 2003.

- PELLICER, E. (2007) “Empresas consultoras de ingeniería vs. constructoras: dos modos diferentes de adaptación al mercado”. Revista de Obras Públicas, 3484, 7-18.
- PIÑA L. K. (2013) “Cómo lograr un sistema de producción efectivo”.
- RODRÍGUEZ C. W. (2003) Presentación Colegio de Ingenieros del Perú Consejo Departamental Amazonas Chachapoyas 27-29 de Agosto de 2003 “Lean Construction”.
- RODRÍGUEZ C. W. (2001) “Fundamentos de programación, Reprogramación, Calidad Total y Seguridad Total de Obras Civiles”. Lima – Perú
- SEMINARIO de Lean Construction Dirigido a Profesores. Lean Construction Institute Perú. 2012
- SEMINARIO Internacional Estrategias de Mejoramiento en la Construcción Lean Project Management. Costos EDUCA. Noviembre 2013.
- VILLASEÑOR, A.; GALINDO E.; (2007) “Manual de Lean Manufacturing. Guía Básica” Limusa Noriega Editores. México.
- WOMACK, J.; JONES, D. (1996) “Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation”. Simon & Schuster, Nueva York.

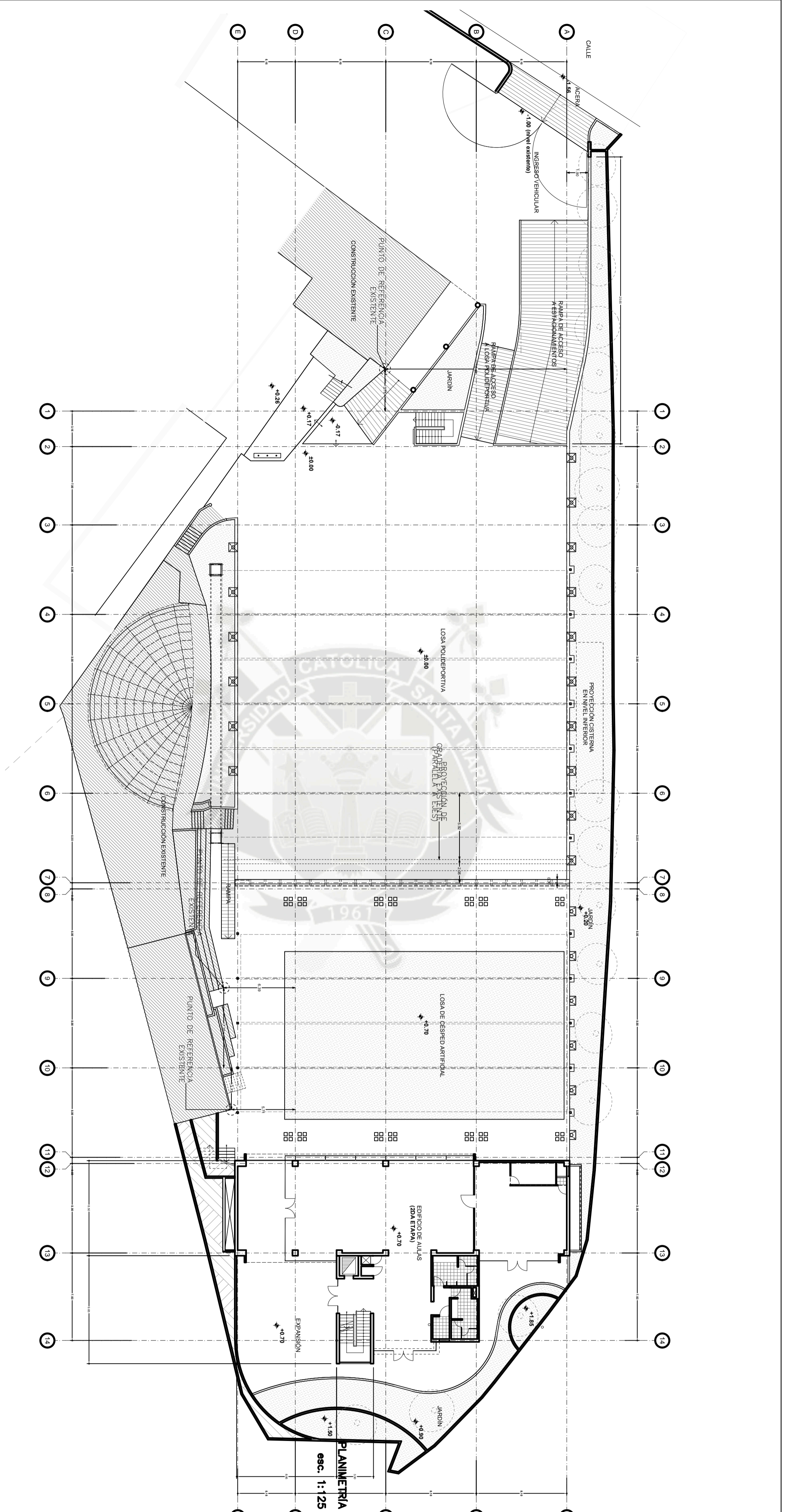
## LINKOGRAFÍA

### **SOBRE CONCEPTOS DE LEAN CONSTRUCTION:**

- <http://www.leanconstruction.org/>  
(RESCATE 14/10/13 HORA: 20:45)
- <http://www.leanconstructionenterprise.com/documentacion/lean-construction>  
(RESCATE 22/10/13 HORA: 19:37)
- <http://www.leanconstruction.es/>  
(RESCATE 25/10/13 HORA: 15:15)
- [https://www.academia.edu/797210/Lean\\_construction\\_nueva\\_filosofia\\_de\\_gestion\\_en\\_la\\_construccion\\_espanola](https://www.academia.edu/797210/Lean_construction_nueva_filosofia_de_gestion_en_la_construccion_espanola)  
(RESCATE 25/10/13 HORA: 17:15)
