

Universidad Nacional del Altiplano

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

“ESTUDIO DE UN SISTEMA DE PLANEAMIENTO APLICANDO *LAST PLANNER SYSTEM* DE *LEAN CONSTRUCTION* PARA PROCESOS ELECTROMECAÑICOS DE UNA PLANTA ELÉCTRICA DE POTENCIA”

PRESENTADO POR:

MAURO ISRAEL QUISPE QUISPE

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE: INGENIERO ELECTRÓNICO

PUNO – PERU

2015

Universidad Nacional del Altiplano

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA,
ELECTRONICA Y SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA

"ESTUDIO DE UN SISTEMA DE PLANEAMIENTO APLICANDO LAST
PLANNER SYSTEM DE LEAN CONSTRUCTION PARA PROCESOS
ELECTROMECAICOS DE UNA PLANTA ELECTRICA DE
POTENCIA"

TESIS PRESENTADA POR
MAURO ISRAEL QUISPE QUISPE
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRONICO
ANEXO PARA EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

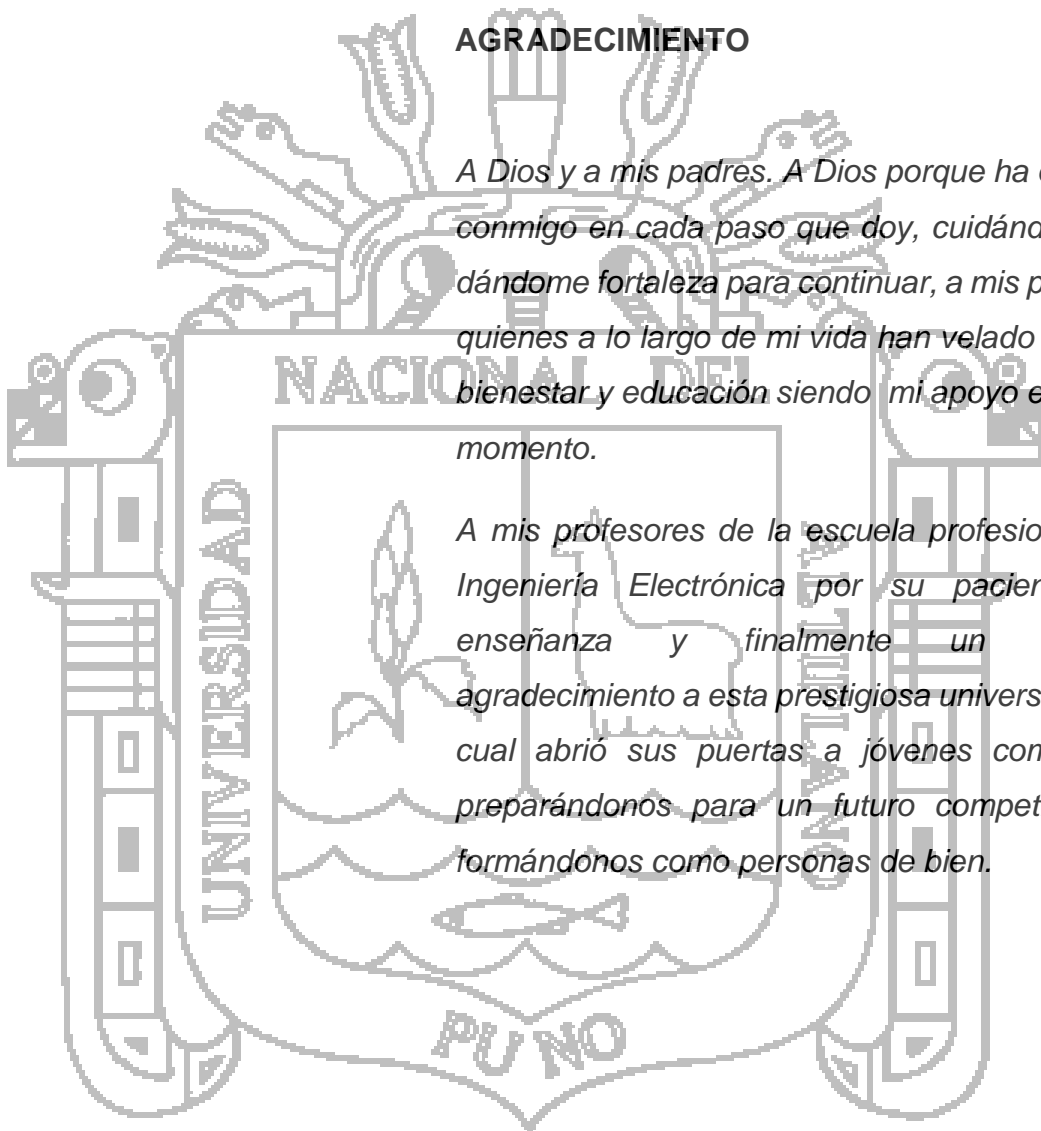


ÁREA: Electrónica general
TEMA: Electrónica de potencia

AGRADECIMIENTO

A Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento.

A mis profesores de la escuela profesional de Ingeniería Electrónica por su paciencia y enseñanza y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abrió sus puertas a jóvenes como yo, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

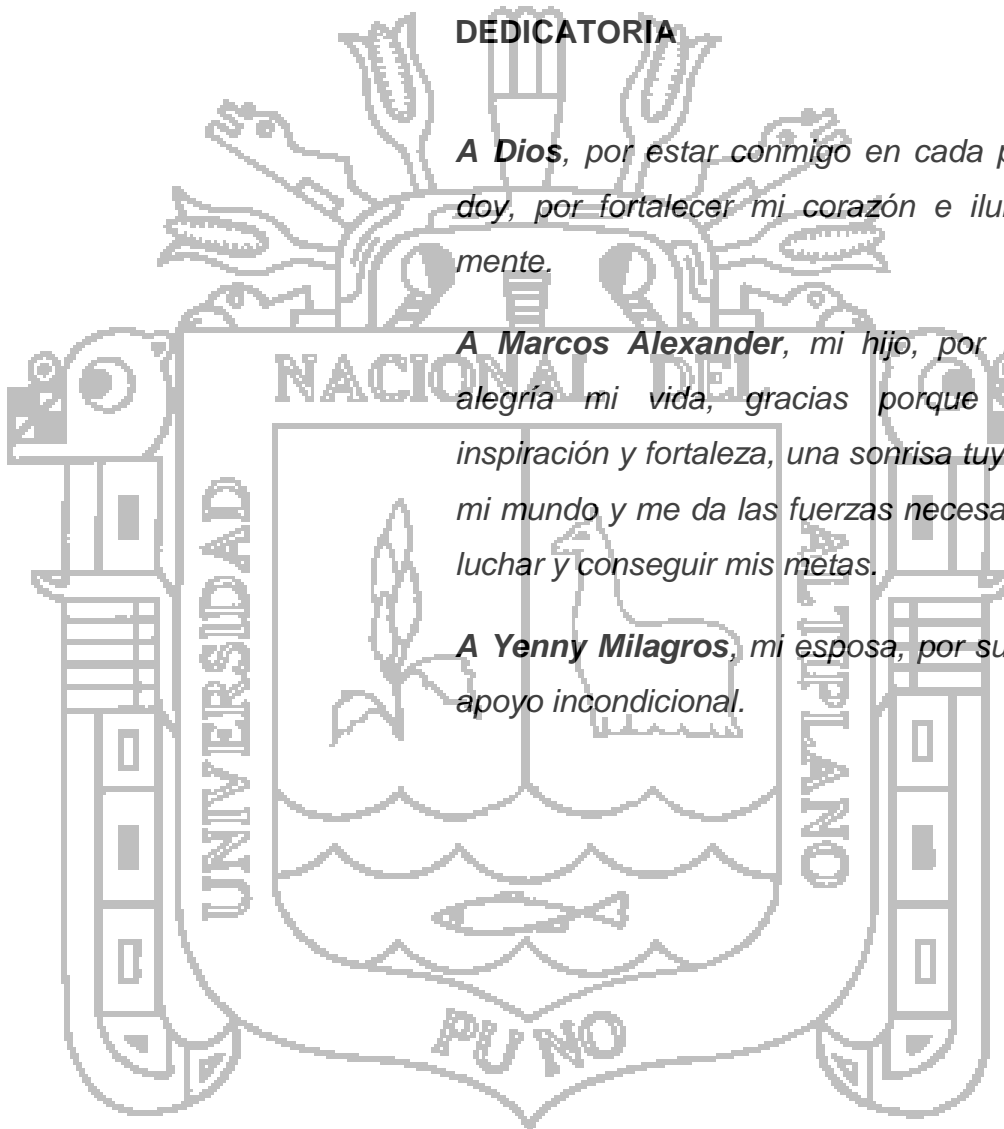


DEDICATORIA

A Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente.

A Marcos Alexander, mi hijo, por llenar de alegría mi vida, gracias porque eres mi inspiración y fortaleza, una sonrisa tuya ilumina mi mundo y me da las fuerzas necesarias para luchar y conseguir mis metas.

A Yenny Milagros, mi esposa, por su cariño y apoyo incondicional.



INDICE

AGRADECIMIENTO	3
DEDICATORIA.....	4
INDICE DE CUADROS.....	9
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	10
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
ÍNDICE DE ANEXOS.....	12
RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	15
INTRODUCCIÓN.....	16
CAPITULO I.....	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION.....	18
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.1.1 Descripción del problema.....	19
1.1.2 Formulación del problema.....	20
1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.3.1 Objetivo general.....	22
1.3.2 Objetivos específicos.....	22
CAPITULO II.....	23
MARCO TEÓRICO.....	23

2.1	ANTECEDENTES DE INVESTIGACION	24
2.2	SUSTENTO TEORICO	25
2.2.1	Antecedentes Históricos	25
	LEAN PRODUCTION.....	27
2.2.2	Fundamentos teóricos de Toyota Production System o Lean Production 27	
	LEAN CONSTRUCTION.....	32
2.2.3	Fundamentos teóricos de Lean Construction.....	32
	LAST PLANNER SYSTEM.....	43
2.2.4	Sistema del último planificador (last planner system)	43
2.3	DEFINICIONES BÁSICAS	63
2.4	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	65
2.4.1	Hipótesis general.....	65
2.4.2	Hipótesis específica	65
2.5	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	65
	CAPITULO III.....	66
	DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACION.....	66
3.1	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	67
3.2	POBLACION Y MUESTRA DE LA INVESTIGACION	67
3.2.1	La empresa constructora	67
3.2.2	Estructura organizativa de la empresa constructora	68

3.3	<i>UBICACIÓN Y DESCRIPCION DE LA POBLACION</i>	70
3.3.1	<i>Localización del proyecto</i>	70
3.3.2	<i>Condiciones de servicio eléctrico</i>	71
3.3.3	<i>Equipamiento Principal</i>	71
3.3.4	<i>Alcance del proyecto</i>	79
3.3.5	<i>Hitos principales del proyecto y plazo de ejecución</i>	83
3.4	<i>TECNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACION</i>	84
3.5	<i>TECNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS</i>	84
3.6	<i>PLAN DE TRATAMIENTO DE DATOS</i>	84
3.7	<i>CONTRASTACION DE LA HIPOTESIS</i>	85
	<i>CAPITULO IV</i>	86
	<i>ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACION</i>	86
4.1	<i>IDENTIFICACION Y ANALISIS DE PROBLEMAS</i>	87
4.1.1	<i>Identificación del problema respecto a la organización</i>	87
4.1.2	<i>Identificación del problema respecto al cronograma</i>	88
4.1.3	<i>Identificación del problema respecto a la programación</i>	91
4.2	<i>IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR</i>	92
4.2.2	<i>Análisis de la estructuración del sistema del último planificador</i>	92
4.3	<i>RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DEL ULTIMO PLANIFICADOR</i>	102

4.3.1	<i>Resultado respecto al cronograma</i>	102
4.3.2	<i>Resultado respecto al indicador porcentaje de avance completado (PAC)</i> 107	
	CONCLUSIONES	109
	SUGERENCIAS	110
	BIBLIOGRAFÍA	111
	ANEXOS	113
	Anexo N° 1: <i>4 Lookahead Schedule</i>	114
	Anexo N° 2: <i>Evaluación del PAC</i>	115
	Anexo N° 3: <i>Programación semanal (1 Lookahead)</i>	116
	Anexo N° 4: <i>Fotos de la evolución del proyecto</i>	117



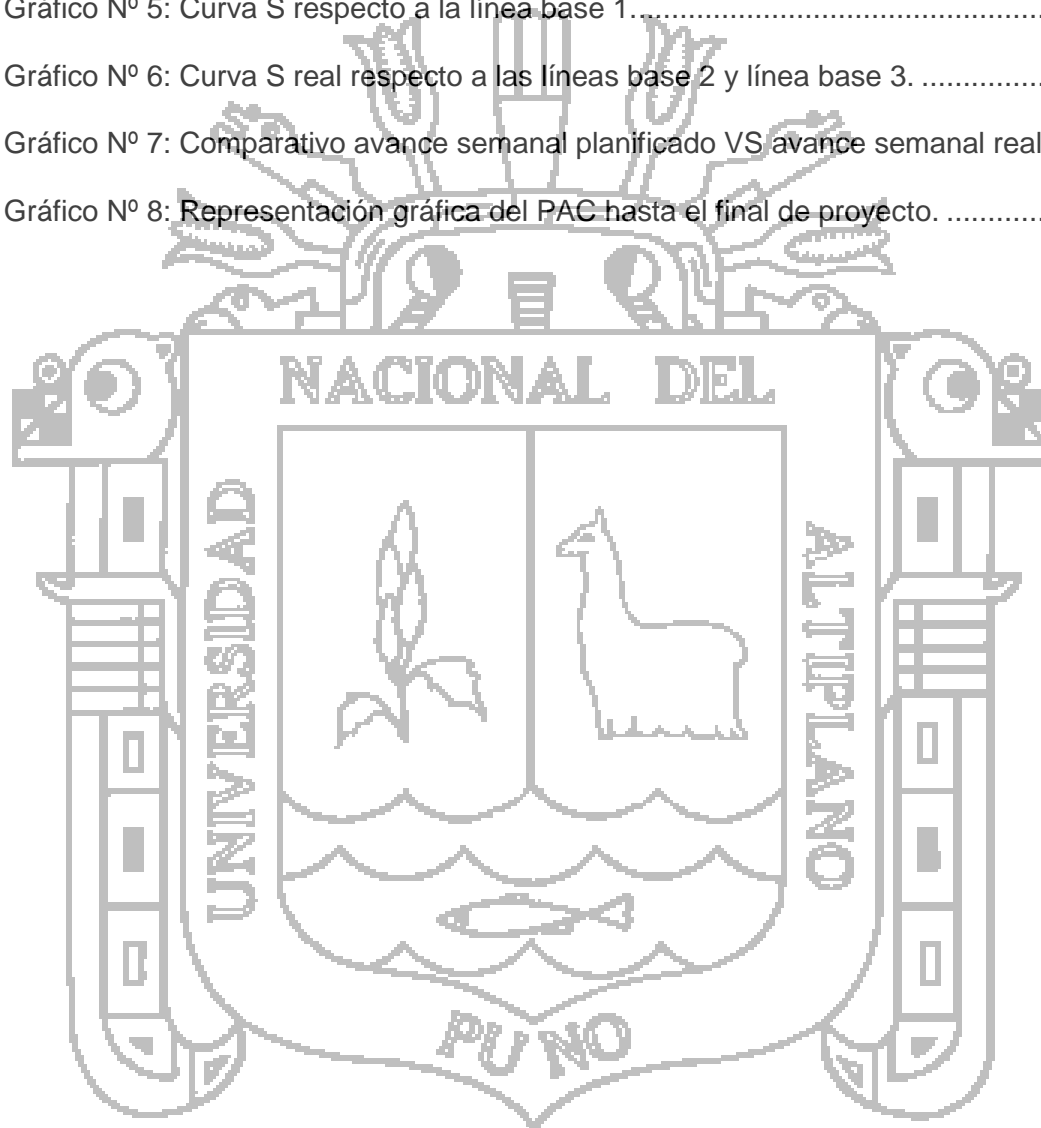
INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1: Interacción CFV (Conversión, Flujo y Valor).	36
Cuadro N° 2: Análisis de restricciones para el <i>Lookahead Schedule</i>	59
Cuadro N° 3: Variables del proyecto.	65
Cuadro N° 4: Plan de tratamiento de datos.	84
Cuadro N° 5: Cuadro de contraste de la hipótesis.	85
Cuadro N° 6: Comparación Avance Planificado VS Avance Real a la semana 19.	89
Cuadro N° 7: Análisis de restricciones a las actividades listadas por fase.	99
Cuadro N° 8: Programación Semanal de Trabajos.	101
Cuadro N° 9: Planilla de control de avance con las líneas base LB1, LB2 y LB3.	106
Cuadro N° 10: Registro histórico del PAC.	108



ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1: Relación entre eficiencia, eficacia y productividad.....	64
Gráfico N° 2: Curva S a la semana 19.....	90
Gráfico N° 3: Comparativo avance planificado VS avance real a la semana 19.	90
Gráfico N° 4: Registro de comportamiento del PAC en el tiempo.	102
Gráfico N° 5: Curva S respecto a la línea base 1.....	103
Gráfico N° 6: Curva S real respecto a las líneas base 2 y línea base 3.	104
Gráfico N° 7: Comparativo avance semanal planificado VS avance semanal real.	104
Gráfico N° 8: Representación gráfica del PAC hasta el final de proyecto.	108



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Actividades de transformación y de flujo.....	28
Figura N° 2: Proceso clásico de conversión de una entrada en una salida.....	34
Figura N° 3: Tipos de actividades.....	35
Figura N° 4: Tiempos que componen el ciclo de procesos completo.....	40
Figura N° 5: Esquema simplificado del proceso de mejora continua.....	42
Figura N° 6: Last Planner System.....	45
Figura N° 7: Proceso Last Planner – Formación de asignaciones.....	48
Figura N° 8: Estructura Jerárquica de <i>Last Planner System</i>	51
Figura N° 9: Medición del desempeño del proceso de planificación mediante el PAC.....	62
Figura N° 10: Organigrama de la empresa constructora de la estación eléctrica de potencia.....	69
Figura N° 11: Ubicación Geográfica del Proyecto.....	70
Figura N° 13: Alcance de obras electromecánicas. Vista de planta.....	81
Figura N° 14: Alcance de obras electromecánicas.....	82
Figura N° 15: Análisis de Ishikawa para identificar la causa-efecto del atraso.....	87
Figura N° 16: Identificación de oportunidades de mejora para el área de Control de Proyectos y Costos.....	91
Figura N° 17: Reunión Semanal de Planificación Semanal.....	92
Figura N° 18: Listado de actividades de acuerdo al cronograma maestro.....	94
Figura N° 19: Listado de actividades por fases.....	96
Figura N° 20: Fases de Proyecto.....	95
Figura N° 21: Modelo 4 <i>Lookhead Planning</i>	98
Figura N° 22: Histograma de causas de no cumplimiento.....	100
Figura N° 23: Restricciones imputables al cliente.....	102

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: 4 Lookahead.....	114
Anexo N° 2: Evaluación del PAC.....	115
Anexo N° 3: Programación semanal (1 Lookahead).....	116
Anexo N° 4: Fotos de la evolución del proyecto.....	117



RESUMEN

El propósito fundamental de esta tesis denominada “**ESTUDIO DE UN SISTEMA DE PLANEAMIENTO APLICANDO *LAST PLANNER SYSTEM* DE *LEAN CONSTRUCTION* PARA PROCESOS ELECTROMECHANICOS DE UNA PLANTA ELECTRICA DE POTENCIA**” consistió poner en práctica una herramienta de *Lean Construction* denominado ***Sistema del Ultimo Planificador (Last Planner System)*** aplicado a la construcción de una estación eléctrica de potencia, esto con la finalidad de comprobar que este sistema puede aportar aspectos positivos para el cumplimiento de plazos y mejorar la confiabilidad en la planificación. El Sistema del Ultimo Planificador es una herramienta de *Lean Construction* el cual es una metodología que busca adaptar conceptos de *Lean Production* de *Toyota Motors Corporation* para luego aplicarlos al sector de la construcción. El Last Planner System (Sistema del Ultimo Planificador), tiene varios niveles de planificación donde se afina el plan y se reduce la incertidumbre y/o variabilidad, al considerar actividades que no tengan restricciones para su ejecución. De esta manera se mantienen los objetivos presentes y el equipo del proyecto puede ayudar a eliminar restricciones y/o obstáculos para alcanzarlos, de tal forma que las actividades planificadas no solo sean ***sanas intenciones sino, un compromiso de trabajo activo y continuo***. Para la implementación del *Sistema del Ultimo Planificador (Last Planner System)*, en el proyecto, se realizara una descripción general de una subestación eléctrica de potencia, se detectaran oportunidades de mejora para el planeamiento, programación y control de proyectos para finalmente desarrollar herramientas de planificación y programación.

Palabras clave: *Lean Production, Lean Construction, Sistema del Ultimo Planificador, Curva S, Planificación semanal, Planificación Trisemanal, Estación Eléctrica de Potencia.*



ABSTRACT

The main purpose of this thesis entitled "Study of a Planning System Using the System Last Planner to Assembly Projects Electromechanical in a Power Plant Power" will be to implement a tool of Lean Construction called System Last Planner (*Last Planner system*) applied to the construction of an electric power station, this for the purpose of verify that this system can bring positive aspects for meeting deadlines and improve reliability in planning. The *Last Planner System* is a tool for Lean Construction which is a methodology for adapting concepts of Lean Production of Toyota Motors Corporation and then apply to the construction sector. The *Last Planner System* has several levels of planning where the plan is refined and uncertainty and / or variability, considering activities that have no restrictions for execution is reduced. Thus the present purposes are maintained and the project team can help eliminate restrictions and / or obstacles to achieve them, so that planned activities are not only good intentions but a commitment to active and continuous work. To implement the *Last Planner System* in the project, an overview of an electric power substation, place improvement opportunities for planning, scheduling and project control to finally develop tools for planning and programming were detected.

Keywords: Lean production, Lean Construction, *Last Planner System*, Curve S, Weekly Schedule, Planning tri-weekly, Electric Power Station.

INTRODUCCIÓN

Es indudable que el sector de la construcción es un componente significativo en la economía de un país. Su participación en el PBI Peruano en el año 2011 fue de 3%, en el año 2012 fue de 15.1% y al final del 2013 fue de 8.5% (*Banco Central de Reserva del Perú, 2014*), siendo así uno de los sectores que más ha contribuido al PBI en los últimos años.

A pesar de su importancia, los problemas que enfrenta el sector son bien conocidos: *desviaciones en el cumplimiento de plazos, baja productividad, alto índice de accidentes, pobre control de calidad, curva de aprendizaje limitada, influencia de las condiciones climáticas, trabajo permanente bajo presión, fragmentación de los proyectos, incentivos negativos, poca capacitación, relaciones opuestas entre los participantes de los proyectos, deficiente planificación o ausencia de la misma, actividad basada en la experiencia, falta de investigación y desarrollo, actitud mental del sector entre otros*. No obstante a las anteriores consideraciones, algunos gremios, empresarios y académicos relacionados al sector han detectado la necesidad de mejorar, esto debido al constante cambio de escenarios en que se desarrolla la actividad actualmente. Alguno de estos cambios son los siguientes.

- a) Mercados globalizados más competentes.
- b) Proyectos cada vez más complejos.
- c) Mayores exigencias de calidad.
- d) Presión para la reducción de plazos y costos de los proyectos.

A lo largo de la historia la industria de la construcción ha conservado los mismos principios durante mucho tiempo; los procesos de diseño y construcción están

dentro de modelos clásicos debido a nuestra cultura. En busca de cambios sobre las tendencias tradicionales en la ejecución de proyectos de construcción, nacen nuevas corrientes enfocadas a mejorar los procesos constructivos. Como consecuencia de la búsqueda de un mejoramiento continuo de los procesos constructivos, surge la filosofía *Lean Construction*, cuyos métodos, a través del *Sistema del Ultimo Planificador (Last Planner System)*, buscan optimizar tiempo, alcance y costo teniendo como base conceptual la filosofía *Lean Production*.

Sin embargo, a pesar de las evidentes ventajas que presenta en el planeamiento, control, y desarrollo de la obra, el Sistema del Ultimo Planificador (*Last Planner Sytem*), muy pocas empresas lo han implementado de forma integral; la mayoría ha implementado solo partes del sistema ya sea por desconocimientos teóricos de la misma, por creer que su costo de implementación es muy elevado o por desconocer un método y unas pautas que ayuden a implementarlo totalmente.

En el Capítulo I, se establece el planteamiento del problema de investigación, la justificación del problema y los objetivos de la investigación.

En el Capítulo II, se considera el marco teórico, que comprende la revisión bibliográfica referente al Sistema del Ultimo Planificador para luego realizar una hipótesis, revisaremos el marco teórico para tener un panorama general de las nuevas filosofías, herramientas y tendencias aplicadas al sector de la construcción.

En el Capítulo III, se refiere al diseño metodológico de investigación.

En el Capítulo IV, se desarrolla el análisis e interpretación de resultados de la investigación.



1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 Descripción del problema

En el Perú la industria de la construcción aporta aproximadamente el 8.9% del PBI Peruano de acuerdo al último reporte anual del año 2013 (*Fuente: Banco Central de Reserva del Perú*). Este porcentaje es bastante alto comparado con el 1.5% que aporta la industria agraria y ganadera, al 4.9% de la industria minera e hidrocarburos, al 5.5% de industria manufacturera, al 5.9% del sector comercio o al 6.0% del sector de servicios y siendo superado únicamente por el sector de la pesquería con un aporte del 18.1% al PBI del año 2013; Este porcentaje de 8.9% se prevé que irá aumentando poco a poco conforme avance el desarrollo del país. Por otro lado puede observarse en los conteos estadísticos anuales que en el 2011 la aportación del sector fue de 3.6%, en el año 2012 fue de 15.8% y en el 2013 fue de 8.9%; tales valores indican un crecimiento en el sector de la construcción que aportaran positivamente al PBI por el hecho de que se están ejecutando varios proyectos de construcción en el sector minero, inmobiliario y otros.

En estas situaciones económicas favorables y desfavorables, existe una alta competitividad en el mercado, además de que los recursos económicos son generalmente limitados, sobre todo si se tratan del gobierno, que deben ser utilizados óptimamente. Es por esto que se requiere de un máximo aprovechamiento de todos los recursos a manera de obtener la mayor utilidad posible de cada proyecto.

En el Perú la administración de proyectos es un tema aprendido solo en algunas carreras como economía o administración de empresas pero aplicados

a sectores del comercio, industrial o de servicios, dejando de lado el de la construcción. Se observa incluso en los planes de estudio de la carrera de Ingeniería Electrónica que el área de proyectos es poco considerada y no se le da la importancia que tiene.

Así como también se observa que tanto empresas constructoras como clientes en el país, poco se han interesado en la planeación y el control de sus obras, todavía algunos se limitan a la experiencia y a la intuición de sus ingenieros y desarrollan sus proyectos sin una planeación y control formal; es así que dependiendo del tamaño (mayor: costos, tiempo y alcance) del proyecto es como se usaran recursos informáticos y la planeación del mismo.

El propósito de la presente tesis fue aplicar el *Sistema del Ultimo Planificador (Last Planner System)*, siendo esta una herramienta de *Lean Construction*, para mejorar la planificación de mediano y corto plazo de actividades de montaje electromecánico e instrumentación de una estación eléctrica de potencia.

1.1.2 Formulación del problema

Por lo expuesto líneas arriba y por la importancia de revertir el problema se propuso: ***¿Cómo mejorar el proceso de montaje electromecánico de una planta eléctrica de potencia a través del Last Planner System de Lean Construction?***

Como consecuencia de la anterior las preguntas complementarias fueron:

¿Cómo desarrollar planeamiento, programación y control de proyecto utilizando el Sistema del Ultimo Planificador (Last Planner System) para la construcción de la planta eléctrica de potencia?

¿Cómo el Sistema del Último Planificador (Last Planner System) mejoró el proceso de la construcción de la planta eléctrica de potencia?

1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Hoy en día los proyectos se van haciendo más complejos, la necesidad de optimizar recursos es cada vez mayor y por lo tanto la necesidad de planeamiento, programación y control del proyecto se hace más evidente en empresas privadas y más aún sobre todo para la ejecución de proyectos de orden gubernamental.

La tesis titulada **“ESTUDIO DE UN SISTEMA DE PLANEAMIENTO APLICANDO LAST PLANNER SYSTEM DE LEAN CONSTRUCTION PARA PROCESOS ELECTROMECHANICOS DE UNA PLANTA ELECTRICA DE POTENCIA”** satisfizo la necesidad percibida por la empresa constructora para poder obtener un máximo aprovechamiento de todos los recursos y así ganar una mayor utilidad económica posible del proyecto y al mismo tiempo ser una empresa más competitiva.

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general

Estudiar un sistema de planeamiento aplicando *Last Planner System* de *Lean Construction* para procesos electromecánicos de una planta eléctrica de potencia.

1.3.2 Objetivos específicos

Analizar los componentes estructurales del Sistema del Ultimo Planificador (*Last Planner System*) para su aplicación en la construcción de la planta eléctrica de potencia.

Desarrollar formatos para la programación *3 Week Lookahead*.

Desarrollar una aplicación de *Lean Construction* utilizando el *Last Planner System* para procesos electromecánicos de una planta eléctrica de potencia.





2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACION

El Sistema del Ultimo Planificador (*Last Planner System*) se comenzó a implementar en Estados Unidos, ya que fue ahí donde se creó.

Pocas empresas peruanas como Graña y Montero, Cosapi, JJC Contratistas generales, Coinsa, aplican las técnicas de la filosofía *Lean Construction* en la gestión de sus proyectos de construcción desde hace varios años atrás.

Echegaray Guarín, José Manuel; Jara Ortiz, Ricardo y Ramos Alonzo, Cristian; en su informe de Diplomado de Gerencia de la Construcción, dan a conocer: Pautas Para La Implementación del Sistema del Ultimo Planificador En Una Empresa Constructora Pequeña.

Así como también, el antecedente inmediato para la realización de la presente son los conocimientos y la experiencia adquirida en el área de Planificación, Programación y Control de Costos del proyecto: *Subestación Eléctrica Principal 220KV*; haciendo énfasis a la importancia que tiene el planeamiento, programación y control de una obra en la optimización de recursos a través de procesos de calidad que hagan más rentable la obra.

2.2 SUSTENTO TEORICO

2.2.1 Antecedentes Históricos

Lean Construction, la nueva filosofía para la construcción, nace de una nueva tendencia que se dio en las industrias de la producción, que se le conoció como *Lean Production*.

Para llegar a *Lean Production*, nos remontamos a los inicios de los estudios para la mejora en las industrias manufactureras y automotrices que se dieron a finales del siglo XIX e inicios del siglo XX.

La tendencia de mejora en las empresas manufactureras viene desde finales de 1890 teniendo a **Frederick W. Taylor** como uno de los representantes más resaltantes de la época quien innovo estudiando y difundiendo la administración científica del trabajo, fundando el movimiento conocido como “Administración Científica del Trabajo” cuyo pensamiento se basa en la eliminación de las pérdidas de tiempo, dinero, recursos, horas hombre, y otros mediante un método científico. Taylor afirmaba que “El principal objetivo de la administración debe ser: asegurar la máxima prosperidad del empleador como del empleado”. De este pensamiento de Taylor denominado “Taylorismo” se obtiene la formalización del estudio de los tiempos y el establecimiento de estándares, a partir de los cuales **Frank Gilbreth** añade el desglose del trabajo en tiempos elementales. Gilbreth fue el fundador de la técnica moderna del estudio de movimientos, con la que se buscaba establecer la reducción del tiempo y la fatiga en una operación. De esta manera Taylor, Gilbreth y otros temporáneos iniciaron los primeros conceptos de eliminación de desperdicios de tiempos y el estudio de movimientos.

En cuanto a las empresas automotrices en 1910, **Henry Ford**, inventa la línea de mejora para el Ford T el cual era un producto estándar. Posteriormente **Alfred P. Sloan** introduce a la empresa General Motors el concepto de diversidad en las líneas de montaje, mejorando así el sistema Ford.

En los años 30, los encargados de dirigir la empresa automotriz **Toyota** implementaron una serie de mejoras en las líneas de producción de tal forma que estas mejoras faciliten la continuidad en el flujo de materiales así como la flexibilidad a la hora de fabricar otros productos. Terminada la segunda guerra mundial la empresa Toyota con sus ingenieros a cargo **Taiichi Ohno y Shingeo Shingo** vieron la necesidad de afianzar lo realizado en los años 30, debido a la necesidad de fabricar variedad de productos pero en pequeñas cantidades, de esta manera crean los conceptos de *Just In Time*, *Waste Reduction*, *Pull System*, los que con otras técnicas de puesta en flujo, crean el **Toyota Production System**.

Así es como esta nueva filosofía de producción surge en Japón en los años 50's gracias a los esfuerzos de Toyota Motors y el ingeniero Taiichi Ohno. En los 80's la información de esta nueva idea era aún limitada en el mundo occidental, a pesar de que aproximadamente en 1975 se iniciara la difusión de estas ideas en Europa y Norteamérica debido al cambio que se fue dando en las empresas automotrices.

Por los años 90's, la nueva filosofía que aparece con el ing. Taiichi Ohno, fue denominado de diferentes maneras, como la fabricación de clase mundial, producción flexible y nuevo sistema de producción. Pero las más usadas y conocidas son las de **Lean Production o Toyota Production System**.

En Finlandia, en esa misma época, el profesor universitario **Lauri Koskela** usa el modelo *Lean Production* y sistematiza los conceptos de Mejora Continua, Just In Time, entre otros, para crear así una nueva filosofía de planificación de proyectos en la construcción, reformulando los conceptos tradicionales de planificación y control de proyectos. Esto es propuesto en su tesis de doctorado **“Application Of The New Production Philosophy To Construction”**, 1992. Estudio que fue realizado durante su permanencia en CIFE (Center for Integrated Facility Engineering) y financiado por el Technical Research Centre of Finland, the Federation of the Finnish Building industry y la fundación Wihuri.

Así es como **Lauri Koskela** y su tesis de doctorado, dan inicio a la nueva filosofía de construcción denominada **Lean Construction**, y a la posterior creación del **Lean Construction Institute** en agosto de 1997.

LEAN PRODUCTION

2.2.2 Fundamentos teóricos de *Toyota Production System* o *Lean Production*

El *Lean Production* es una filosofía que se desarrolló en Japón, como consecuencia de la difícil situación que se vivía en ese país luego de la segunda guerra mundial. *Toyota System Production*, se desarrolló principalmente para empresas manufactureras y seriales, buscando producir a bajos costos pequeñas cantidades de productos variados bajo la teoría de desperdicio cero y mejora continua. El ing. Taiichi Ohno, su creador, afirmaba que *“en su empresa estudiaban la línea de tiempo desde que el cliente hacia el pedido hasta que la empresa recibía el dinero e iban reduciendo ese tiempo por medio de la eliminación de los desperdicios que no agregaban valor”*.

En general las actividades, según *Lean Construction*, se pueden separar en dos tipos: las que agregan valor y las que no agregan valor al producto. Puesto que las actividades productivas e improductivas consumen recursos, tiempo y esfuerzo, la diferencia es que las que agregan valor al producto están dirigidas a los requerimientos del cliente y las que no agregan valor no lo hacen.

En el fondo, la esencia del sistema es eliminar o reducir al máximo cualquier elemento que no utilice lo mínimo absolutamente necesario de recursos, tiempo y esfuerzos para agregar valor al producto. La razón por la que no se puede eliminar todas las actividades que no agregan valor se basa en una de las teorías de producción: La Teoría de Flujos.

Esta Teoría de Flujos considera a la producción como un flujo de materiales y/o información desde las materias primas hasta el producto final y se enfoca a eliminar y/o minimizar las pérdidas en los procesos de producción. La cadena de producción está compuesta de **actividades de transformación y de flujos**: las de transformación son los procesos y las de flujos son las inspecciones, transporte y espera.

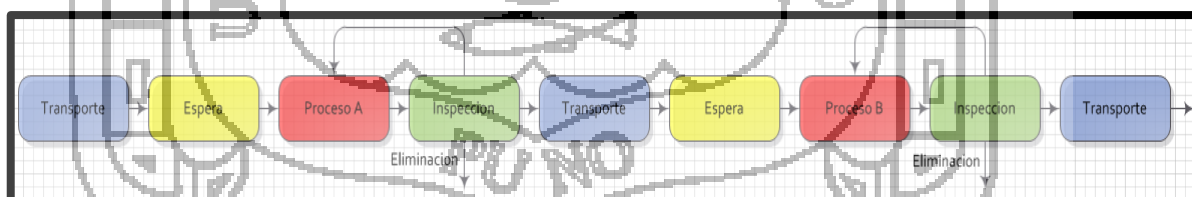


Figura Nº 1: Actividades de transformación y de flujo.

Fuente: Ballard, 2000.

Las esperas son tiempos ociosos, que se generan entre o durante los procesos, debido a la falta de algún tipo de requisito necesario para continuar o empezar un proceso, como son la falta de personal, materiales, información, permisos, etc. La espera no agrega valor al producto por lo que se tiene que

eliminar o reducir al máximo. Con el transporte ocurre algo similar, ya que es necesario trasladar los materiales desde el lugar en donde estos se encuentren, que pueden ser almacenes o desde un proceso anterior, hasta el mismo lugar en donde se realizara la actividad de transformación. Al igual que las esperas, el transporte no agrega valor al producto, pero es una actividad necesaria que hay que tratar de reducir, por lo que se debe buscar que no se transporte el material por distancias mayores a lo estrictamente necesarias.

Entendiendo estos conceptos, se pueden comprender los principios del *Lean Production*, las cuales se enumeran a continuación:

2.2.2.1 Principios de *Lean Production*

- 1) **Identificar las actividades que no aportan valor:** Eliminar, o en su defecto reducir, las actividades que no agregan valor en una línea de producción es fundamental para poder lograr mejoras en el sistema, ya que con esto se logra establecer un flujo de trabajo continuo y una alta productividad.
- 2) **Incrementar el valor del producto:** No es suficiente con eliminar o reducir las actividades que no agregan valor si es que las actividades que si agregan valor no lo están haciendo eficientemente. Algo que hay que tener en cuenta es que una actividad de transformación no necesariamente agrega valor al producto. El concepto de lo que es valor se refiera a la satisfacción de los requerimientos del cliente. Entonces lo que se busca es cumplir íntegramente las expectativas del cliente, para lo cual se deben conocer las características del producto que el cliente valora e incluirlos en el diseño de los productos y servicios.

- 3) **Reducir la variabilidad:** La variabilidad afecta directamente a muchos ámbitos de la producción. Desde el punto de vista del cliente, un producto ejecutado sin interrupciones le brinda mayor satisfacción y desde el punto de vista de la producción, la variabilidad genera más actividades que no agregan valor, lo cual genera mayores interrupciones en el flujo de trabajo y, por ende, mayores tiempos en el tiempo de ejecución.
- 4) **Reducción del tiempo de ciclo:** El tiempo de ciclo es la suma de tiempos de flujo y la transformación que son necesarios para concluir una determinada producción. Si reducimos las actividades que no agregan valor en una línea de producción, estaremos directamente reduciendo el ciclo de producción.
- 5) **Simplificación de procesos:** Se entiende como una reducción del número de pasos necesarios para realizar un producto. Principalmente, simplificar los procesos es mejorar el flujo. Los procesos más simples tienen menos gastos, son menos confiables (menos variables) y consiguen menores tiempos de los ciclos. Este principio se relaciona directamente con otro principio, que es la de incrementar la transparencia de los procesos. Procesos más simples son más transparentes, lo cual facilita su control y mejora.
- 6) **Introducir el mejoramiento continuo:** Se basa en el *Kaisen*, filosofía Japonesa que busca el mejoramiento continuo. Lo fundamental es la creación de una metodología de identificación de causas de no cumplimiento. Se necesita crear una cultura de mejora continua en la empresa que permita su implementación, necesitando que el trabajo en

equipo y la gestión participativa se constituyan como requisitos esenciales para la introducción de mejoras continuas.