- [http://centrodeartigos.com/articulos-noticias-consejos/article\\_132714.html](http://centrodeartigos.com/articulos-noticias-consejos/article_132714.html)  
(RESCATE 26/10/13 HORA: 19:00)

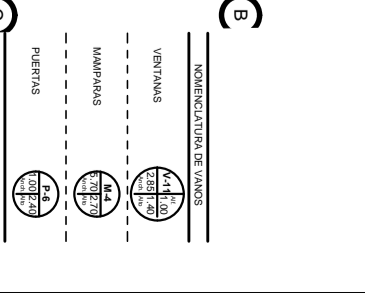
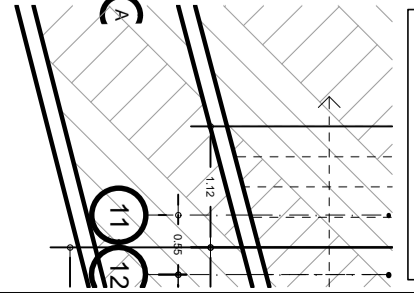
### **SOBRE HERRAMIENTAS DE LEAN CONSTRUCTION:**

- <http://www.gestiopolis.com/administracion-estrategia-2/poka-yoke-tecnicas-prevenir-errores-defectos.htm>  
(RESCATE 11/11/13 HORA: 15:20)
- <http://manufactura-lean-y-mas.blogspot.com/2013/04/administracion-visual.html>  
(RESCATE 11/11/13 HORA: 14:00)
- <http://www.gestiopolis.com/administracion-estrategia-2/poka-yoke-tecnicas-prevenir-errores-defectos.htm>  
(RESCATE 11/11/13 HORA: 15:30)



LEGENDA:  
 N de ambiente  
 N de ambiente  
 103. LABORATORIO

NOTA:  
 Se indica en el presente plano los  
 puntos de referencia para el  
 proyecto, según se indican en el plano de referencia en el  
 plano.



PROYECTO:  
 DISEÑO DE ESTACIONAMIENTOS Y  
 ZONAS DE ESTACIONAMIENTO  
 PARA EL CENTRO EDUCATIVO  
 ARBOREDA

CLIENTE:  
 LOMA SILVA MEDINA LIZO

ESPECIALISTA:  
 ARQUITECTA

ARCHIVO:  
 ESQUEMA:  
 RUIRO: ARQUITECTURA  
 TITULO:  
 PLANIMETRIA Y  
 PLANTA DEL ACCESO

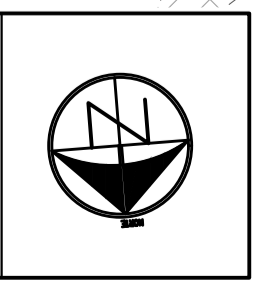
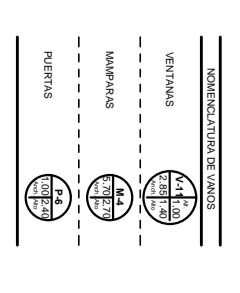
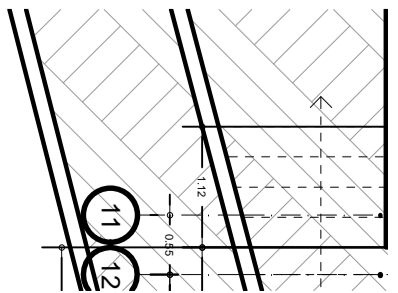
ETAPA:  
 ESPECIALIDAD:  
 LAMINA  
 01

PLANTA DEL ACCESO  
 esc. 1:50

LAMINAS  
 148

LEYENDA  
 N° de ambiente:  
 nombre de ambiente  
 101. LABORATORIO

NOTA:  
 Este plano muestra la distribución de los ambientes y su ubicación en el terreno, pero no indica la posición exacta de los ambientes en el terreno.