7) Mejorar tanto la transformación como el flujo: La mejora del flujo implica mayor tiempo para lograrlo pero menor costo, en comparación con la mejora de la transformación, ya que esta última está relacionada con la actualización de tecnologías. Las mejoras de flujo y la transformación están íntimamente ligadas, pues flujos bien administrados facilitan la introducción de nuevas tecnologías y viceversa.

8) Benchmarking: Hay que comparar continuamente los procesos propios con los del líder del área, e incorporar lo mejor de esa otra empresa en la propia, basándose en los potenciales detectados en la competencia.

Todos estos principios apuntan a una mejora en todo el proceso de producción y principalmente, a eliminar o reducir todas aquellas actividades que no agregan valor al producto con el objetivo de lograr una cadena simple, continua y con bajo tiempo de ciclo.

El gran problema que afecta a la producción en masa es la sobreproducción, es decir, cualquier producto que no se vaya a usar o vender inmediatamente y que no agrega valor al producto final, por lo que puede ser perfectamente eliminado de la cadena de producción. Esto es consecuencia del **sistema de empuje (Push)**, que se basa en estudios de demanda de mercado, cuyos resultados dan la cantidad de productos que se fabricaran e incorporaran al mercado. La producción es empujada al mercado, creyendo que la oferta igualara a la demanda, lo cual no siempre ocurre y el resultado es una gran cantidad de producción que queda almacenada. La sobreproducción provoca un mayor stock de productos, mayores costos y menores servicios. En

contraposición, *Lean Production* utiliza el **sistema de arrastre (Pull)**, que se basa en las demandas reales del producto. Incluso se puede conocer quién será el consumidor final, dependiendo del producto que se fabrique, produciendo solamente lo necesario. Así se pueden disminuir los tiempos de entrega, almacenar una menor cantidad de mercancía y reducir costos.

Para poder utilizar estos principios y sus beneficios en la industria de la producción es que surgió *Lean Construction* para la industria de la construcción.

2.2.2.2 Herramientas de *Lean Production*

- a) Value Stream Mapping – Mapeo de la Cadena de Valor (VSM).
- b) Las 5's.
- c) Trabajo estandarizado.
- d) Mantenimiento productivo total (TPM).
- e) Error Proofing – Detección de errores.
- f) Set-Up Reduction – Reducción del tiempo de preparación.
- g) Flujo continuo.
- h) Pull System – El cliente pide (kanban).

LEAN CONSTRUCTION

2.2.3 Fundamentos teóricos de *Lean Construction*

Esta nueva filosofía surge en respuesta a las carencias que se tienen en construcción en cuanto a **productividad, calidad, seguridad y nuevas técnicas**. Esto es debido a que si comparamos la productividad de la construcción con la de una industria, la diferencia es notable ya que la última es

superior porque los procesos que se manejan en las industrias son optimizados mientras que en la construcción poco o nada se analiza para ser optimizado.

A diferencia de la actividad manufacturera donde el ritmo de producción es dominado principalmente por las maquinas utilizadas en dichos procesos de manufactura, *la construcción depende de la administración de los flujos de información y de recursos*. Esto se debe a que la mayoría de los trabajos se realizan en terreno, algunas de sus organizaciones son de carácter temporal además, del uso intensivo de equipos no estacionarios y mano de obra. La organización, planificación, asignación y control de estos recursos es lo que determina finalmente la productividad que pueda lograrse. Pese a esta realidad hasta ahora el modelo conceptual utilizado para analizar la construcción, es un modelo de conversión de entradas y salidas que ignora aspectos importantes de **flujo de información y recursos**, siendo este tipo de modelos los que han limitado la propagación de nuevas tecnologías y filosofías de producción, sin embargo los avances desarrollados recientemente en la industria Japonesa, relacionado a *Lean Production*, y actualmente expandida en Europa y Estados Unidos, están basados en filosofías de producción que consideran explícitamente los flujos de información y de recursos.

La industria de la construcción ha sido entendida tradicionalmente como un proceso de producción en que materias primas (entradas) son convertidas, transformadas o procesadas en productos (salidas), respondiendo a un modelo de producción denominado *Modelo de Conversión*, el cual se muestra en la **Figura Nº 2**, este modelo también considera subprocesos, denominados genéricamente, subprocesos de conversión.

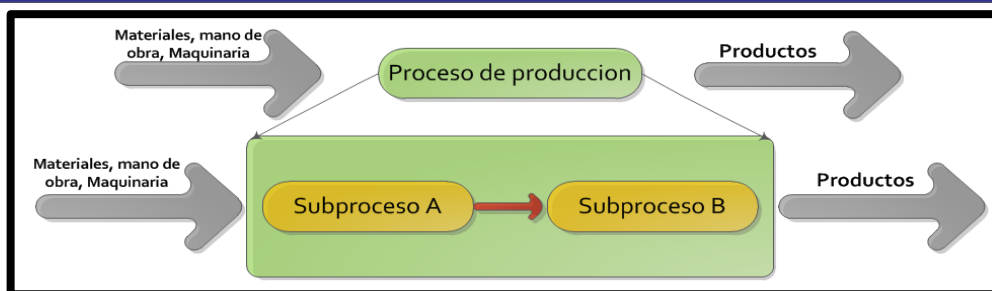


Figura Nº 2: Proceso clásico de conversión de una entrada en una salida.

Fuente: Ballard, 2000.

Este modelo presenta los siguientes errores (Lira, 1996):

- a) No diferencia entre las actividades de conversión (actividades que agregan valor) y las actividades de flujo (actividades que no agregan valor). Este modelo considera que todas las actividades agregan valor.
- b) Una de las premisas fundamentales del modelo, estima que el costo total del proceso puede reducirse minimizando los costos de cada subproceso, ignorando los efectos producidos por las interdependencia entre subprocesos. El modelo no considera la variabilidad de los resultados y los trabajos rehechos, pues se asume que el trabajo pasa linealmente y secuencialmente a través del sistema de producción.
- c) No existe preocupación por el impacto que introduce en el producto final, la mala calidad de los recursos, la variabilidad y la incertidumbre.

La nueva conceptualización implica una nueva visión global de producción que consiste en transformaciones y flujos. Todas las actividades implican costos y consumen tiempo, por ello es importante distinguir las actividades que agregan valor y las que no la hacen.

- i. **Actividades que agregan valor:** aquellas actividades que transforman materiales o información hacia lo que es requerido por el cliente.

- ii. **Actividades que no agregan valor:** aquellas actividades que consumen recursos, tiempo y espacio y que no aportan a los requerimientos del cliente.

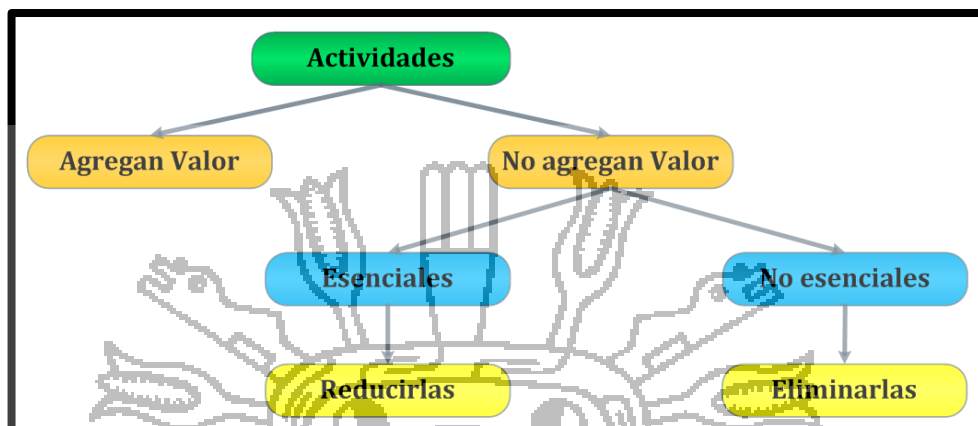


Figura Nº 3: Tipos de actividades.

Fuente: Ballard, 2000.

De la **Figura Nº: 3**, por tanto, el mejoramiento del flujo de actividades que no agregan valor debe estar enfocado a su eliminación o en su defecto a su reducción ya que estas no agregan valor.

Los conceptos de conversión, flujo y valor de producción, no son alternativas excluyentes o teorías de producción competidoras, por el contrario son parciales y complementarias. Todos estos conceptos se centran en el control de la producción desde el punto de vista del cliente. El **Cuadro 1** muestra la interacción de estos tres conceptos.

	Perspectiva de la Conversión	Perspectiva de Flujo	Perspectiva de la generación de Valor
Conceptualización de la producción	Como transformación de entradas en salidas	Como un flujo de materiales, compuesto de transformaciones, inspecciones y esperas	Como un proceso donde el valor para el cliente es generado a partir de la plena

			satisfacción de sus necesidades
Principios principales	Hacer la producción en forma eficiente	Eliminación de pérdidas (actividades que no agregan valor)	Eliminación de pérdidas de valor
Métodos y practicas	WBS, MPR, OBS	Flujo continuo de producción Pull, mejoramiento continuo	Método de captura de requerimientos, despliegue de la función calidad
Contribución práctica	Cuidar lo que hay que hacer	Cuida de que lo innecesario es realizado con menos posible	Cuidar que lo que requiere el cliente es satisfecho de la mejor forma posible
Nombre sugerido para la aplicación práctica de la perspectiva	<i>Task management</i>	<i>Flow management</i>	<i>Value management</i>

Cuadro Nº 1: Interacción CFV (Conversión, Flujo y Valor).

Fuente: Koskela, 2000.

Del **Cuadro Nº: 1**, para lograr las metas de producción, se resume que los tres conceptos deben estar balanceados y sus interacciones controladas para evitar anomalías. Evidentemente, en un sistema de producción donde los tres conceptos han sido implementados en todos los niveles de administración tendrá mejores desempeños que uno en donde los conceptos han sido implementados de forma incompleta o inadecuada.

Koskela (1992), explica que los flujos de procesos podrán ser diseñados, controlados y mejorados, con un conjunto de principios heurísticos que han evolucionado en varios campos de la filosofía de producción.

2.2.3.1 Principios de *Lean Construction*

Como parte de la nueva filosofía de construcción, un número importante de principios fueron planteados por Lauri Koskela en 1992, para el centro de investigación técnico de Finlandia, los que serán enunciados a continuación:

- 1) **Incrementar la eficiencia de las actividades que agregan valor:** El aumentar la eficacia de las actividades que agregan valor, es decir, todas aquellas actividades componentes del producto final, significa que la medida de utilización de los recursos debiese ser óptima correspondiendo esta, a la razón entre los recursos programados y los realmente consumidos.
- 2) **Reducir la participación de actividades que no agregan valor (perdidas):** Pareciese haber tres causas que originan este tipo de actividades; el diseño, la ignorancia y la naturaleza inherente de producción en la construcción.

La gran mayoría de los principios están dirigidos a eliminar las actividades que no agregan valor. Sin embargo es posible combatir las pérdidas más visibles con la mejora de la eficacia de las actividades de conversión de los flujos o simplemente con la eliminación de algunas actividades que son de flujo. Para aplicar este principio es necesario crear diagramas de flujos de procesos constructivos claves, es decir, se realiza un diagrama de flujo de lo que se está haciendo actualmente, este se

analiza y se mejora, eliminando lo que está de más, luego se entrena al personal para aplicar el sistema mejorado y buscar la manera de llegar a un sistema óptimo.

No obstante, este principio de eliminación de actividades no debe ser llevado al extremo, existen diversas actividades que no agregan valor en forma directa al producto final requerido por el cliente, pero son indispensables para la eficacia global de los procesos como es el caso puntual de entrenamiento de personal, control dimensional entre otros.

3) Aumentar el valor del producto considerando los requerimientos del

cliente: El valor del producto se puede incrementar considerando sistemáticamente los requerimientos del cliente. Así, un proceso solamente genera valor cuando las actividades transforman materia prima en componente de los productos. Es por esto que los datos relativos a los requisitos y las preferencias de los clientes deben estar disponibles en el proyecto, siendo estas conseguidas a través de las investigaciones de mercado con los potenciales compradores o después de la entrega de las construcciones. Tal información debe ser comunicada claramente a los proyectistas a través de planillas y en diferentes reuniones a través de las etapas del proyecto.

4) Reducir la variabilidad: Todos los procesos de producción son variables, sobre todo en el contexto de la construcción debido al carácter único del producto y a las condiciones locales que caracterizan una obra. Existen dos motivos para reducir la variabilidad, en primer lugar desde el punto de vista del cliente, un producto uniforme siempre es mejor. Bendell (1989) propone “cualquier desviación de un valor objetivo en el producto causa

una pérdida al cliente”. Y en segundo lugar, desde el punto de vista de la producción, la variabilidad principalmente de la duración de ciertas partidas, aumentan el volumen de actividades que no agregan valor. Estas pueden ser causadas por la interrupción de los flujos de trabajos, producida por el entorpecimiento entre los equipos, por ejemplo, esto ocurre cuando un equipo deja parada una actividad que es importante en un proceso, obstruyendo la entrada al equipo que llevara a cabo la siguiente partida. También puede originarse por el rechazo del producto por no cumplir con las especificaciones entregadas por el cliente.

Existen diferentes tipos de variabilidad encerrados en un proceso de producción:

- i. *Variabilidad en los procesos anteriores:* relacionada con las alteraciones en la entrega de un recurso por parte de los proveedores.
 - ii. *Variabilidad en el propio proceso:* relacionada a la ejecución de un proceso.
 - iii. *Variabilidad en la demanda:* relacionada con las pretensiones y necesidades de los clientes.
- 5) **Reducir el tiempo de ciclo:** El tiempo es una medida natural para los procesos de flujo, según Krupka (1992) “entrega una visión más útil y universal que el costo o la calidad ya que puede ser usado de mejor forma para la mejora de los otros dos”.

La reducción del tiempo de ciclo es un principio que puede ser definido como la suma de todos los tiempos, transportes, espera, procesamiento e inspección para producir un determinado producto, la aplicación de este principio está fuertemente relacionada con la disminución del tiempo

disponible de tal manera que es importante forzar la disminución o eliminación de actividades de flujo.

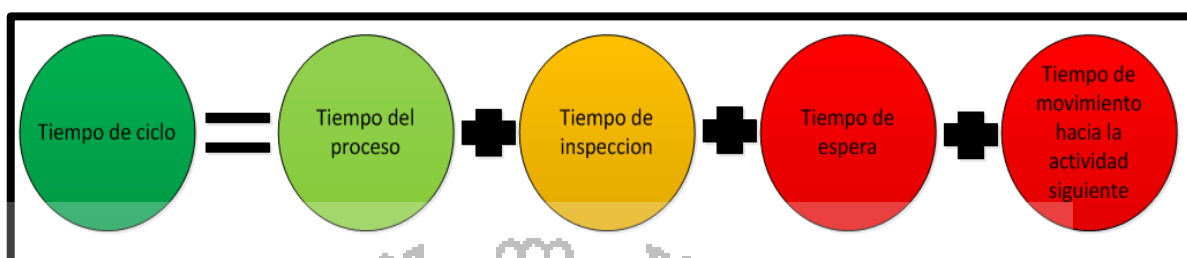


Figura N° 4: Tiempos que componen el ciclo de procesos completo.

Fuente: Krupka, 1992.

La reducción de tiempo de ciclo trae como consecuencias los siguientes:

- i. Entrega más rápida a los clientes.
 - ii. Gestión de los procesos más fáciles.
 - iii. El efecto aprendizaje tiende a aumentar.
 - iv. Mayor precisión de estimaciones por demandas futuras.
 - v. El sistema de producción se vuelve menos vulnerable en torno a la demanda.
- 6) **Minimizar los pasos de manera que simplifique el proceso:** Cuanto mayor es el número de componentes y pasos de un proceso mayor es la cantidad de actividades que no agregan valor, las cuales pueden ser eliminadas por unidades independientes (equipos multidisciplinarios y autónomos). La simplificación del proceso incluye el acortamiento de los flujos por la consolidación de actividades repetitivas, donde se debe evaluar constantemente la calidad y el grado de aprendizaje de la mano de obra mediante sistemas de calificación personal.
- 7) **Incrementar la flexibilidad de las salidas:** El aumento de la flexibilidad en la salida está vinculado a los conceptos de procesos como generador

de valor. Este principio se refiere a la posibilidad de alterar las características de los productos entregados a los clientes, sin aumentar el costo de estos. Esto se puede generar con los siguientes puntos:

- i. Disminución de los tiempos de ciclos a través de la reducción del tamaño de los lotes.
- ii. Uso de una mano de obra apropiada, capaz de adaptarse fácilmente al cambio de la demanda.
- iii. Manejo de procesos constructivos que permitan la flexibilidad del producto sin grandes daños para la producción.

8) Incrementar la transparencia de los procesos: Este principio puede ser usado como un mecanismo de integración de la mano de obra en el desarrollo de mejoras. La carencia de transparencia en los procesos aumenta la posibilidad de cometer errores y disminuye la motivación para mejorar, así que la transparencia es facilitar el control y el mejoramiento, según Stalk y Hout (1989) “hacer que el flujo principal de operaciones, de principio a fin sean más visibles y comprensibles para todos los involucrados”.

Alguno de los esfuerzos realizados para mejorar la transparencia en los procesos son:

- i. Hacer los procesos directamente observables, esto es, incorporando planos apropiados, fechas programadas, normas o desviaciones de ellas; de tal manera que estos estén distribuidos en la obra para que todo el personal tenga acceso a la información.

9) Enfocar el control de los procesos al proceso completo: En construcción cada supervisor de procesos entrega su visión de cómo

deben hacerse las cosas, esto trae muchas veces como resultado la incertidumbre en los trabajadores. Los compromisos en la planificación solucionan en parte el control del proyecto completo. El sistema del último planificador es el encargado de dar paso a la generación de los compromisos mediante las reuniones de planificación.

- 10) Introducir el mejoramiento continuo de los procesos:** La búsqueda de la reducción de pérdidas en un proceso y el trabajo por agregar valor en la gestión de este, es de carácter constante y tiende a ir acrecentándose, debiendo ser conducido por un grupo responsable capaz de guiar a su personal a discutir o experimentar posibles soluciones a diferentes aspectos de un proceso de producción. El trabajo en equipo y la gestión participativa son parte de los requisitos esenciales para la introducción de las mejoras continuas en las diferentes etapas. También la estandarización de los procedimientos es una forma de consolidar prácticas constructivas y servir de referencia para futuras mejoras. Además, el crear una metodología para identificar las causas de los problemas es la base para modelar los procesos.

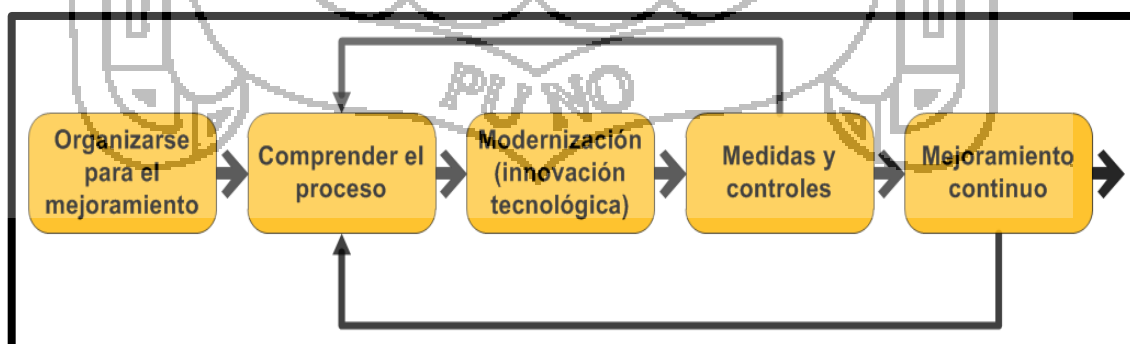


Figura N° 5: Esquema simplificado del proceso de mejora continua.

Fuente: Alarcón, 2003.

11) Referencias permanentemente los procesos (Benchmarking):

Benchmarking es el nombre que recibe el proceso de clase mundial que a menudo sirve como estímulo para alcanzar el mejoramiento, ayudando a vencer rutinas y malas prácticas en la ejecución de procesos, esta metodología ha sido detallada extensamente por Robert Camp (1989).

Los pasos básicos del Benchmarking son los siguientes:

- i. Saber el proceso, evaluar las fortalezas y debilidades del proceso.
- ii. Conocer a cerca de los líderes de la industria o competidores, encontrar, entender y comparar las prácticas de los mejores.
- iii. Adelantarse y combinar las fuerzas existentes con lo aprendido de las prácticas referenciadas.

LAST PLANNER SYSTEM

2.2.4 Sistema del último planificador (*last planner system*)

2.2.4.1 Introducción

El *Last Planner System (Sistema del Último Planificador)*®, es un sistema de control de producción, pero para entender mejor este último concepto, iremos más atrás para poder entender que es control y producción.

Producción: Es sinónimo de “hacer”, y se puede entender como el conjunto de operaciones necesarias para modificar las características de las materias primas, con la finalidad de obtener un producto o valor que será destinado al cliente.

Control: Dentro de diversos planteamientos de varios autores estudiosos de este tema (Henry Fayol, Robert B. Buchele, Buro K. Scanlan, entre otros), podemos destacar que definen al *control como un mecanismo de comprobación*

o verificación, como un proceso de medición de resultados o como la regulación de actividades. Todo esto relacionado siempre a la planificación o a un estándar, mediante el cual se busca llegar a un objetivo particular. El resultado de dicho control son las correcciones, diagnósticos, acciones correctivas, identificación de debilidades entre otros. De esta forma podemos entender al control de manera general como una función administrativa, ya que forma parte del proceso de administración, que permite verificar, constatar, palpar, medir, evaluar, si la actividad, proceso, unidad, elemento o sistema seleccionado está cumpliendo y/o alcanzando o no los resultados esperados.

En base a la filosofía *Lean*, control significa “causar un futuro deseado” en lugar de identificar variaciones entre lo planeado y lo real (en oposición a los principios del Project Management). Por ello Howell (1999) argumenta que el control se redefine a partir de “monitorear resultados” hacia “hacer que las cosas sucedan” o como indicamos “causar un futuro deseado”.

Por Control de la producción se entiende como el proceso que gobierna la ejecución de los planes y se extiende desde el comienzo hasta el fin del proyecto. Por ello el control de la producción, concibe a la producción como un flujo de materiales e información entre especialistas que cooperan, para generar un valor para el cliente.

Concluimos que *Last Planner System* (Sistema del Ultimo Planificador) ® es un sistema de control de la producción debido a que con este sistema se rediseña los sistemas de planificación ordinarios y se incorpora un mayor nivel de participantes como ingenieros, subcontratistas, capataces, etc. Todo ello con la finalidad de lograr los compromisos en la planificación.

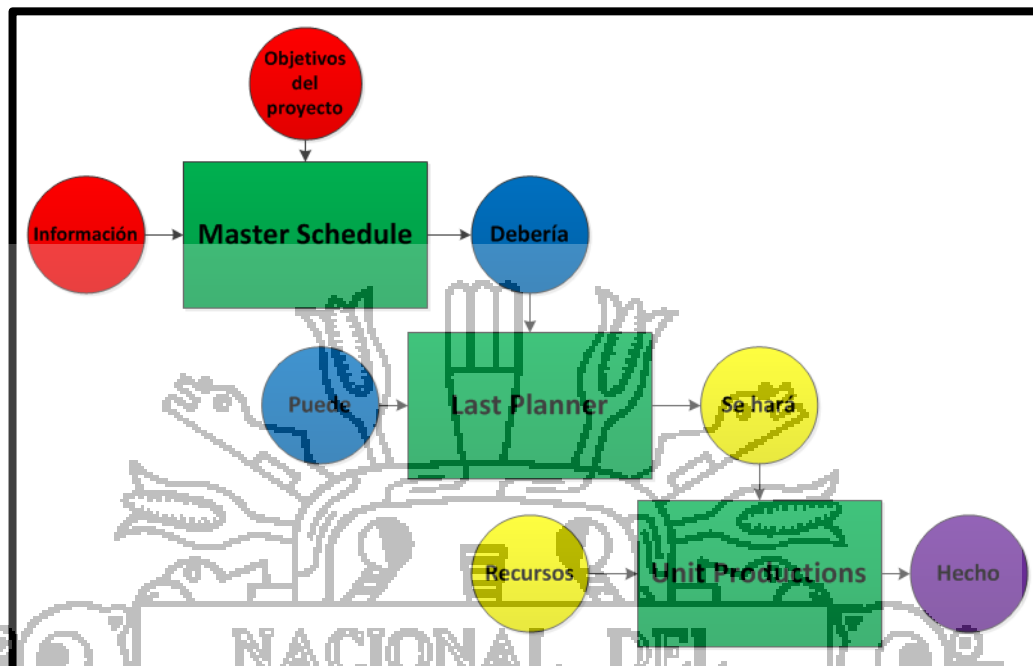


Figura N° 6: Last Planner System.

Fuente: Ballard, 2000.

2.2.4.2 Principios de *Last Planner System*

Lauri Koskela, propuso unos criterios o principios para diseñar un adecuado sistema de control de la producción (Koskela, 1992). Estos principios son (Ballar, 2000):

- 1) **Las asignaciones deben ser razonables en relación a sus condiciones previas**, esto hace referencia a que no deberíamos iniciar una actividad, tarea o labor hasta que estén disponibles todos los materiales, herramientas, recursos humanos, procedimientos, permisos, autorizaciones necesarias para completar dicha tarea. Este principio busca minimizar el trabajo en condiciones sub-óptimas (Ballar, 2000, 2-4).

- 2) ***El cumplimiento de las asignaciones es medido y monitoreado***, la forma de medir este cumplimiento es el Porcentaje de Actividades Completadas PAC, el cual será detallado más adelante. Este enfoque hace que reduzcamos el riesgo de variabilidad en tareas o flujos que viene después de la actividad que evaluemos.
- 3) ***Se investigan las causas de no cumplimiento y esas causas son eliminadas***, las causas de no cumplimiento son las razones del no cumplimiento de las actividades.
- 4) ***Sugiere mantener un paquete de tareas de amortiguación (buffers) razonables para cada tipo de trabajo***, esto hace referencia a que en caso no se pueda realizar una actividad programada, se debe tener tareas que estén libres de restricciones para ser ejecutadas en su lugar, para evitar pérdida de producción y productividad.
- 5) ***En la planificación lookahead (con un horizonte temporal de 3 a 4 semanas), los requisitos previos de asignaciones inminentes deben ser liberados de forma activa***, lo cual hace referencia claramente a un sistema "Pull", donde se busca asegurar que todos los requisitos previos estén disponibles para la ejecución de las asignaciones.

Estos cinco principios son aplicado en el *Last Planner*®, para ello pasaremos a definir a quienes se llama *Last Planner* y todo lo que involucra el seguir esta metodología.

2.2.4.3 Definición

El *Last Planner System* fue desarrollado por **Herman Ballard** y **Gregory A. Howell**, basándose en los principios de *Lean Construction*. El sistema desarrollado es una herramienta para controlar interdependencias existentes entre los procesos y reducir la variabilidad entre estos, y por lo tanto asegurar el cumplimiento de la mayor cantidad de actividades planificadas con la filosofía *Lean Construction*, este aseguramiento es posible ya que la ausencia de variabilidad significa producción confiable (Tommelein, 1998). La variabilidad solo la podemos controlar teniendo funcionamientos confiables, usando procedimientos simplificados y estandarizados para pronosticar fácilmente el desempeño.

En cuanto al término *Last Planner*®, Gleen Ballard, en su tesis de doctorado enuncia lo siguiente: “En última instancia, alguien (individuo o grupo) decide que trabajo físico, será realizado mañana. Este tipo de planes han sido llamados asignaciones”. La persona o el grupo que produce las asignaciones son llamados el *Last Planner*®. Por eso la traducción al castellano de *Last Planner* es de “Ultimo Planificador” ya que esta persona o grupo de personas son las ultimas encargadas de definir las asignaciones para el día a día de la obra.

Se debe entender que la planificación no es simplemente el desglose de actividades que se preceden unas de otras, con la finalidad de poder obtener el presupuesto para la cuantificación de costo y lograr una programación con un inicio y un fin del proyecto. Con la planificación debemos ser capaces de poder definir qué se debe hacer, que es lo que se puede hacer, que es lo que se hará, que acciones de debe tomar para que se cumpla la planificación e indicar los responsables de dicha planificación. Por ello con esta necesidad de cubrir estos puntos mencionados, es que el *Last Planner System*®, apunta

fundamentalmente a aumentar la fiabilidad de la planificación y con ello mejorar los desempeños.

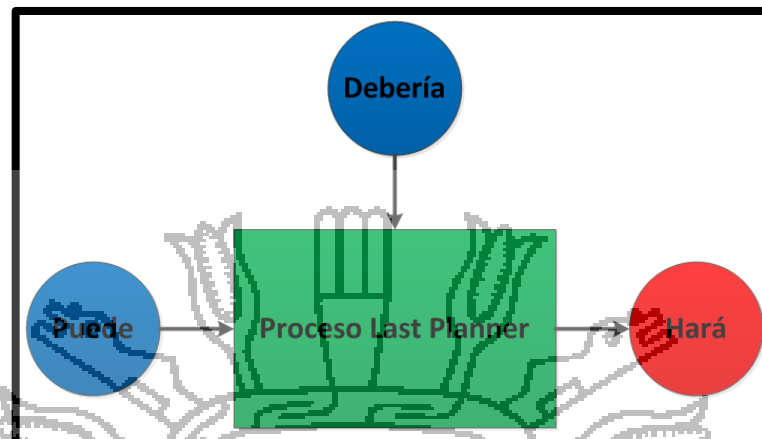


Figura N° 7: Proceso *Last Planner* – Formación de asignaciones.

Fuente: Ballard, 2000.

El incremento de fiabilidad se lleva a cabo mediante la planificación intermedia (*Lookahead Plannig*) y mediante el plan de trabajo semanal (*Weekly Work Plan*).

Antes de definir estos conceptos, debemos citar la concepción que Ballard da respecto al *Last Planner System*®.

El *Last Planner System*® de control de producción es una filosofía, reglas y procedimientos que incluyen un conjunto de herramientas que facilitan la implementación de esos procedimientos. En relación a esos procedimientos, el sistema tiene dos componentes: Control de las unidades de producción y control del flujo de trabajo” (Ballar, 2000). Como unidades de producción en la construcción se entiende como una cuadrilla de obreros que se especializan en un tipo de labor, el termino en inglés es “*Production Unit – PU*”.

Estos dos componentes van relacionados con la división de la fase de Control de la Producción, ya que el “control de flujo de trabajo” se lleva a cabo mediante

la planificación intermedia (*lookahead Planning*), mientras que el control de las Unidades de Producción se realiza mediante el Plan de Trabajo semanal (*Weekly Work Plan*), mediante las cuales se puede incrementar la fiabilidad como ya se indicó, que finalmente hacen que los objetivos se cumplan al ser estos alcanzables.

2.2.4.4 Control de las unidades de producción

El “Control de las unidades de producción coordina la ejecución del trabajo dentro de unidades de trabajo tales como los equipos de construcción y los de diseño” (Ballard, 2000), y uno de los puntos importantes para el funcionamiento de un sistema a nivel de las unidades de producción es la calidad de su producción, esto se refiere a la calidad de los planes producidos por los *Last Planner* en los planes de trabajos semanales. Los criterios de calidad para una asignación de una tarea en el *Weekly Work Plan* son:

- a) Definición: La actividad este bien definida.
- b) Viabilidad: El trabajo escogido es práctico, razonable y realizable.
- c) Secuencia: Se escoge la secuencia de trabajo correcto.
- d) Tamaño: Se escoge la cantidad de trabajo apropiado.
- e) Aprendizaje: Esto es luego de realizado el análisis de restricciones.

Mediante el Porcentaje de Actividades Completadas-PAC podemos medir la calidad de lo planificado. Este indicador PAC se vuelve el estándar para el control de actividades completas. Un mayor PAC indica mayor avance, producción y productividad.

Por consiguiente, el PAC mide el grado de compromiso del planificador con las actividades asignadas y materializadas. En caso de que haya actividades sin ejecutar será necesario realizar un *feedback* de fallas para que esto no vuelva a ocurrir en las próximas semanas.

2.2.4.5 Control del flujo de trabajo

El otro componente del sistema de planificación, es el control del flujo de trabajo el cual consiste en “hacer que el trabajo se mueva entre las unidades de producción en una secuencia y ritmo deseados” (Ballard, 2000). Además también el control del flujo de trabajo coordina la ejecución del trabajo (flujo de diseño, abastecimiento e instalación) a través de las unidades de producción.

2.2.4.6 Estructuración de *Last Planner System*

Los elementos que conforman o estructuran a *Last Planner System*® son:

- 1) Cronograma Maestro (Master Schedule).
- 2) Planificación por Fases (Phase Schedule).
- 3) Planificación Intermedia (Lookahead Planning).
 - Análisis de Restricciones (Constraints Analysis).
- 4) Reserva de Trabajo Realizable (Workable Backlog).
- 5) Plan de Trabajo Semanal (Weekly Work Plan).
 - Porcentaje de actividad completado PAC.
 - Razones de no cumplimiento.

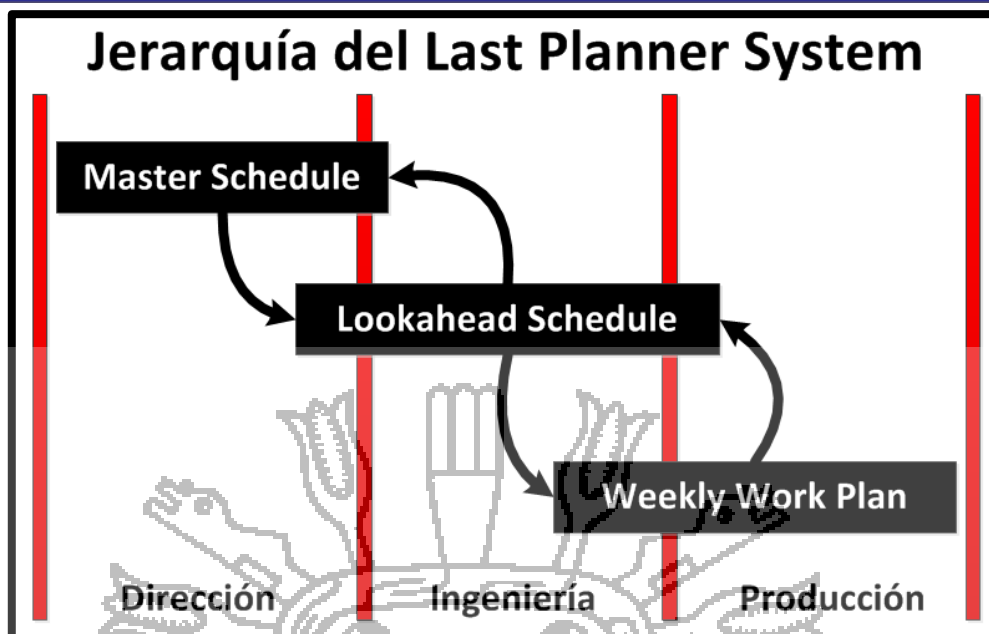


Figura N° 8: Estructura jerárquica de *Last Planner System*.

Fuente: Elaboración Propia.

1) Cronograma Maestro (*Master Schedule*).

El programa maestro define las tareas de “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.

El programa maestro genera el presupuesto y el cronograma del proyecto. Proporciona un mapa de coordinación de actividades que lleva a la realización de este. Esta etapa es de vital importancia para que el Sistema del Ultimo Planificador proporcione los beneficios esperados. El programa maestro o planificación inicial debe ser realizado con información que represente el verdadero desempeño que posee la empresa en obra, solo de esta manera se podrá validar al Sistema del

Ultimo Planificador, ya que se estarán supervisando tareas que, en la realidad, representan la forma en que trabaja la empresa.

En este programa de planifican los recursos de Clase 1 que se caracterizan por:

- i. Recursos con largo periodo de adquisición y baja repetitividad.
- ii. Lote de compra en general corresponde a cantidad total.

Todas las actividades del plan maestro necesitaran en algún momento ser exploradas y puestas en el programa intermedio pero, cuando los proyectos son extensos y complejos, su plan maestro se puede construir solo de actividades en términos generales. Por lo tanto este programa extenso y complejo podrá ser dividido en fases.

2) Planificación por Fases (Phase Schedule).

El programa de Fases es el segundo nivel de planificación y se hace necesario cuando los proyectos son largos y complejos. El programa maestro podrá separarse en fases, con actividades que se exploraran como conjunto 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, preparado por personas que administran el trabajo en 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.

Según Ballard, una planificación por fases, tiene como propósito el elaborar un plan para completar una fase del trabajo:

- i. Que maximice la generación de valor.
- ii. Que todos los involucrados entiendan y apoyen.
- iii. Que especifique la transparencia entre grupos de trabajo.
- iv. En donde las actividades programadas se elaboren en base al proceso *Lookahead* para ser explotada en los detalles operativos y sea preparado para la asignación de los planes de trabajo semanales.

Además Ballard nos indica que el proceso de programación por fases involucra:

- a. Definir el trabajo que se incluirá en la fase.
- b. Determinar la fecha de finalización de la fase.
- c. Aplicar la duración de cada actividad, sin la contingencia o aumento en las estimaciones de duración. Tratando de usar el tiempo que se puede esperar en condiciones normales.
- d. Reexaminar la lógica para tratar de acortar la duración. Esto es ver lo cambios que pudieran darse los cuales permitan acortar el tiempo.
- e. Determinar la fecha de inicio más temprano para la fase.

- f. Si hay tiempo de sobra después de comparar el tiempo de inicio y la finalización de la duración de las actividades del proyecto, se debe decidir qué actividades buffer habrán para el tiempo adicional.
- g. ¿El equipo está cómodo que los buffer son suficientes para asegurar la finalización dentro de los hitos? Si no es así, entonces, bien se replantean o se cambian los hitos según sea necesario y posible.
- h. Si hay exceso de tiempo disponible más allá de lo necesario para amortiguar las tareas individuales, se debe decidir si se desea acelerar el calendario o utilizar el exceso para aumentar la probabilidad de terminar en el plazo establecido.
- i. Reservas de tiempo no asignado en un buffer de contingencia general para la fase.

3) Planificación intermedia (Lookahead Schedule)

Es el tercer nivel en la jerarquía del sistema de planificación, cuyo objetivo principal es controlar el flujo de trabajo.

Lookahead Schedule, según *Lean Construction Institute* es: el resultado de detallar las actividades del programa maestro a través del modelo de definición de actividades, revisando las tareas resultantes antes de permitir que entren en la ventana intermedia o que avancen dentro de esa ventana. Incluye la ejecución de las acciones necesarias para alistar las tareas para su asignación una vez que sean programadas. La *Lookahead Schedule* puede ser representada en forma de lista o de gráfico de barras.

El periodo del *Lookahead Schedule* puede ser entre 3 a 12 semanas, esto es de acuerdo a las características del proyecto, la confiabilidad del sistema de planificación y los plazos para adquirir información, mano de obra, equipos, permisos, autorizaciones, procedimientos, entre otros.

La *Lookahead Schedule* es un intervalo de tiempo en el futuro, que permite tener una primera idea de que actividades serán programadas, para lo cual se debe coordinar todo lo necesario para que estas se puedan realizar. Se deben coordinar aspectos de logística, recursos humanos, proveedores, diseños (planos), permisos, procedimientos, autorizaciones entre otros, para un intervalo de entre 3 a 12 semanas.