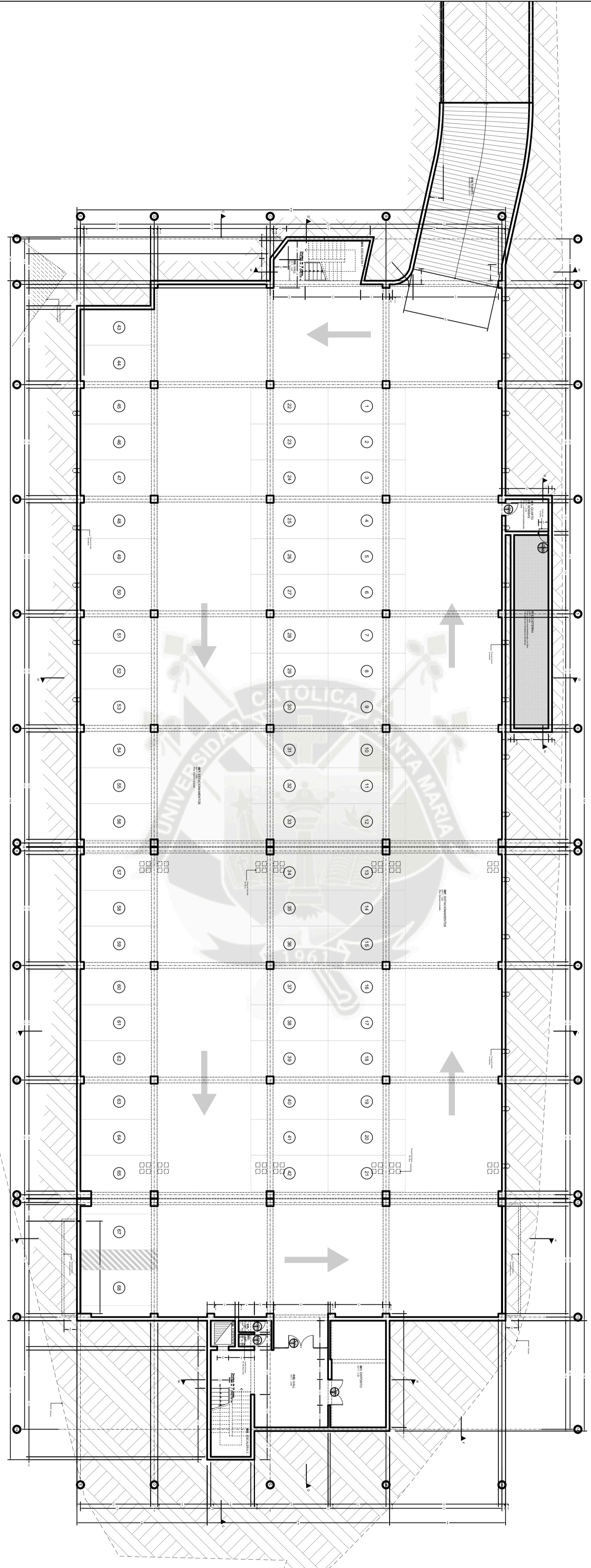
PROYECTO:  
 ESPACIO DE INVESTIGACIONES  
 ALUMNOS EN CONDICIONES DE BARRA

UBICACION:  
 CALLE CHAMBE  
 CENTRO COLOMBIANO  
 AREQUIPA

CLIENTE:  
 UDA S.A. VENTA MEDIANZA

ESPECIALIDAD:  
 ARQUITECTURA