III.1 Funciones del *Lookahead*

Las funciones del *Lookahead Schedule* según Ballard, son:

- a. **Formar la secuencia y el ritmo del flujo de trabajo:** esto es establecer predecesoras y sucesoras de acuerdo a la secuencia constructiva.
- b. **Equilibrar correctamente la carga y la capacidad de trabajo.**
- c. **Descomponer las actividades del *Master Schedule* en paquetes de trabajo y operaciones:** esto es asignar que actividades serán designados directamente a las unidades de producción y que actividades requieren eliminar restricciones.
- d. **Desarrollar métodos detallados para la ejecución del trabajo:** esto es realizar un análisis de alto detalle del proceso o método constructivo para así llegar a una posible restricción que impida el 100% de factibilidad.

- e. **Mantener una reserva de trabajo listo:** esto es que en el caso de que una actividad no sea ejecutada, se tendrán actividades de reserva para que las unidades de producción no queden ociosas.
- f. **Actualizar y revisar programas de mayor nivel según requerido:** a medida que se va avanzando en el proyecto necesitaremos analizar actividades pendientes de ejecutar ya sea por la falta de liberación de alguna restricción o por el adelanto de actividades para no dejar unidades de producción ociosas. En ambos casos se deberán revisar los hitos definidos por el *Master Schedule* para ver que estos cumplan con los plazos propuestos o en su defecto estos hitos deberán ser redefinidos.

III.2 Definición de actividades

Antes de entrar en la ventana del *Lookahead*, las actividades del programa maestro o las del programa fase son ampliadas a un nivel de detalle adecuado para una asignación a los planes de trabajo semanales, lo que típicamente genera asignaciones múltiples para cada actividad del *Weekly Work Plan* (Ballard, 2000).

Se concluye que las actividades detalladas del *Master Schedule* son actividades que serán ejecutadas por las unidades de producción. Algo muy importante en la definición de actividades es tener bien claro los metrados (cargas) a ejecutar y los rendimientos (capacidad) de las unidades de producción.

III.3 Análisis de restricciones

Luego de definir las actividades o asignaciones en el *Lookahead Schedule*, se procede a realizar el análisis de estas asignaciones, lo cual no es más que identificar los factores que impidan la normal ejecución de la actividad en la fecha y plazo establecido. He allí la importancia de desglosar al detalle el *Master Schedule*, ya que de esta manera será más fácil realizar este análisis. El objetivo de realizar este análisis es el de obtener una reserva de trabajos ejecutables, los cuales estarán listas para ser programadas.

Ballard, al respecto indica: “La regla general es permitir dentro de la ventana *Lookahead*, o permitir avanzar de una semana a la siguiente dentro de la ventana *Lookahead*, solamente aquellas actividades que puedan ser alistadas para ser completadas puntualmente. Si el planificador no está seguro de poder eliminar las restricciones, las asignaciones potenciales son postergadas a una fecha posterior” (Ballard, 2000).

Por lo tanto para lograr el control del flujo de trabajo, que es la finalidad del *Lookahead Planning*, se debe coordinar todo lo necesario para que una actividad pueda ser ejecutada. Por ello esta coordinación para la ejecución futura de actividades se denomina “liberación de restricciones”, que puede involucrar la liberación de los diseños, procedimientos, permisos, materiales, mano de obra, equipos o maquinarias, información, entre otros.

A continuación se consideraran las restricciones más usuales en construcción:

- i. **Diseño:** se hace referencia con esta restricción a temas relacionados con planos de construcción, planos de detalle, estándares de construcción y montaje del proyecto.
- ii. **Prerrequisitos:** Se refieren a actividades precedentes que deben ser completados para continuar con las actividades sucesoras.
- iii. **Materiales:** Los materiales que se utilicen en la construcción o montaje tienen que estar antes de la fecha de inicio de la actividad.
- iv. **Mano de obra:** El recurso humano empleado para la ejecución de actividades tienen que estar disponibles, estos pueden ser, técnicos especializados en actividades específicas, supervisores especializados, el *Vendor* de equipos a instalar, entre otros.
- v. **Equipos:** Debemos tener en cuenta el tiempo que toma en alquilar, comprar, movilizar y reparar una maquinaria para la tarea que se esté analizando, de tal manera que se pueda tener maquinaria en óptimas condiciones en la fecha de inicio de la actividad.
- vi. **Calidad:** En muchas obras se tienen controles de calidad ya sea por la empresa constructora o por algún supervisor externo, para ello se debe tener en cuenta los tiempos en convocar a los responsables del control de calidad, tener listos los formatos de

control, etc. De tal manera que se pueda cumplir antes y después con los protocolos preestablecidos.

- vii. **Otras:** En esta categoría podemos colocar restricciones puntuales y/o especiales que pudieran obstaculizar la ejecución de la actividad incluida en el *Lookahead* tales como las condiciones climáticas, huelgas, inasistencias, etc.

Lookahead Schedule - Análisis de restricciones

	Recursos				
	Diseño	Materiales	M. O.	Equipos	Pre-Requi.
Actividad #1	✓	✓	✗	✓	✓
Actividad #2	✓	✓	✓	✓	✓
Actividad #3	✗	✗	✗	✓	✓
Actividad #4	✓	✓	✓	✓	✓

Debe **Puede**

Cuadro N° 2: Análisis de restricciones para el *Lookahead Schedule*.

Fuente: Elaboración Propia.

III.4 Reserva de trabajo ejecutable

Como ya se mencionó, la reserva de trabajos ejecutables viene a ser la lista de tareas que no tienen restricciones para su ejecución, por lo que tendrán altas posibilidades de ser ejecutadas. Esta lista puede contener diferentes tipos de tareas (Rojas R. Vera).

- i. Actividades con restricciones liberadas que pertenecen a la reserva de trabajo ejecutable de la semana en curso que no pudieron ser ejecutadas.

- ii. Actividades con restricciones liberadas que pertenecen a la primera semana futura que se desea planificar.
- iii. Actividades con restricciones liberadas con dos o más semanas futuras (situación ideal para todo planificador).

La finalidad de tener actividades de reserva es la de no interrumpir el flujo de trabajo producto de alguna restricción o motivo de la no ejecución de alguna actividad.

4) Plan de trabajo semanal (*Weekly Work Plan*)

El *Weekly Work Plan* es el último nivel dentro de la jerarquía del *Last Planner System*, siendo este el de mayor nivel de detalle previo a la ejecución de una actividad y que tiene como objetivo controlar las unidades de producción. Lo que se busca con esto es lograr progresivamente asignaciones de mayor calidad en base al aprendizaje continuo y con acciones correctivas. El responsable de realizar esta etapa es denominado el Último Planificador (*Last Planner®*), que puede ser un ingeniero de campo, un maestro de obra, supervisores, etc. Es decir, todas aquellas personas que están directamente responsables de la ejecución de los trabajos en campo y están en contacto con las unidades de producción.

El *Weekly Work Plan* se elabora en base a la selección de tareas que tenemos de la lista de trabajos realizables. Por ello “asignaciones de calidad” se denomina a la acción de escoger las tareas ejecutables en las siguientes semanas ya que sabemos que tienen altas probabilidades de ser ejecutadas por las unidades de producción.

Esta acción de “asignaciones de calidad” garantiza una protección al flujo de trabajo de las incertidumbres, aportando así un flujo confiable de trabajo para las unidades de producción así como a la obtención de altos valores del porcentaje de actividades completadas PAC.

IV.1 Porcentaje de Avance Completado PAC

El indicador PAC se convierte en un estándar para medir la eficacia de las actividades programadas en el *Weekly Work Plan*. Se obtiene como la razón entre el número de actividades completadas y el número de actividades programadas. Un buen desempeño de este indicador se sitúa por encima de los 80% y un mal desempeño estará por debajo del 60%. Equipos con experiencia en el sistema mantienen un 85% de PAC (Howell, 2002).

Es necesario igualmente determinar las causas para el no cumplimiento de las actividades programadas. Esta acción proveerá información necesaria para el mejoramiento del PAC que traerá como resultado que el proyecto sea completado más eficientemente.

El PAC mide principalmente el grado de compromiso del primer supervisor de la planificación. El análisis del no cumplimiento de la planificación puede conducir a encontrar las causas de origen de la no conformidad. La medición del rendimiento en el nivel del último planificador no significa que solo hagamos cambios en ese nivel. Las causas de un plan fallido pueden ser encontradas en cualquier nivel de organización, proceso o función.

El análisis del PAC puede ser un foco poderoso para iniciativas que tiendan a acortar brechas entre un buen y un mal programa. El análisis de causas de no cumplimiento de planificaciones semanales, es la base para la mejora continua.

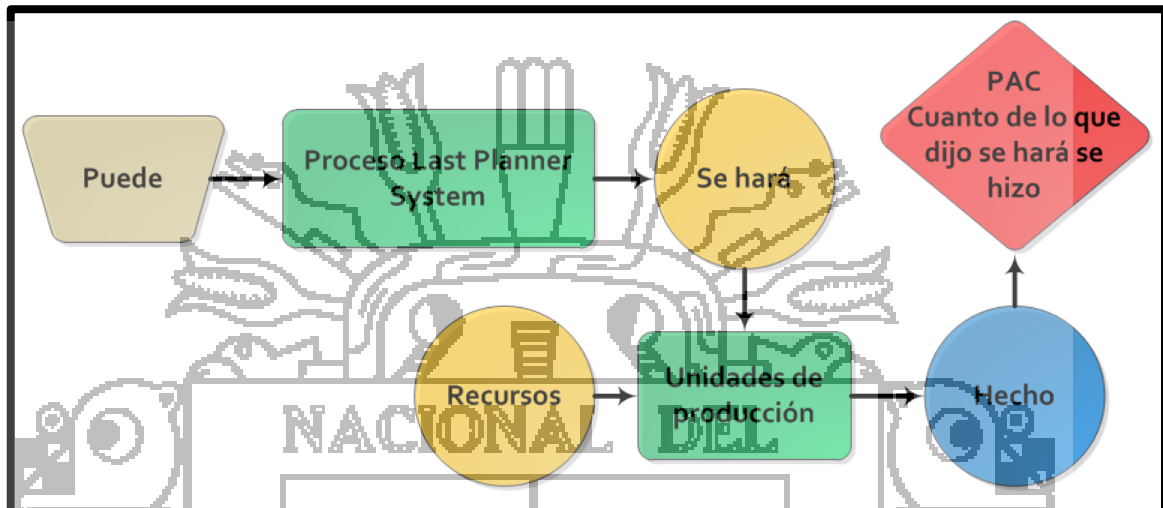


Figura N° 9: Medición del desempeño del proceso de planificación mediante el PAC.

Fuente: Ballard, 2000.

Podemos calcular el PAC aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{PAC} = \frac{\text{Numero de Actividades Ejecutadas}}{\text{Numero de Actividades Programadas}} \%$$

2.3 DEFINICIONES BÁSICAS

Valor: Consiste en cambiar la forma o función del material para satisfacer los requisitos de cliente. Es también hacer aquello por lo que el cliente va a pagar.

El punto de partida del pensamiento *LEAN* es el VALOR.

Desperdicio: Es todo “aquello que no sea la mínima cantidad de equipo, materiales, piezas, espacio, y tiempo de los trabajadores y que sea absolutamente esencial para añadir valor al producto”.

Proceso: Son modificaciones adicionales a materiales/partes o informaciones para remover atributos innecesarios.

Flujo: Consiste en diseñar, planificar y ejecutar exactamente aquello que el cliente/usuario quiere, en el momento que lo quiere y en el lugar que lo quiere.

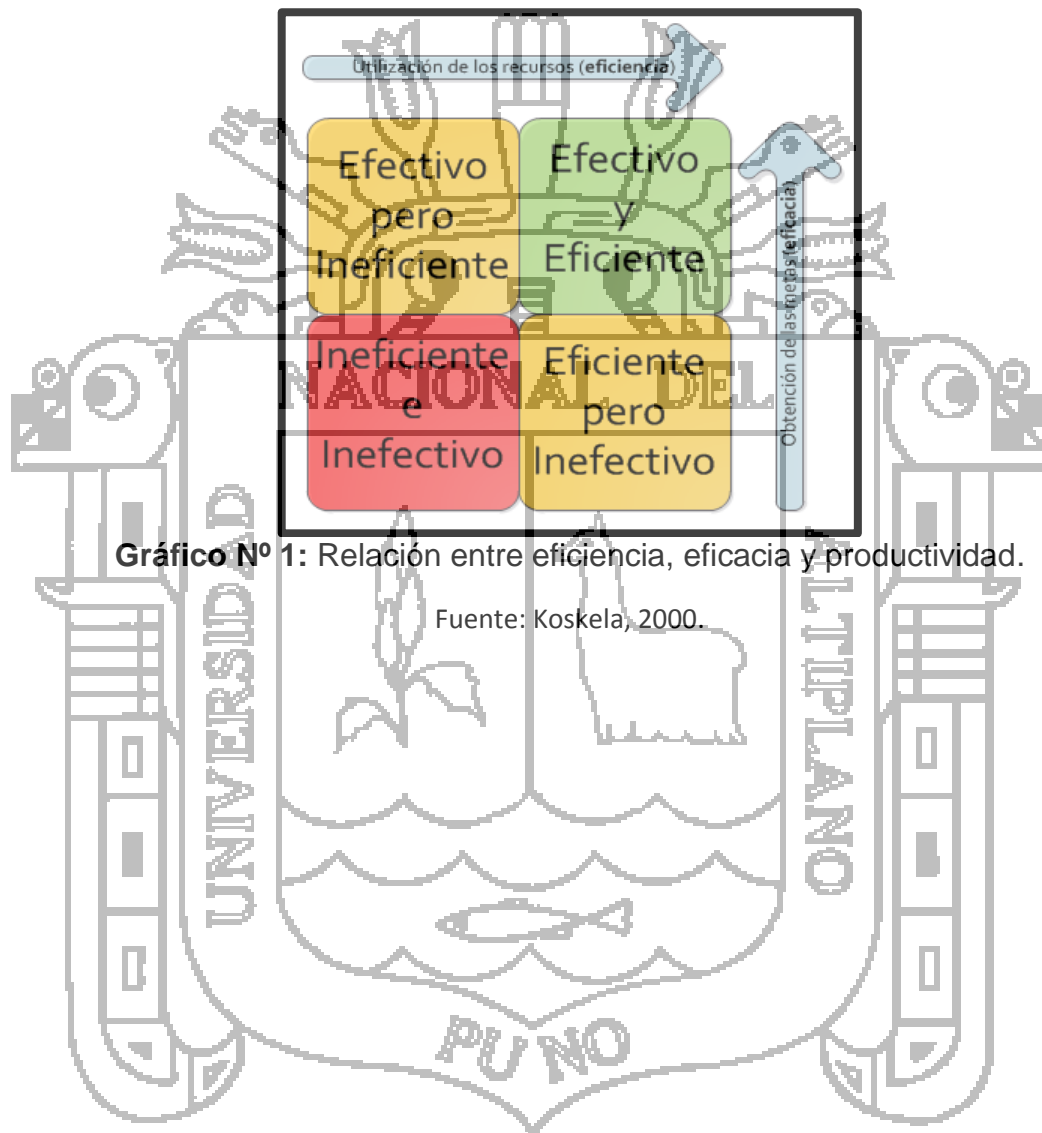
Productividad: La productividad es uno de los principales parámetros de todas las empresas. De una manera más amplia, podemos definir la productividad en la construcción como “*la medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un proyecto específico, dentro de un plazo establecido y un estándar de calidad dado*”.

El logro de la productividad involucra entonces la eficiencia y la eficacia, ya que no tiene sentido producir una cantidad de obra si esta presenta problemas de calidad.

El objetivo de cualquier sistema productivo es lograr una alta productividad, lo que se consigue mediante la obtención de la alta eficiencia y eficacia, como se muestra en el **Gráfico Nº. 1**.

Eficiencia: Es la capacidad de hacer correctamente las cosas. Es lograr los resultados (productos o servicios) minimizando el uso de los recursos (entradas) con lo cual se logra bajar los costos operativos.

Eficacia o efectividad: Es la capacidad de escoger los objetivos apropiados, por ejemplo elegir el producto que el cliente desea y saber cómo lo desea. La eficacia es la clave de éxito de una empresa/organización. Por tanto antes de centrarnos en la eficiencia, debemos estar seguros de que es lo que hay que hacer.



2.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1 Hipótesis general

El *Last Planner System* optimiza los procesos de montaje electromecánico de una planta eléctrica de potencia.

2.4.2 Hipótesis específica

El análisis de los componentes estructurales del Sistema del Último Planificador (*Last Planner System*) garantizará una mejora en la planificación y programación de actividades en los procesos electromecánicos de la planta eléctrica de potencia.

El desarrollo de formatos facilita la programación *4 Week Lookahead Schedule*.

La aplicación de *Last Planner System* (Sistema del Último Planificador) garantizará el cumplimiento de la fecha fin del proyecto.

2.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tipos de variables	Dimensionalidad	Indicadores	Índices
Variable independiente	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de planeamiento aplicando Last Planner System de Lean Construction. 	<ul style="list-style-type: none"> - Gestión de proyectos - Control de proyectos 	<ul style="list-style-type: none"> - Curva S - <u>Valor ganado</u> % Presupuestado
Variable dependiente	<ul style="list-style-type: none"> - Procesos de montaje electromecánicos de una planta eléctrica de potencia 	<ul style="list-style-type: none"> - Cronograma del proyecto 	<ul style="list-style-type: none"> - Avance acumulado - Avance anterior + avance actual - <u>Ejecutado</u> % Programado - <u>HH pendiente</u> % <u>HH presupuesto</u>

Cuadro N° 3: Variables del proyecto.

Fuente: Elaboración Propia.



3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Según el problema propuesto y los objetivos planteados, se usa el método *Hipotético-deductivo*: ya que se planteara una hipótesis que se puede analizar deductivamente para posteriormente comprobar experimentalmente, es decir, se busca que la parte teórica no pierda su sentido.

Según el problema propuesto y los objetivos planteados se usara el *tipo*:

Según el Objeto de estudio: Investigación Aplicada.

Según la Extensión del Estudio: Investigación Experimental.

Según el Nivel de Medición: Investigación Cuantitativa.

El diseño de la investigación es de tipo Longitudinal ya que la investigación se hace en un tiempo prolongado viendo la evolución del evento bajo estudio.

3.2 POBLACION Y MUESTRA DE LA INVESTIGACION

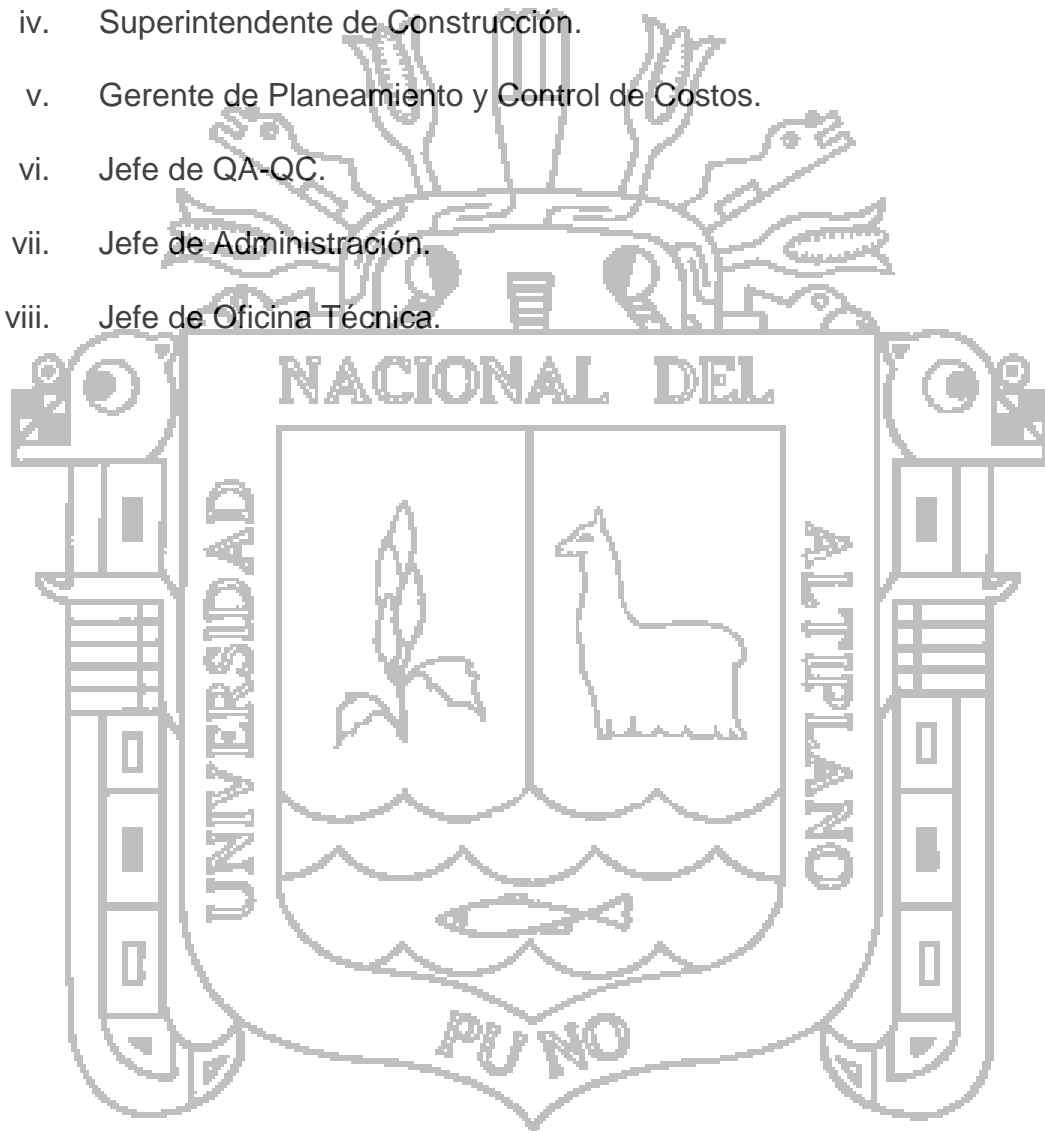
3.2.1 La empresa constructora

Descripción de la empresa constructora

La empresa ganadora en el proceso de licitación del Cliente fue Cobra Perú S.A., Cobra Perú S.A. es una empresa Transnacional Española perteneciente al Grupo ACS, desarrolla su actividad en el sector de construcción y puesta en marcha de subestaciones eléctricas, líneas de transmisión eléctricas, parques de energía eólica, parques de energía fotovoltaica, servicios y mantenimiento. Cobra Perú S.A. está integrada por profesionales nacionales e internacionales con estudios y experiencias en el tema de montaje electromecánico e instrumentación de estaciones eléctricas de potencia, líneas de alta tensión, construcción de centrales hidroeléctricas y otros.

3.2.2 Estructura organizativa de la empresa constructora

- i. Gerente de Proyecto.
- ii. Sub Gerente de Proyecto.
- iii. Gerente de Seguridad.
- iv. Superintendente de Construcción.
- v. Gerente de Planeamiento y Control de Costos.
- vi. Jefe de QA-QC.
- vii. Jefe de Administración.
- viii. Jefe de Oficina Técnica.



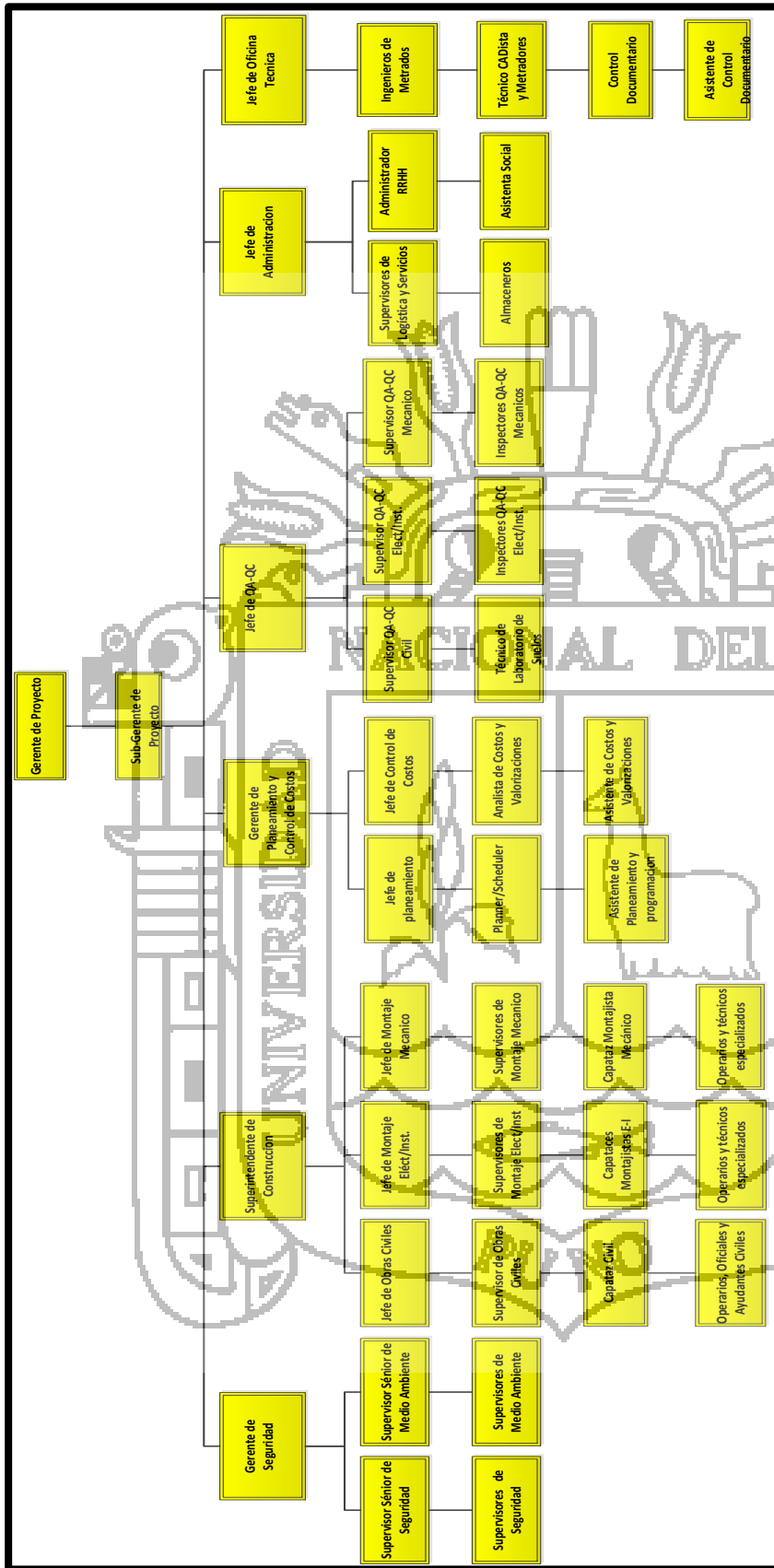


Figura Nº 10: Organigrama de la empresa constructora de la estación eléctrica de potencia.

Fuente: Organigrama Cobra Perú S.A. - Elaboración Propia.

3.3 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACION

3.3.1 Localización del proyecto

La construcción de la estación eléctrica de potencia tiene lugar en el departamento de Junín, provincia de Yauli, distrito de Morococha en la localidad denominada Tunshuruco; a 5 horas vía terrestre al Este de Lima, **Figura N°: 11**.

A la zona del proyecto se tiene disponibilidad de carretera asfaltada hasta la posición de entrada principal a la Mina y vía férrea hasta las proximidades de la zona del proyecto. La estación eléctrica será construida en el nivel 4 600 msnm dentro del área de la planta y contará con las facilidades de acceso principalmente para los transformadores de potencia, equipos con mayor dimensión a instalarse.



Figura N° 11: Ubicación Geográfica del Proyecto.

Fuente: www.chinalco.com.pe – 15 mayo 2012.

La Subestación de 220/23 kV que alimentará a la línea de distribución 23 kV es una nueva subestación que se conectará al Sistema Interconectado Nacional en la Subestación Pomacocha con una línea de doble circuito 220 kV. Esta nueva subestación forma parte del complejo del cliente.

La Subestación tendrá un Patio 220 kV, tres Transformadores de Potencia 220/23 kV y una Sala 23 kV. En el Patio 220 kV se instalarán los equipos al exterior en un esquema de maniobra de simple barra.

Los Transformadores 220/23 kV serán de 70/100/110 MVA con un sistema de refrigeración natural y forzada en dos etapas ONAN/ONAF1/ONAF2. Estos equipos serán instalados al exterior al lado del Patio 220 kV. Los transformadores serán conectados a la Sala 23 kV mediante cables de energía 25 kV (cuatro cables en paralelo por fase) instalados sobre bandejas.

La Sala 23 kV servirá para instalar las celdas en SF₆, denominadas tipo GIS. Todos los circuitos tendrán un relé digital multifunción y un interruptor para maniobra y protección.

3.3.2 Condiciones de servicio eléctrico

- i. Tensión nominal: **220 kV.**
- ii. Tensión máxima de operación: **245 kV.**
- iii. BIL externo (para 4600 msnm): **1300 kV.**
- iv. Tensión de ensayo a frecuencia industrial (para 4600 msnm):
570kV r.m.s.
- v. Frecuencia nominal: **60 Hz.**
- vi. Corriente de cortocircuito térmica normalizada 1 s: **31,5 Ka r.m.s.**
- vii. Corriente de cierre en cortocircuito: **78 kAp**

3.3.3 Equipamiento Principal

3.3.3.1 Equipamiento 220 kV

a) Coordinación de Aislamiento y Selección de Pararrayos

Para la determinación de los niveles de aislamiento en las subestaciones se tomó en consideración las recomendaciones de la Norma IEC 60071 Insulation Coordination, la altitud sobre el nivel del mar de las instalaciones, nivel de protección de los pararrayos, grado de puesta a tierra del sistema eléctrico, nivel cerámico de la zona y el nivel de aislamiento de los equipos a instalarse.

b) Interruptores

Corriente nominal: 2000 A.

Nivel de Aislamiento BIL interno: 1050 kV.

Nivel de Aislamiento BIL externo: 1300 kV (nominal).

Capacidad de Ruptura: 40 kA rms.

Tipo: Tanque muerto.

Operación: Uni-tripolar para Líneas y Tripolar para Transformadores.

Medio de aislamiento: SF₆.

Los Interruptores incluyen Transformadores de corriente en los bushings

Relación de transformación: 600-1200/ 5 A cada uno.

Núcleo de medición (1): Clase 0,2

Núcleos de protección (3): Clase 5P20

c) Seccionadores

Corriente nominal: 2000 A.

Nivel de Aislamiento BIL: 1300 kV.

Capacidad de Térmica de Cortocircuito: 31,5 kA rms.

Tipo: Apertura Vertical.

Operación: Tripolar con Motor.

d) Transformadores de tensión

Tensión máxima de servicio: 245 kV

Nivel de Aislamiento BIL externo: 1300 kV (nominal)

Tensión nominal primaria: $220/\sqrt{3}$ kV

Relación de transformación: 2000.

Tensión nominal secundaria: $110/\sqrt{3}$ V.

e) Pararrayos

Tipo: Óxido de zinc.

Nivel de Aislamiento BIL externo: 1300 kV.

Clase de descarga de línea: 4.

Corriente nominal de descarga: 20 kA.

3.3.3.2 Transformadores de Potencia

Los transformadores de potencia $220 \pm 16 \times 0,625 \% / 23$ kV, serán trifásicos de 75/100/110 MVA, ONAN/ONAF1/ONAF2, conexión delta-estrella, con regulación de tensión bajo carga. Las conexiones desde los bushings 23 kV

hasta las celdas respectivas serán con cables 23 KV. Los neutros de los transformadores se conectarán a tierra mediante resistencias de puesta a tierra.

Se construirán paredes corta fuego y se dispondrá de una poza de almacenamiento para recibir el aceite en caso de incendio en el transformador.

3.3.3.3 Sala Eléctrica

La sala de control principal contendrá las celdas de 23 kV. Asimismo, alojará todos los tableros de control, protección y de servicios auxiliares para toda la instalación.

3.3.3.4 Sistema de Control y Protección

El sistema de control y protección de la Subestación consistirá de Tableros de Control y Protección de Bahía compuesto por controlador de bahía, relés de protección principal y secundaria así como medidor de energía. Estos equipos además de permitir el control local de las bahías a través de los Tableros de Control y Protección, van a permitir crear una red de datos.

Esta red debe ser única, e integrará los dispositivos relacionados con los niveles de 220 kV, los Transformadores y los Servicios Auxiliares, incluyendo el Generador de Emergencia, para su control y supervisión.

La arquitectura lógica del sistema de control estará conformada por tres niveles jerárquicos de control y las comunicaciones asociadas entre estos niveles:

3.3.3.5 Sistema de medición

En cada circuito 220 kV se considerará el uso de Medidores de Energía del tipo digital, multifunción, de clase 0,2, adecuados para registro bidireccional y de múltiple tarifa. Serán totalmente programables tanto para la configuración,

manejo de variables, lectura, almacenaje y extracción de los datos relativos al consumo. Los medidores deberán contabilizar la Energía activa, Energía reactiva, Máxima demanda, así como parámetros para controlar la calidad de la energía, incluyendo transitorios como flicker y caídas bruscas de tensión que permita el registro de perfiles de carga y análisis de armónicos.

3.3.3.6 Servicios Auxiliares

a) Sistema de corriente alterna 400/231 Vca

Será implementado un sistema en corriente alterna conformado por un Tablero Principal de Distribución (700-DP-001), el cual será alimentado desde dos (02) transformadores auxiliares (700-TF-005 y 700-TF-006) y desde un (01) grupo de emergencia (700-EG-007)) conformando 3 barras. En este tablero se tendrá tres barras que serán acopladas entre ellas mediante interruptores.

b) Sistema de corriente continua 125 Vcc

Será implementado un sistema en corriente continua conformado por dos (02) sistemas de baterías cada una de ellas con dos (02) cargadores que alimentarán a los tableros de corriente continua 700-DQ-101 y 700-DQ-102 respectivamente.

3.3.3.7 Sistema de puesta a tierra

Se instalará una malla de tierra profunda con conductor de cobre desnudo con el cual se prevé llegar a las tensiones de toque y paso admisibles en la instalación. La resistencia de puesta a tierra de la malla profunda será del orden de 1 Ohmio. El diseño de la malla ha sido efectuado de acuerdo al estándar

IEEE 80-2000 "Guide for safety in AC Substation Grounding". El sistema de tierra profunda será efectuada con cable 4/0 AWG del tipo temple blando.

Desde la malla profunda se instalará las salidas correspondientes hacia los equipos y las superficies metálicas de la instalación, bandejas de cables de baja tensión y de media tensión, cerco perimétrico etc., a estas conexiones la llamaremos malla superficial. La malla superficial será efectuada mediante cable de sección 2/0 AWG de temple blando.

En la malla de tierra se ha previsto la instalación de electrodos con varillas de 3 metros y un diámetro de 19 mm. Estos electrodos deberán contar con registros para inspección y mediciones; asimismo, se debe considerar que pueden servir para extensiones de la malla a instalaciones vecinas.

3.3.3.8 Protección Contra Descargas Atmosféricas

La protección contra descargas atmosféricas será efectuada con cables de acero galvanizado anclados en los topes de los pórticos del patio 220 kV.

3.3.3.9 Sistema de Iluminación y tomacorrientes

Se tendrá un sistema de iluminación exterior normal y de emergencia, tomacorrientes exteriores monofásicos y trifásicos. El sistema de iluminación será alimentado desde los tableros de iluminación correspondientes.

a) El nivel de iluminación será el necesario para trabajos:

Nivel para trabajos en el patio: 50 Lux

b) Nivel para desplazamiento del personal:

Iluminación de emergencia en patio: 11 Lux.

c) Nivel de Iluminación dentro de la Sala eléctrica: 500 lux.

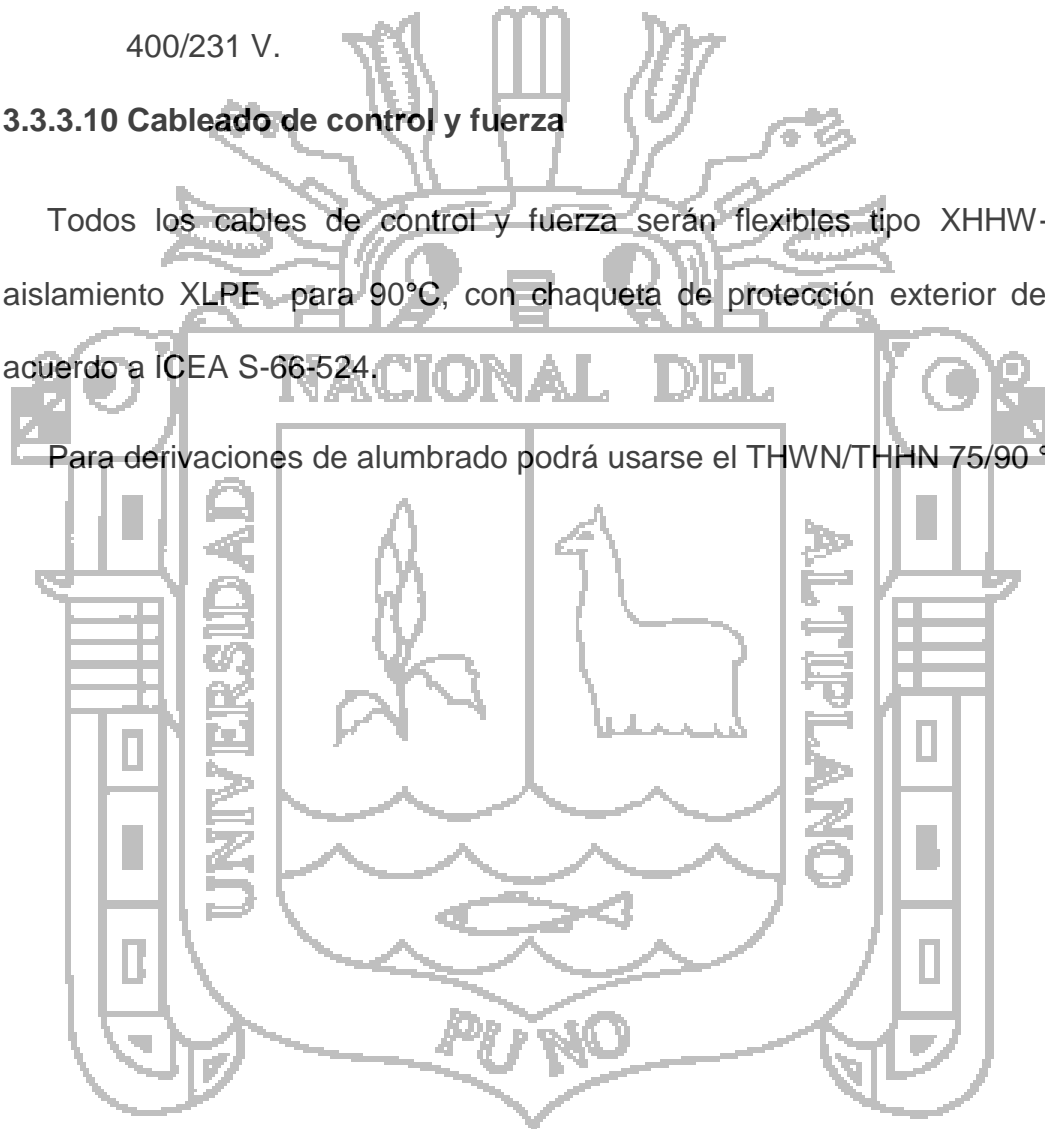
d) Se tendrá un sistema de iluminación interior normal y de emergencia en corriente alterna.