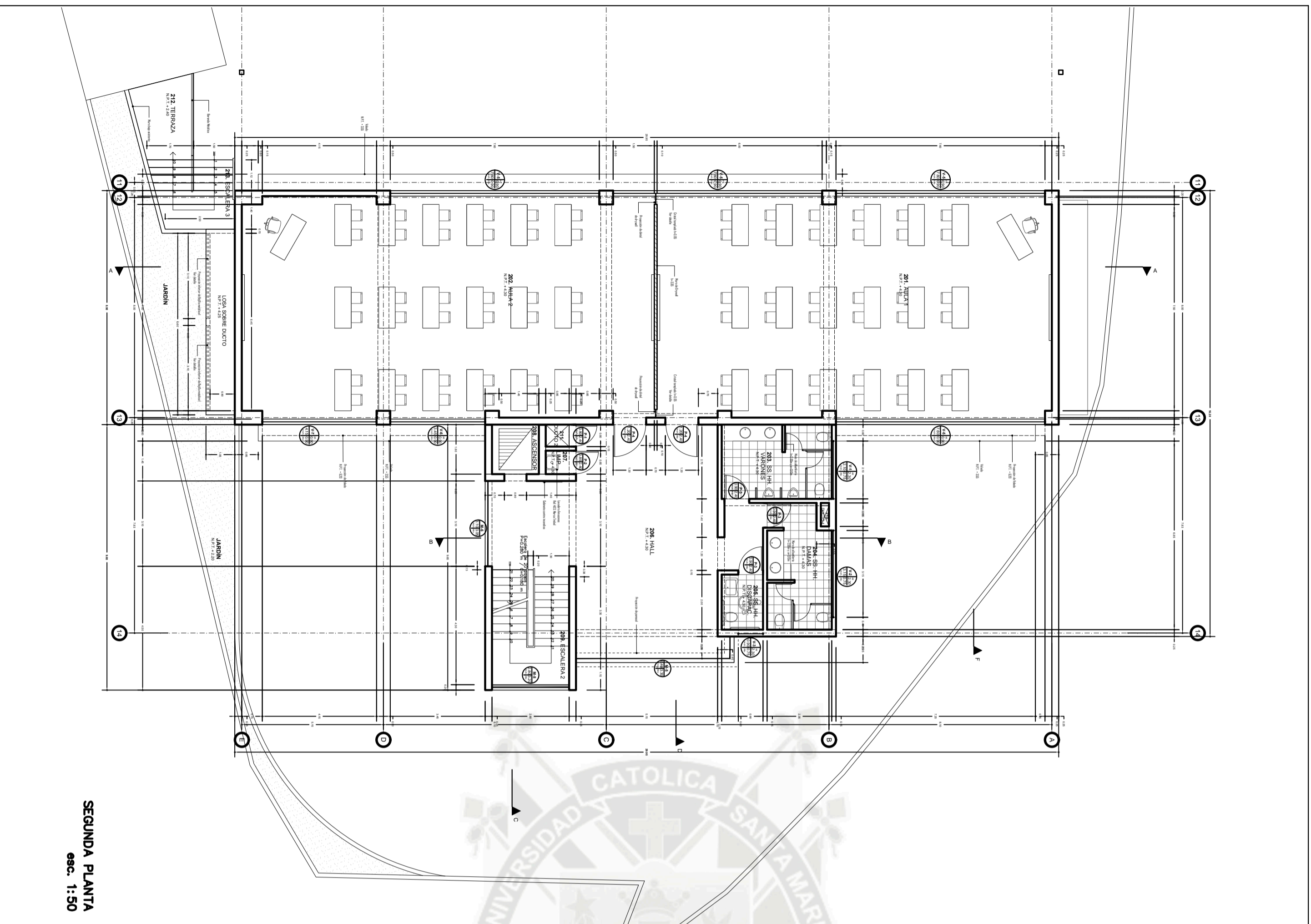
ESPECIALISTA:  
 ARQUITECTA



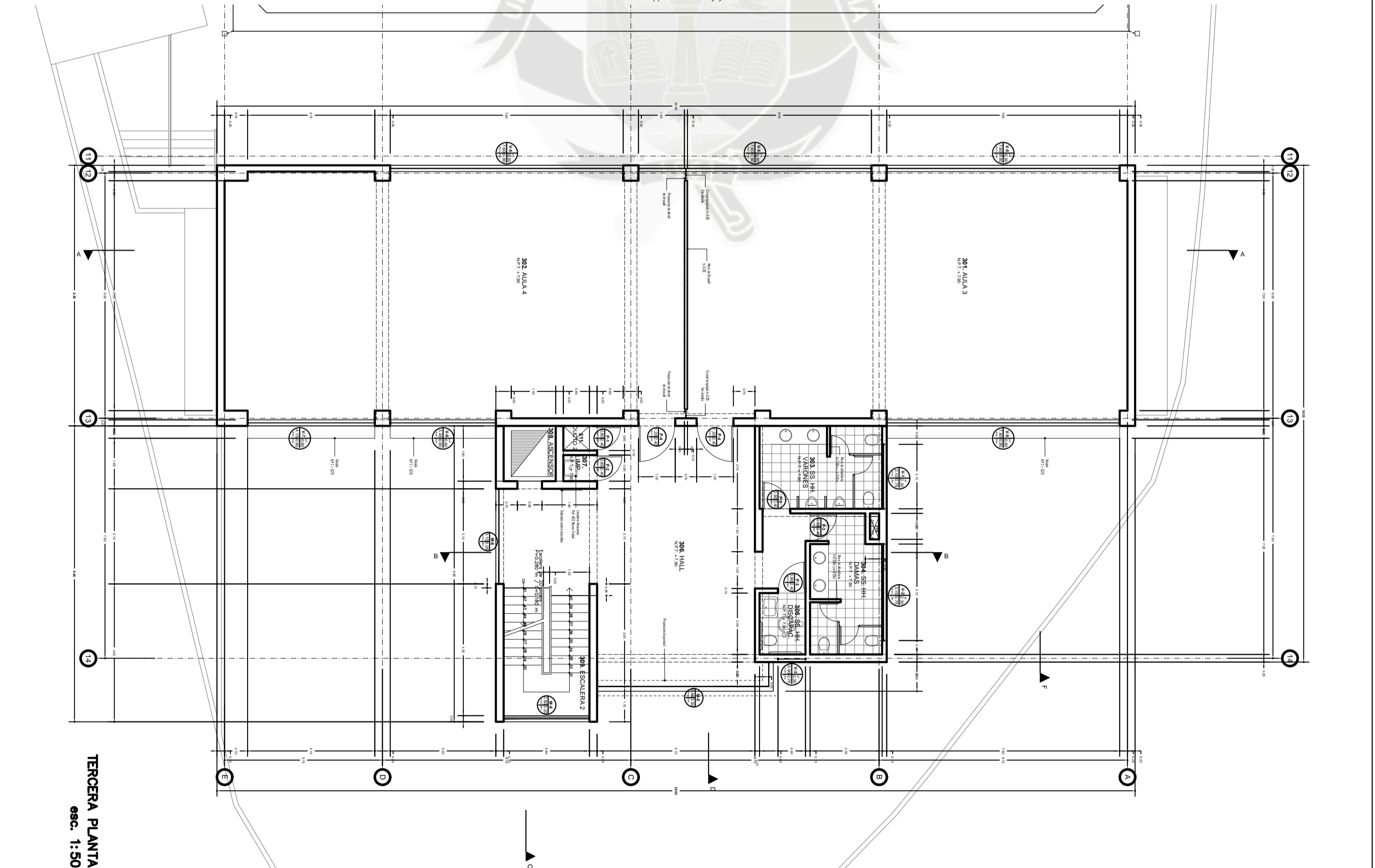
NOTA:  
 Este plano muestra la distribución de los ambientes y su ubicación en el terreno, pero no indica la posición exacta de los ambientes en el terreno.

LEYENDA  
 N° de ambiente:  
 nombre de ambiente  
 101. LABORATORIO





SEGUNDA PLANTA  
esc. 1:50



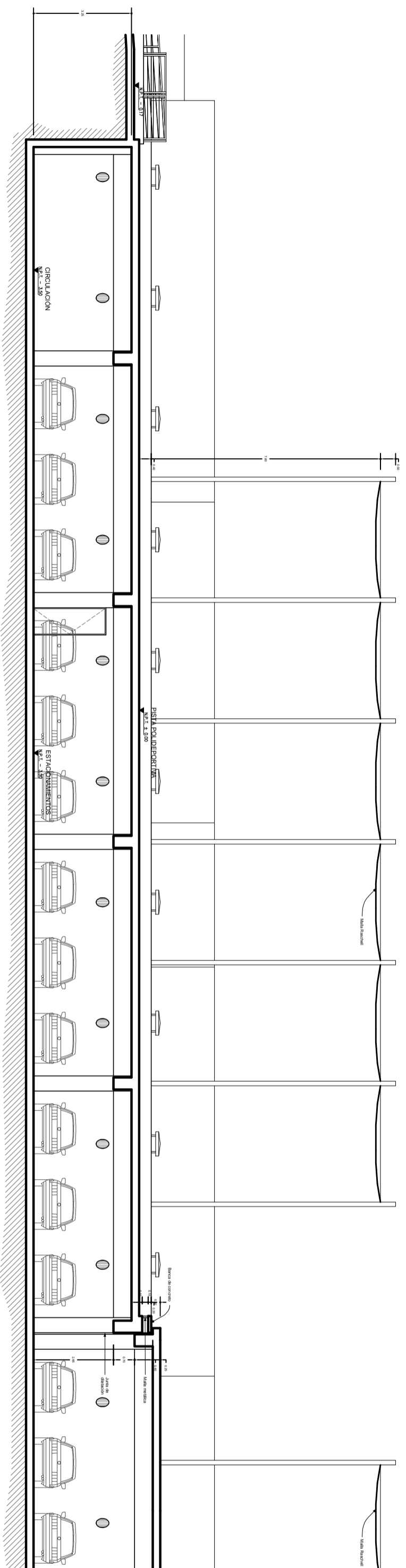
TERCERA PLANTA  
esc. 1:50

UNIVERSIDAD  
de antioquia  
N° 103 LABORATORIO

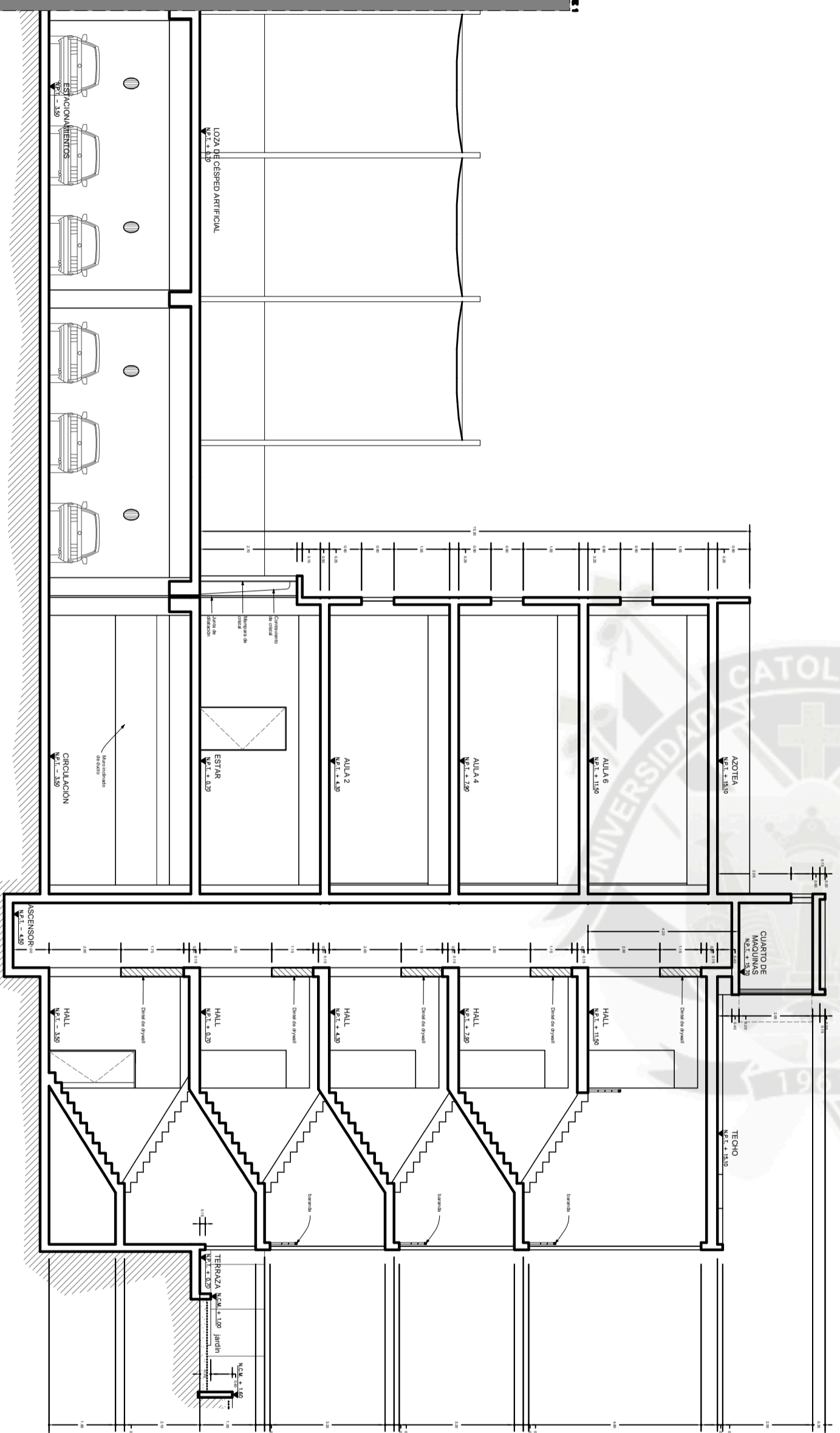
NOTIFICACIONES:  
VARIAS  
MUESTRAS  
PIRREAS



|               |   |
|---------------|---|
| PROYECTO:     | RENOVACION Y RECONSTRUCCION DE LA SALA DE LABORATORIO DE FISICA |
| UBICACION:    | CALLE GRANDE<br>CENSO CONDADO<br>MEDIOVA                        |
| CLIENTE:      | UNIVERSIDAD MEDIANALDO  |
| ESPECIALIDAD: | ARQUITECTURA  |
| ARCHIVO:      | 413   |
| ESCALA:       | 1/50  |
| REBRO:        | ARQUITECTURA  |
| TITULO:       | SEGUNDA Y TERCERA PLANTA  |
| ETAPA:        |   |
| ESPECIALIDAD: | LAMINA  |
| NUMERO:       | 06  |
| TAMANO:       | A4  |