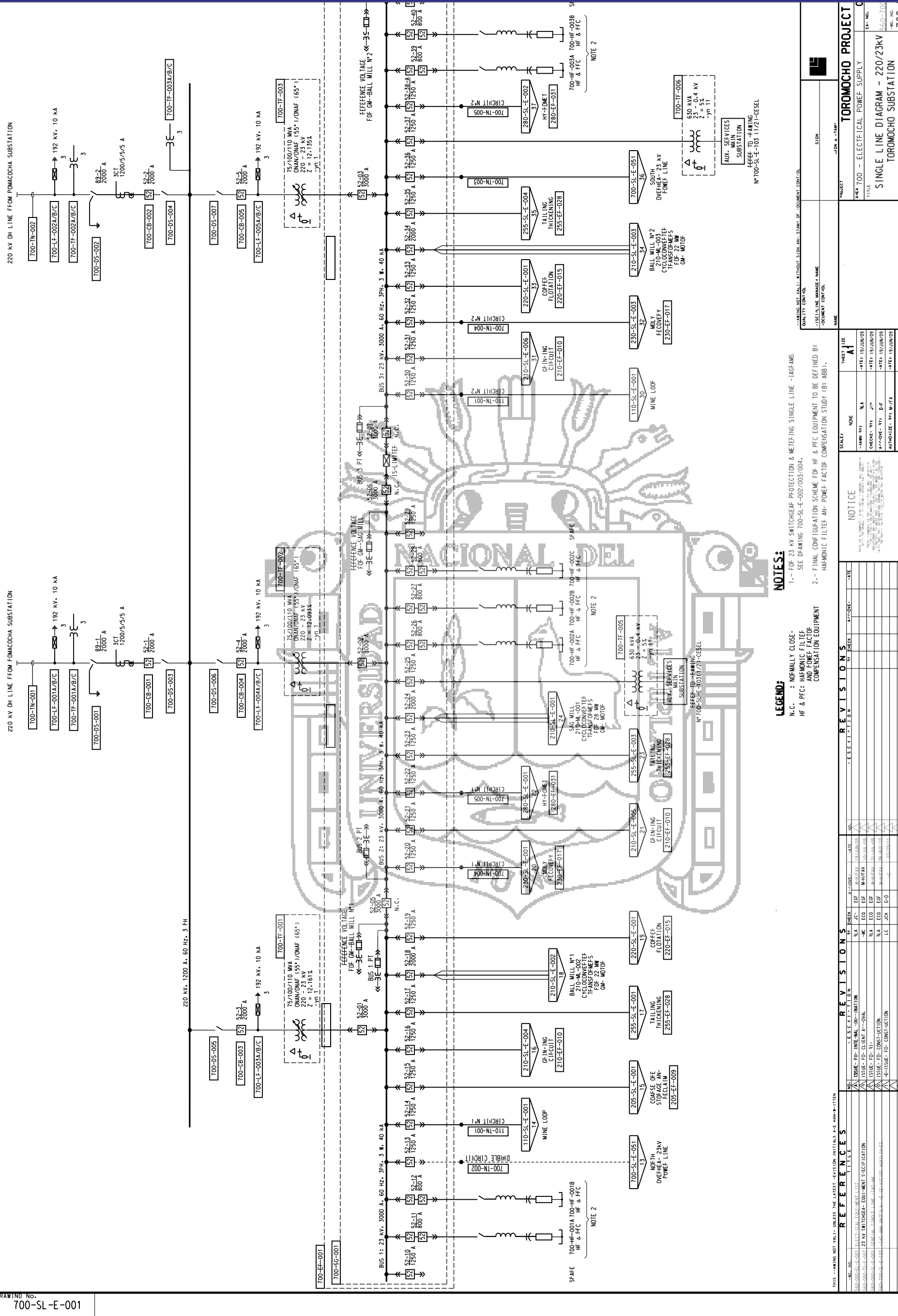
e) Tomacorrientes para intemperie exteriores monofásicos y trifásicos para 400/231 V.

3.3.3.10 Cableado de control y fuerza

Todos los cables de control y fuerza serán flexibles tipo XHHW-2 con aislamiento XLPE para 90°C, con chaqueta de protección exterior de PVC, acuerdo a ICEA S-66-524.

Para derivaciones de alumbrado podrá usarse el THWN/THHN 75/90 °C.





NOTES:
 1.- FDF 23 KV SWITCHGEAR PROTECTION & METEERING SINGLE LINE - IAGRAMS SEE DRAWING 700-SL-E-002/003/004.
 2.- FINAL CONFIGURATION SCHEME FOR HF & PFC EQUIPMENT TO BE DEFINED BY HARMONIC FILTER ANI-POWER FACTOR COMPENSATION STUDY (BY ABB).

LEGEND:
 N.C. : NORMALLY CLOSE - HF & PFC HARMONIC FILTER AND POWER FACTOR COMPENSATION EQUIPMENT

REFERENCES
 THIS DRAWING NOT VALID - UNLESS THE LATEST REVISION INITIALS ARE HANDWRITTEN

REFERENCES					REVISIONS				
NO.	ISSUE	DATE	BY	CHKD.	NO.	DATE	BY	CHKD.	
1	ISSUE FOR INTERMEDIATE LIMITATION	19/JUN/09	SLA	JPC	1	19/JUN/09	SLA	JPC	
2	ISSUE FOR 23 KV SWITCHGEAR PROTECTION	19/JUN/09	SLA	WJP	2	19/JUN/09	SLA	WJP	
3	ISSUE FOR EQUIPMENT SPECIFICATION	19/JUN/09	SLA	WJP	3	19/JUN/09	SLA	WJP	
4	ISSUE FOR CONSTRUCTION	19/JUN/09	SLA	WJP	4	19/JUN/09	SLA	WJP	
5	ISSUE FOR CONSTRUCTION	19/JUN/09	SLA	WJP	5	19/JUN/09	SLA	WJP	
6	ISSUE FOR CONSTRUCTION	19/JUN/09	SLA	WJP	6	19/JUN/09	SLA	WJP	
7	ISSUE FOR CONSTRUCTION	19/JUN/09	SLA	WJP	7	19/JUN/09	SLA	WJP	
8	ISSUE FOR CONSTRUCTION	19/JUN/09	SLA	WJP	8	19/JUN/09	SLA	WJP	

Figura Nº 12: Diagrama unifilar – Equipos principales a ser alimentados por la estación eléctrica de potencia. Fuente: Cobra Perú S.A.

3.3.4 Alcance del proyecto

Los alcances del proyecto son:

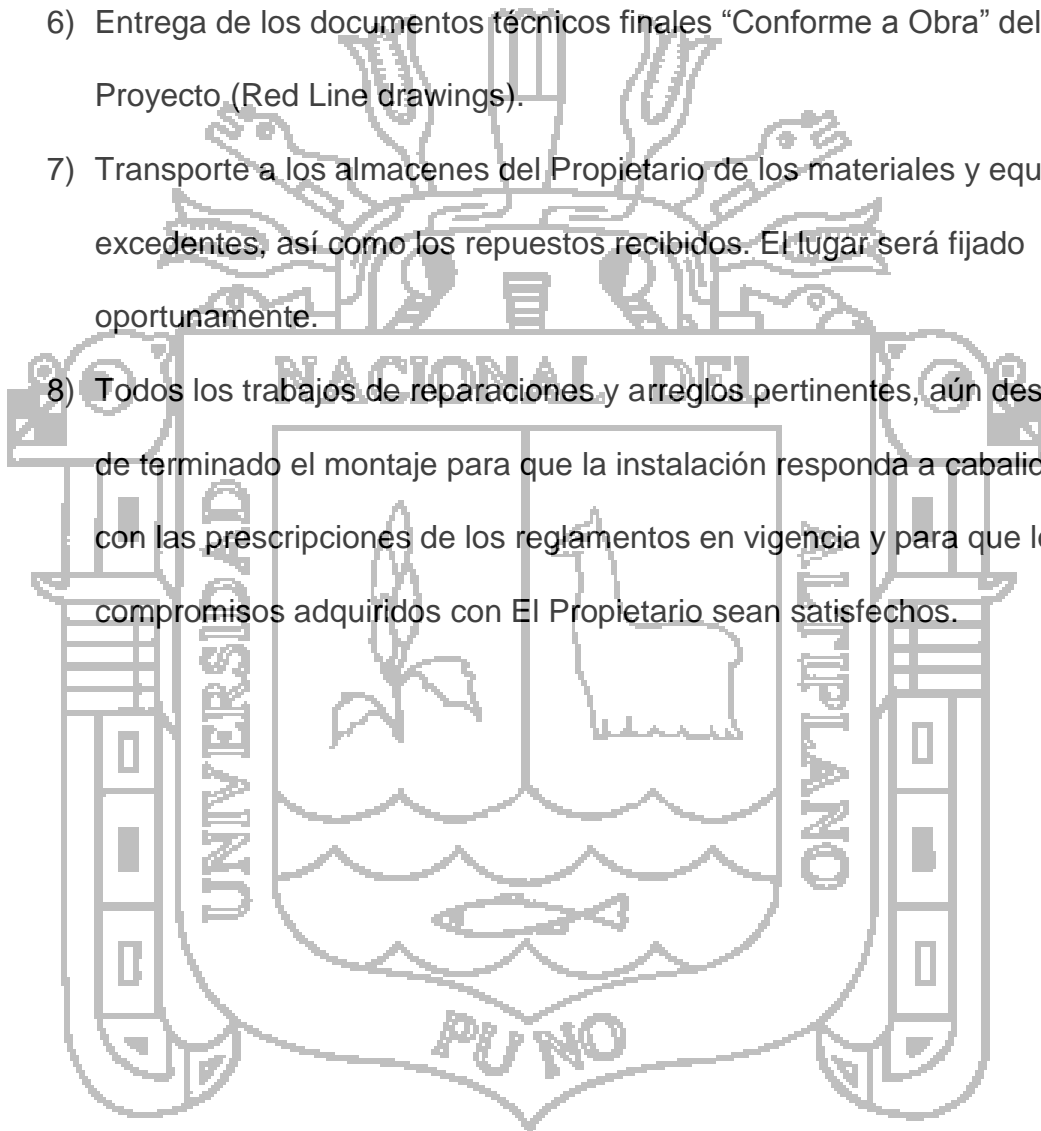
A. Obras Civiles

- 1) Obras Provisionales y Trabajos Preliminares
- 2) Caminos de Acceso
- 3) Trazo, Nivelación y Replanteo
- 4) Muro de Contención en el desnivel
- 5) Cerco perimétrico
- 6) Fundaciones de bases de equipos y pórticos
- 7) Sistema de drenaje, incluye canaletas, dren tipo francés, buzones, tuberías enterradas
- 8) entre otros.
- 9) Acabados

B. Obras electromecánicas

- 1) Recepción e inspección detallada de todo el equipo y material que será suministrado por el Propietario; debiendo comprobar en presencia del mismo o su representante, del estado y cantidad de éstos.
- 2) Traslado de los suministros del Propietario, desde sus almacenes en la zona de Morococha hasta los almacenes del Contratista en la Obra.
Todos estos equipos y materiales estarán bajo su cuidado, almacenamiento y conservación hasta su instalación, pruebas y puesta en servicio.
- 3) Suministro de los Materiales y Equipos eléctricos necesarios para completar la instalación y puesta en servicio de la estación eléctrica de potencia. Este suministro incluye el respectivo diseño.

- 4) Ejecución de las Obras Electromecánicas (montajes de equipos) así como del Cableado de Fuerza y Control a entera satisfacción del propietario.
- 5) Pruebas de los equipos e instalaciones (pre-commissioning y commissioning)
- 6) Entrega de los documentos técnicos finales “Conforme a Obra” del Proyecto. (Red Line drawings).
- 7) Transporte a los almacenes del Propietario de los materiales y equipos excedentes, así como los repuestos recibidos. El lugar será fijado oportunamente.
- 8) Todos los trabajos de reparaciones y arreglos pertinentes, aún después de terminado el montaje para que la instalación responda a cabalidad con las prescripciones de los reglamentos en vigencia y para que los compromisos adquiridos con El Propietario sean satisfechos.



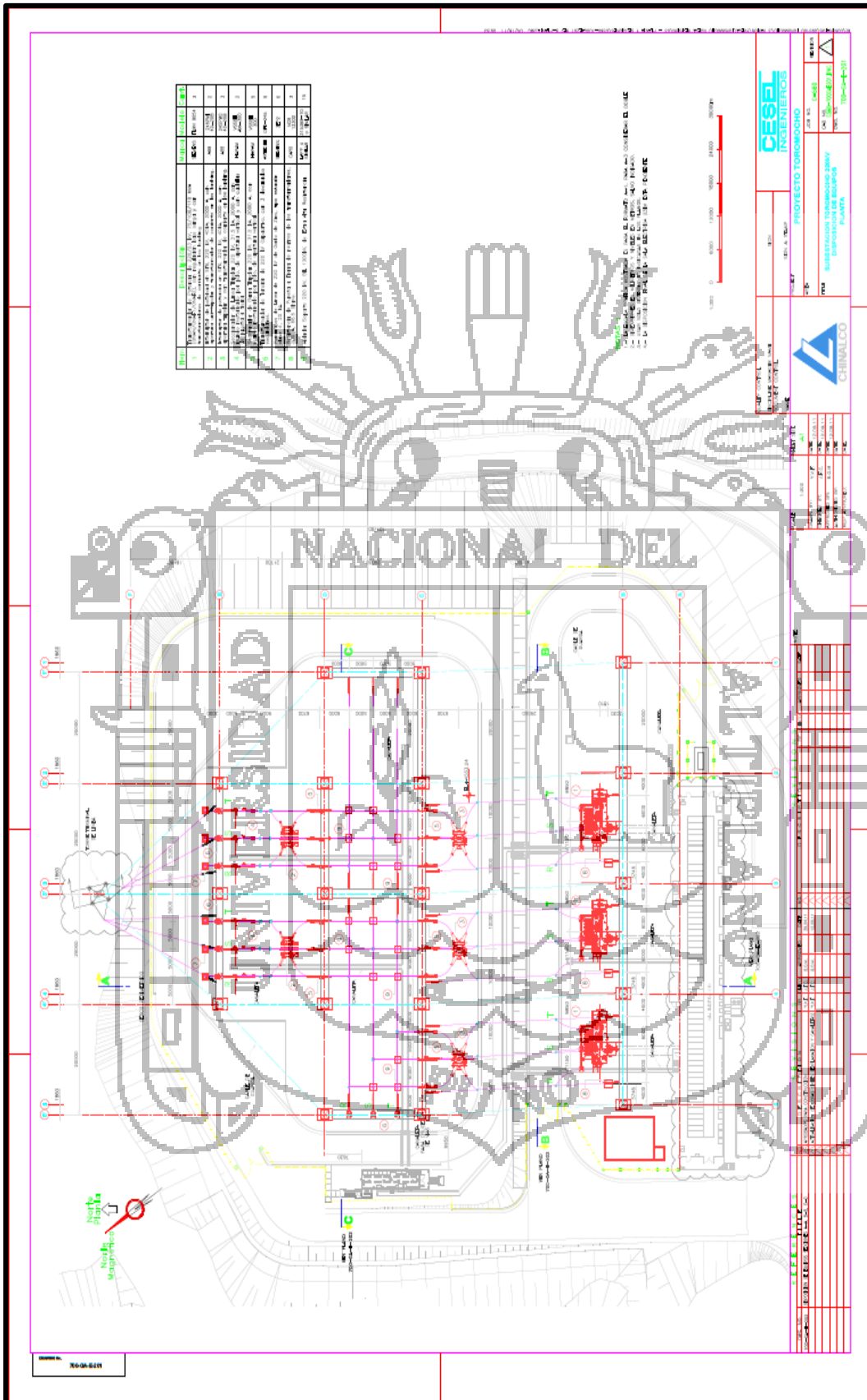


Figura N° 13: Alcance de obras electromecánicas. Vista de planta.

Fuente: Cobra Perú S.A.

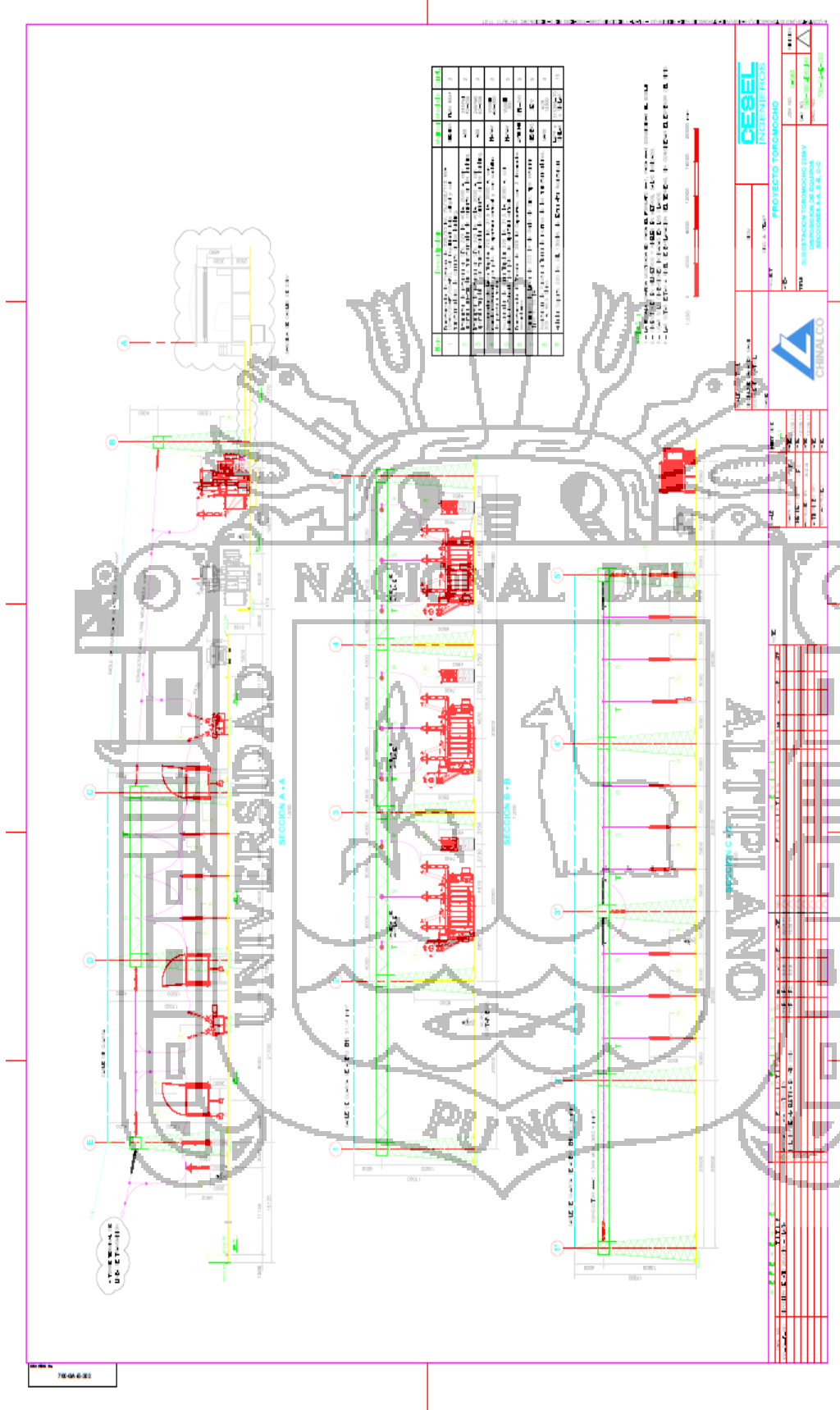


Figura N° 14: Alcance de obras electromecánicas.

Fuente: Cobra Perú S.A.

3.3.5 Hitos principales del proyecto y plazo de ejecución

El plazo de ejecución del proyecto es de 65 semanas.