**CORTE C-C (PARTE 1)**  
esc. 1:50



**CORTE C-C (PARTE 2)**  
esc. 1:50



PROYECTO:

ADQUISICION DE EQUIPAMIENTO PARA EL CENTRO DE INVESTIGACIONES EN INGENIERIA Y TECNOLOGIA

UBICACION:

CALLE GRANDE

CERRO COLOMBO

MONTEVIDEO

CLIENTE:

LEON SA VVA REYNOLDO

ESPECIALIDAD:

ARQUITECTURA

ESCALA:

1:50

TITULO:

LIBRO ARQUITECTURA

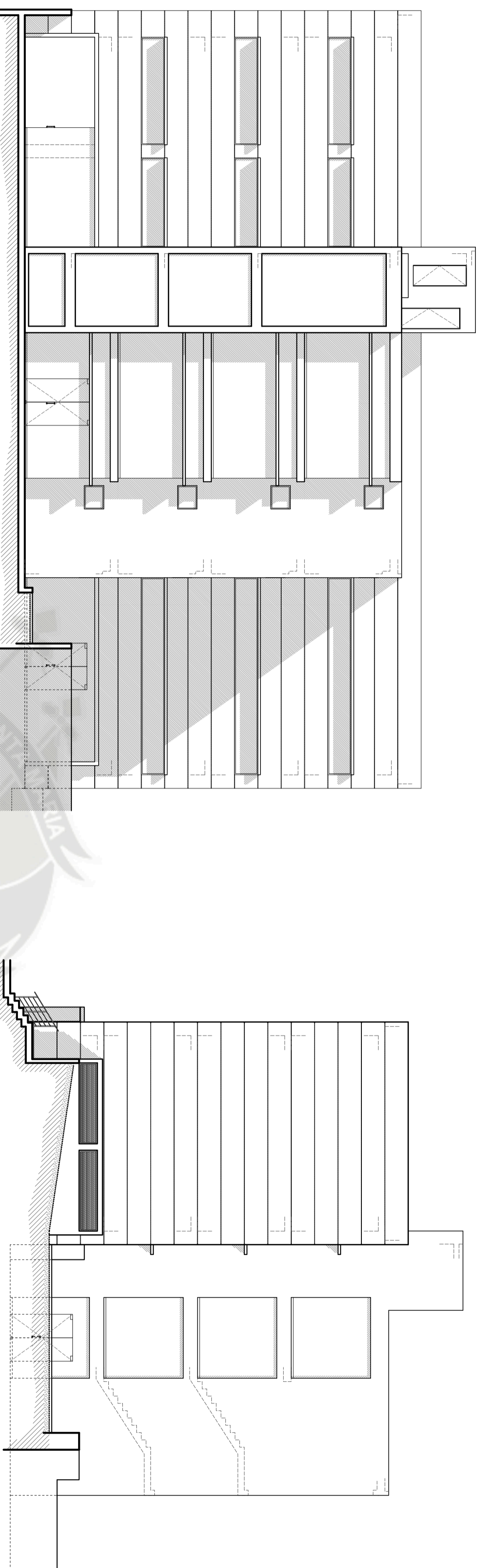
CORTE C-C

ETAPA:

LANA

09

LANA



**ELEVACIÓN ESTE**  
esc. 1:50



PROYECTO:

MONUMENTO ESTACIONAMIENTOS Y  
MUSEO DE LA UNIVERSIDAD CATOLICA  
SALVADORA

UBICACION:

CALLE GRANDE  
CERRO COLOMADO  
SAN CARLOS

CLIENTE:

UDAS SA VIA RECONCILIADO

ESPECIALIDAD:

ARQUITECTURA

ESPECIALISTA:

ARQUITECTA

FECHA:

15/05/2013

ARCHIVO:

013

ESCALA:

1:50

REBRO:

ARQUITECTURA

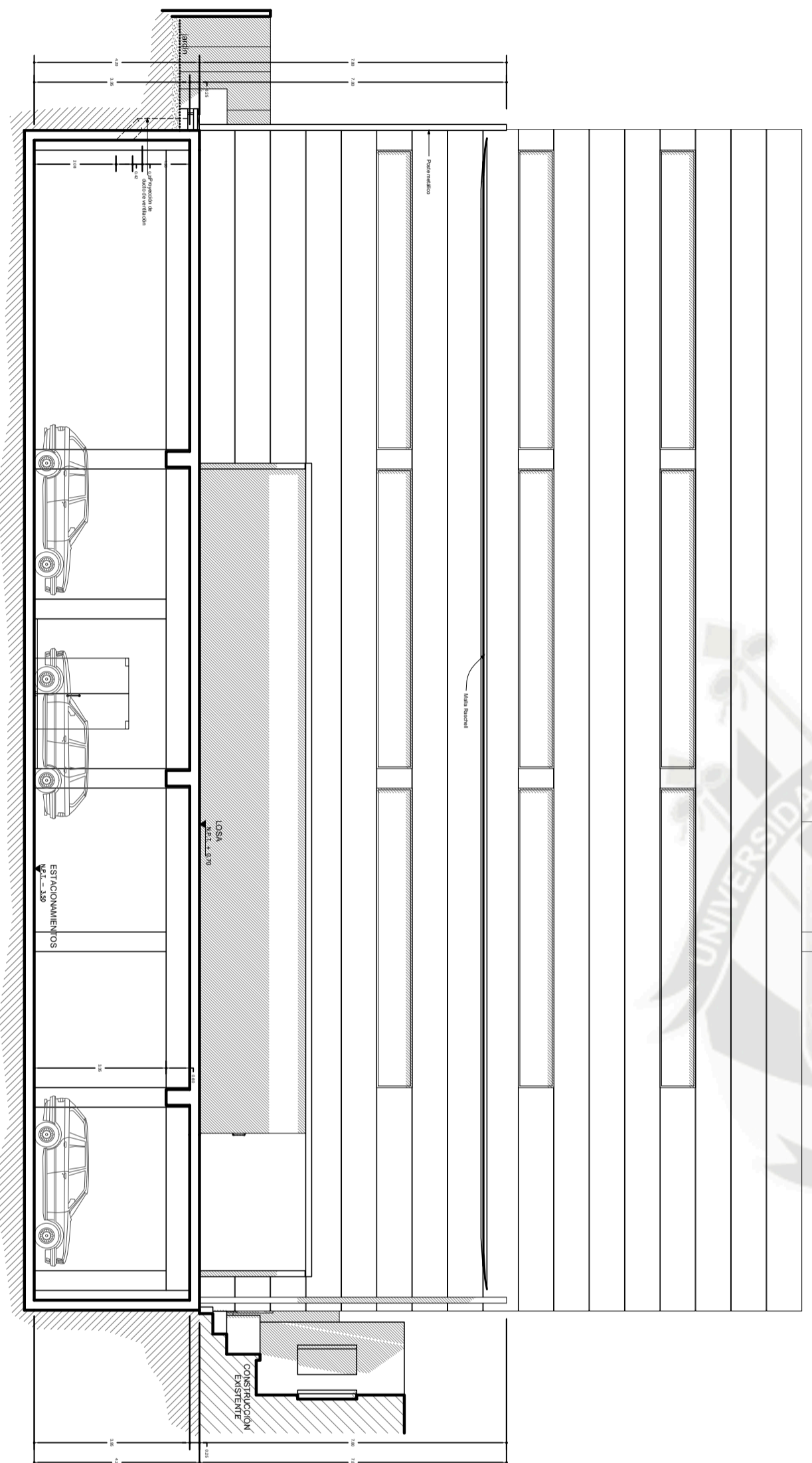
TITULO:

ELEVACION NORTE,  
ELEVACION ESTE Y  
CORTE I-I

ETAPA:

ESTACIONAMIENTOS

**ELEVACIÓN NORTE**  
esc. 1:50



**CORTE I-I**  
esc. 1:50

|               |   |
|---------------|---|
| PROYECTO:     | MONUMENTO ESTACIONAMIENTOS Y MUSEO DE LA UNIVERSIDAD CATOLICA SALVADORA |
| UBICACION:    | CALLE GRANDE CERRO COLOMADO SAN CARLOS                                  |
| CLIENTE:      | UDAS SA VIA RECONCILIADO  |
| ESPECIALIDAD: | ARQUITECTURA  |
| ESPECIALISTA: | ARQUITECTA  |
| FECHA:        | 15/05/2013  |
| ARCHIVO:      | 013   |
| ESCALA:       | 1:50  |
| REBRO:        | ARQUITECTURA  |
| TITULO:       | ELEVACION NORTE,<br>ELEVACION ESTE Y<br>CORTE I-I                       |
| ETAPA:        | ESTACIONAMIENTOS  |
| ESPECIALIDAD: | LAMINA  |
| LAMINA:       | 13  |