A1. Start Construction.	01-Oct-2011
A2. Construction Complete.	15-Oct-2012
A3. Pre Commissioning Complete.	15-Nov-2012
A4. All Structural Steel Fabrications Completed and Delivered: High Voltage Structural Towers, High Voltage Equipment Supports.	15-Jan-2012
A5. All Grounding Mesh Installed & Backfilled.	15-Nov-2011
A6. All Concrete Foundations Complete at Switch Yard.	31-Mar-2012
A7. Main Power Transformers Set 700-TF-001/002/003.	15-Feb-2012
A8. Electrical Room 700-ER-001 Foundations Ready to Receive Steel Columns.	31-Jan-2012
A9. Electrical Room 700-ER-001 - Building Erected and Roofing and Siding Completed.	30-Apr-2012
A10. Switch Yard Completed and Ready to Commence Pre-Commissioning.	15-Oct-2012
A11. Electrical Room 700-ER-001 Completed and Ready to Commence Pre-Commissioning.	15-Sep-2012

3.4 TECNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACION

La técnica utilizada para la recolección de datos es la observación el cual consiste obtener información mediante la percepción intencionada y selectiva, ilustrada e interpretativa del problema planteado.

Los instrumentos utilizados para la recolección de información son los formatos de campo. Y el instrumento de registro utilizado es el MS Excel.

3.5 TECNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS

La técnica para el procesamiento de datos será el Procesamiento Electrónico de Datos mediante el uso de un computador, y el análisis de datos se realizara mediante el uso de la Estadística Descriptiva, ya que se analizaran variables cuantitativas para medidas de dispersión como valores máximos, valores mínimos, desviación estándar y la varianza, y variables cualitativas para medidas porcentuales.

3.6 PLAN DE TRATAMIENTO DE DATOS

Según el objetivo perseguido por la presente tesis se plantea el siguiente plan de tratamiento de datos.

OBJETIVO	INSTRUMENTO	DATOS
- Estudiar un sistema de planeamiento para procesos electromecánicos de una planta eléctrica de potencia.	- Sistema del Último Planificador	- Porcentaje de Actividades Completadas PAC.

Cuadro N° 4: Plan de tratamiento de datos.

Fuente: Elaboración Propia.

3.7 CONTRASTACION DE LA HIPOTESIS

HIPOTESIS	INSTRUMENTO	RESULTADO
<p>- El <i>Last Planner System</i> optimiza los procesos de montaje electromecánico de una planta eléctrica de potencia.</p>	<p>- Sistema del Ultimo Planificador</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Porcentaje de Actividades Completadas PAC semanales mayores e iguales al 80%. - Identificación de restricciones para la ejecución de actividades programadas. - Realización de nuevas líneas base del cronograma.

Cuadro Nº 5: Cuadro de contraste de la hipótesis

Fuente: Elaboración Propia.





4.1 IDENTIFICACION Y ANALISIS DE PROBLEMAS

4.1.1 Identificación del problema respecto a la organización

En respuesta al atraso crítico en el que se encontraba el proyecto se realizó un análisis de Ishikawa para identificar la causa principal del problema.

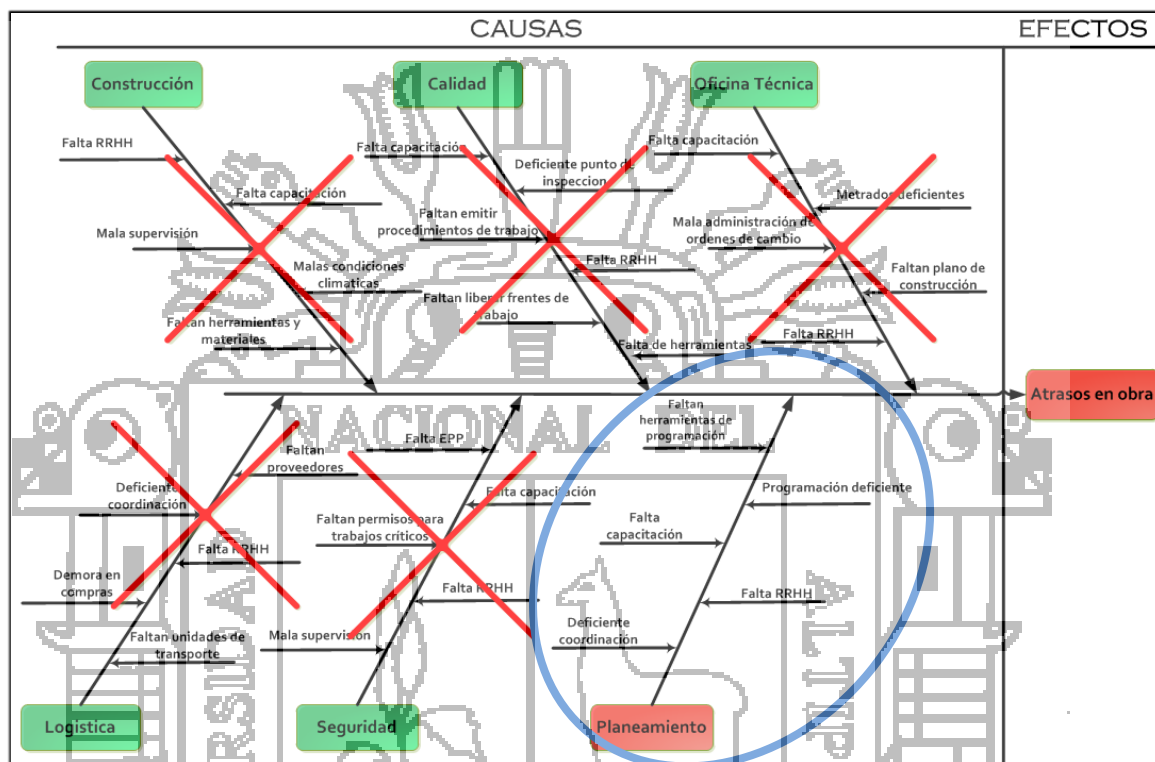


Figura Nº 15: Análisis de Ishikawa para identificar la causa-efecto del atraso.

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2 Identificación del problema respecto al cronograma

Semanas	Avance Planeado	Avance Semanal Planeado	Avance Real	Diferencia Planeado-Real	Avance Semanal Real
Semana 1	0,01%	0,01%	1,00%	-0,99%	1,00%
Semana 2	0,40%	0,39%	1,50%	-1,10%	0,50%
Semana 3	0,89%	0,48%	2,00%	-1,11%	0,50%
Semana 4	1,35%	0,46%	2,50%	-1,15%	0,50%
Semana 5	1,89%	0,54%	3,00%	-1,11%	0,50%
Semana 6	2,45%	0,56%	3,50%	-1,05%	0,50%
Semana 7	3,02%	0,57%	4,00%	-0,98%	0,50%
Semana 8	3,63%	0,61%	4,50%	-0,87%	0,50%
Semana 9	4,22%	0,59%	5,00%	-0,78%	0,50%
Semana 10	4,90%	0,68%	5,50%	-0,60%	0,50%
Semana 11	5,88%	0,97%	6,00%	-0,12%	0,50%
Semana 12	6,71%	0,84%	6,50%	0,21%	0,50%
Semana 13	7,72%	1,01%	7,00%	0,72%	0,50%
Semana 14	9,00%	1,28%	7,50%	1,50%	0,50%
Semana 15	10,33%	1,33%	8,00%	2,33%	0,50%
Semana 16	11,85%	1,52%	8,50%	3,35%	0,50%
Semana 17	13,54%	1,69%	9,00%	4,54%	0,50%
Semana 18	15,48%	1,93%	10,00%	5,48%	1,00%
Semana 19	18,11%	2,63%	11,00%	7,11%	1,00%
Semana 20	21,16%	3,05%			
Semana 21	24,32%	3,16%			
Semana 22	27,47%	3,15%			
Semana 23	30,92%	3,46%			
Semana 24	34,39%	3,46%			
Semana 25	37,99%	3,60%			
Semana 26	41,40%	3,41%			
Semana 27	44,73%	3,33%			
Semana 28	47,89%	3,17%			
Semana 29	51,10%	3,20%			
Semana 30	54,21%	3,11%			
Semana 31	57,10%	2,89%			
Semana 32	59,87%	2,77%			
Semana 33	62,45%	2,58%			
Semana 34	64,82%	2,37%			
Semana 35	66,75%	1,93%			
Semana 36	69,62%	2,87%			
Semana 37	72,46%	2,84%			
Semana 38	74,80%	2,34%			
Semana 39	76,85%	2,05%			
Semana 40	78,62%	1,77%			
Semana 41	80,18%	1,56%			
Semana 42	81,52%	1,34%			
Semana 43	83,14%	1,62%			

Semana 44	84,51%	1,37%
Semana 45	86,21%	1,70%
Semana 46	87,90%	1,70%
Semana 47	89,67%	1,77%
Semana 48	91,45%	1,78%
Semana 49	93,21%	1,76%
Semana 50	94,79%	1,58%
Semana 51	95,90%	1,11%
Semana 52	96,66%	0,76%
Semana 53	97,26%	0,60%
Semana 54	97,85%	0,59%
Semana 55	98,36%	0,51%
Semana 56	98,68%	0,32%
Semana 57	99,00%	0,32%
Semana 58	99,31%	0,31%
Semana 59	99,54%	0,23%
Semana 60	99,69%	0,15%
Semana 61	99,77%	0,07%
Semana 62	99,82%	0,05%
Semana 63	99,89%	0,07%
Semana 64	99,97%	0,07%
Semana 65	100,00%	0,03%
Total=		100.00%

Cuadro N° 6: Comparación Avance Planificado VS Avance Real a la semana 19.

Fuente: Elaboración Propia.

En el **Cuadro N° 6**, se observa el avance por semanas, 65 semanas de plazo para la ejecución del proyecto; cuando el proyecto iba a la Semana 19 se vio una desviación del avance ejecutado respecto al avance real de 7.11%; esta desviación generó bastante disconformidad al cliente y recomienda realizar planes de acción para no comprometer la fecha fin del proyecto ya que el atraso implica realizar gastos extra tanto a la empresa constructora como al cliente. También se observa que el avance semanal real es bajo respecto al avance semanal planeado.

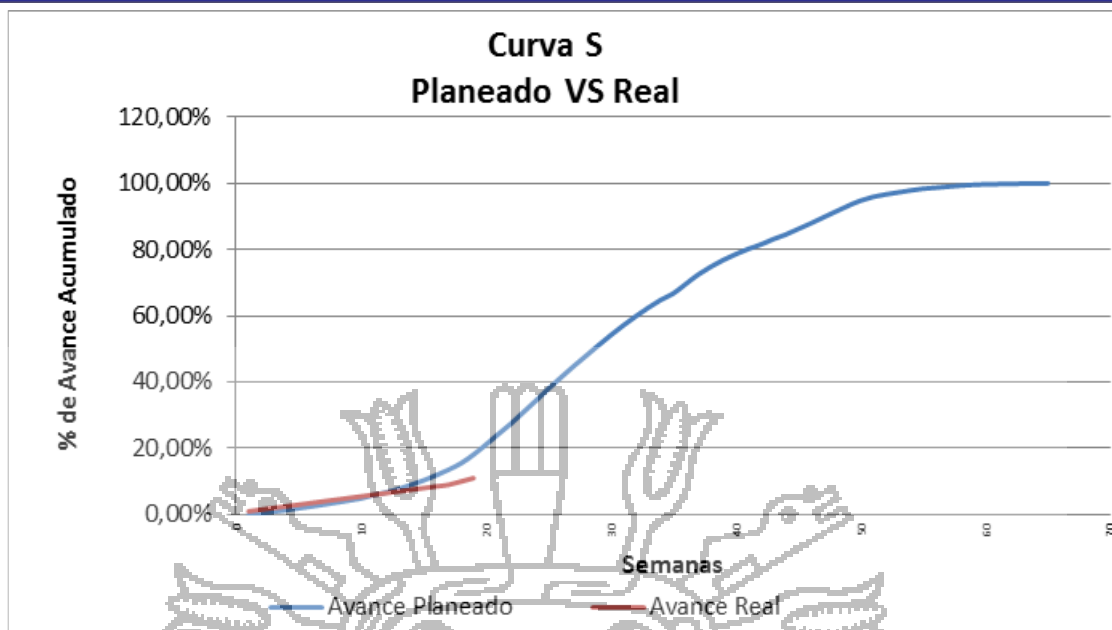


Gráfico N° 2: Curva S a la semana 19.

Fuente: Elaboración Propia.

El **Gráfico N° 2** se deduce del **Cuadro N° 5** y representa la desviación de la curva de avance real respecto a la curva de avance planeado a la semana 19.

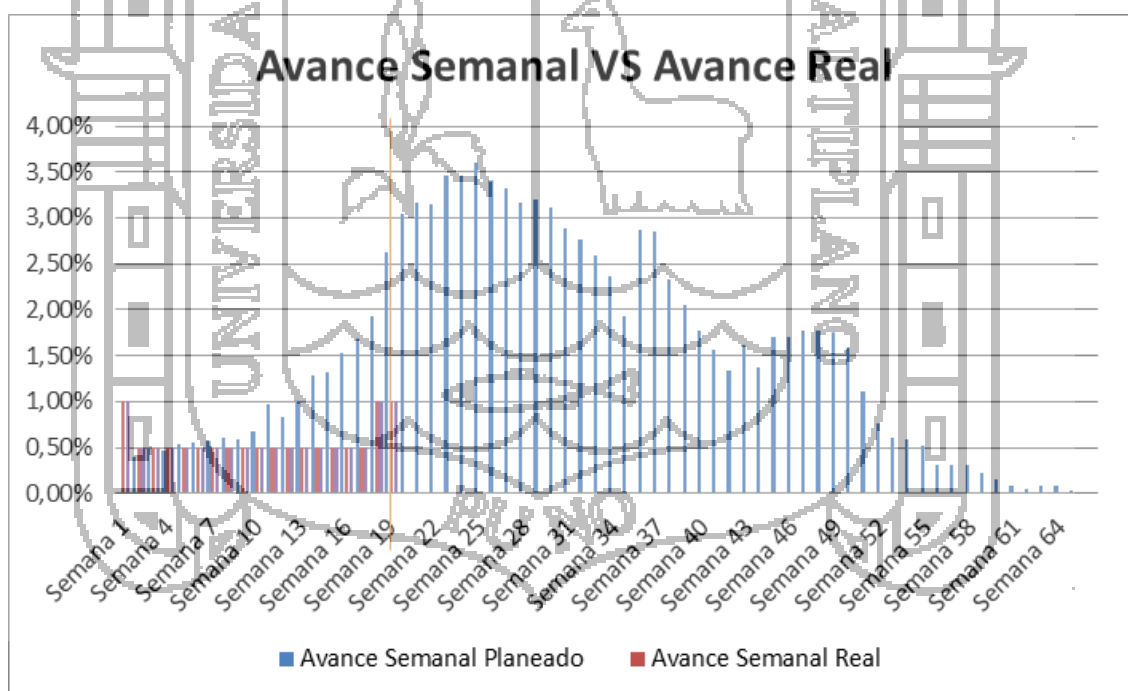


Gráfico N° 3: Comparativo avance planificado VS avance real a la semana 19.

Fuente: Elaboración Propia.

El **Grafico N° 3** se deduce del **Cuadro N° 6** y denota avances reales semanales bajos respecto a los avances semanales programados a la semana 19.

4.1.3 Identificación del problema respecto a la programación

Según el análisis de Ishikawa realizado y mostrado en la **Figura N° 15** se identifica que el área de planeamiento y programación realiza una deficiente programación de actividades, deficiente coordinación con las otras áreas, Fig. 10, de administración del proyecto y desconoce el Sistema del Ultimo Planificador.

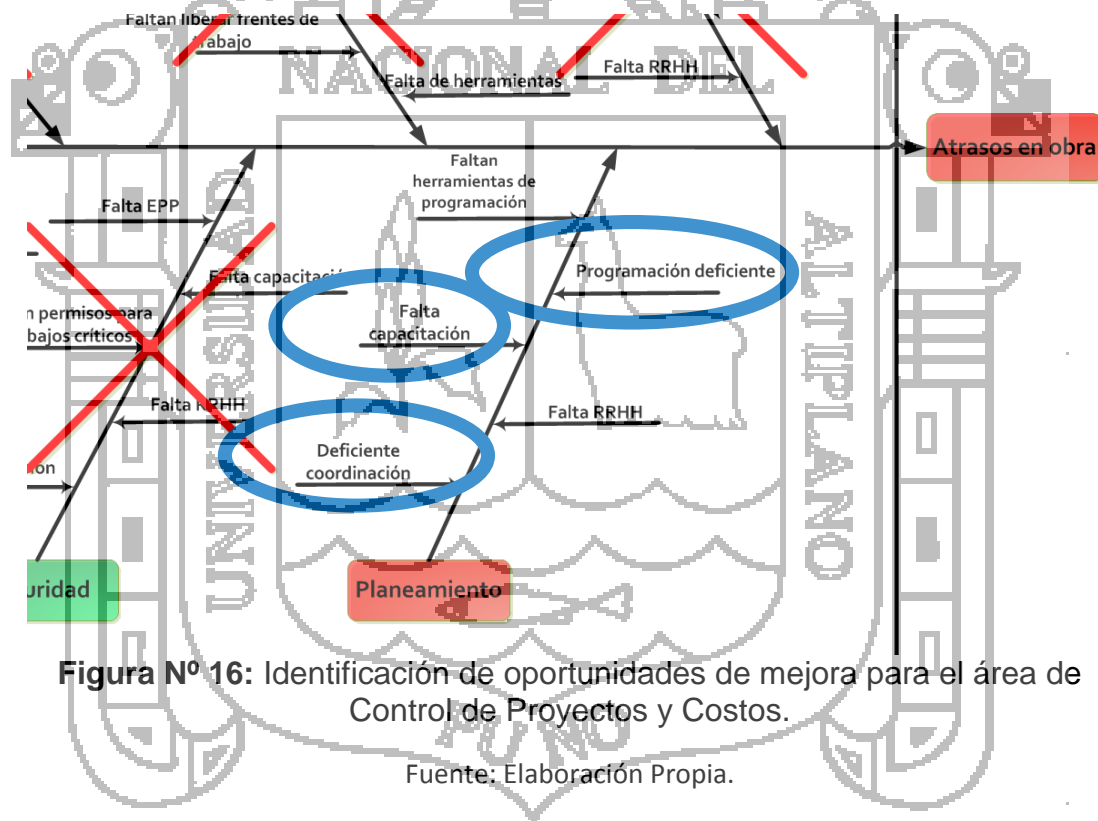


Figura N° 16: Identificación de oportunidades de mejora para el área de Control de Proyectos y Costos.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2 IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR

4.2.1 Capacitación en la Metodología del Sistema del Ultimo Planificador

La capacitación, es uno de los factores críticos en la implementación del Sistema del Ultimo Planificador, la capacitación dotará de conocimientos acerca del Sistema del Ultimo Planificador a todo el personal involucrado en la obra y así como también garantizará la correcta implementación de este sistema.

La capacitación debe dar a conocer los parámetros, beneficios, compromisos y criterios a cada uno los involucrados en el proyecto; los conceptos difundidos y las dudas absueltas serán puntos clave para el éxito de la implementación del Sistema del Ultimo Planificador.



Figura N° 17: Reunión Semanal de Planificación Semanal.

Fuente: Cobra Perú S.A., 18 de abril 2012 - Elaboración Propia.

Identificado los problemas del proyecto se decidió implementar el Sistema del Ultimo Planificador de acuerdo a la estructura revisada en el marco teórico.

4.2.2 Análisis de la estructuración del sistema del último planificador

4.2.2.1 Plan maestro

El punto de partida en una reunión de *Last Planner System* es tener el cronograma maestro (Master Schedule) actualizado para que de esta manera podamos analizar el listado de actividades que deberíamos hacer en las siguientes semanas, es decir, el plan maestro es fraccionado en niveles de detalle apropiados para la determinación del *4 lookahead Schedule*.



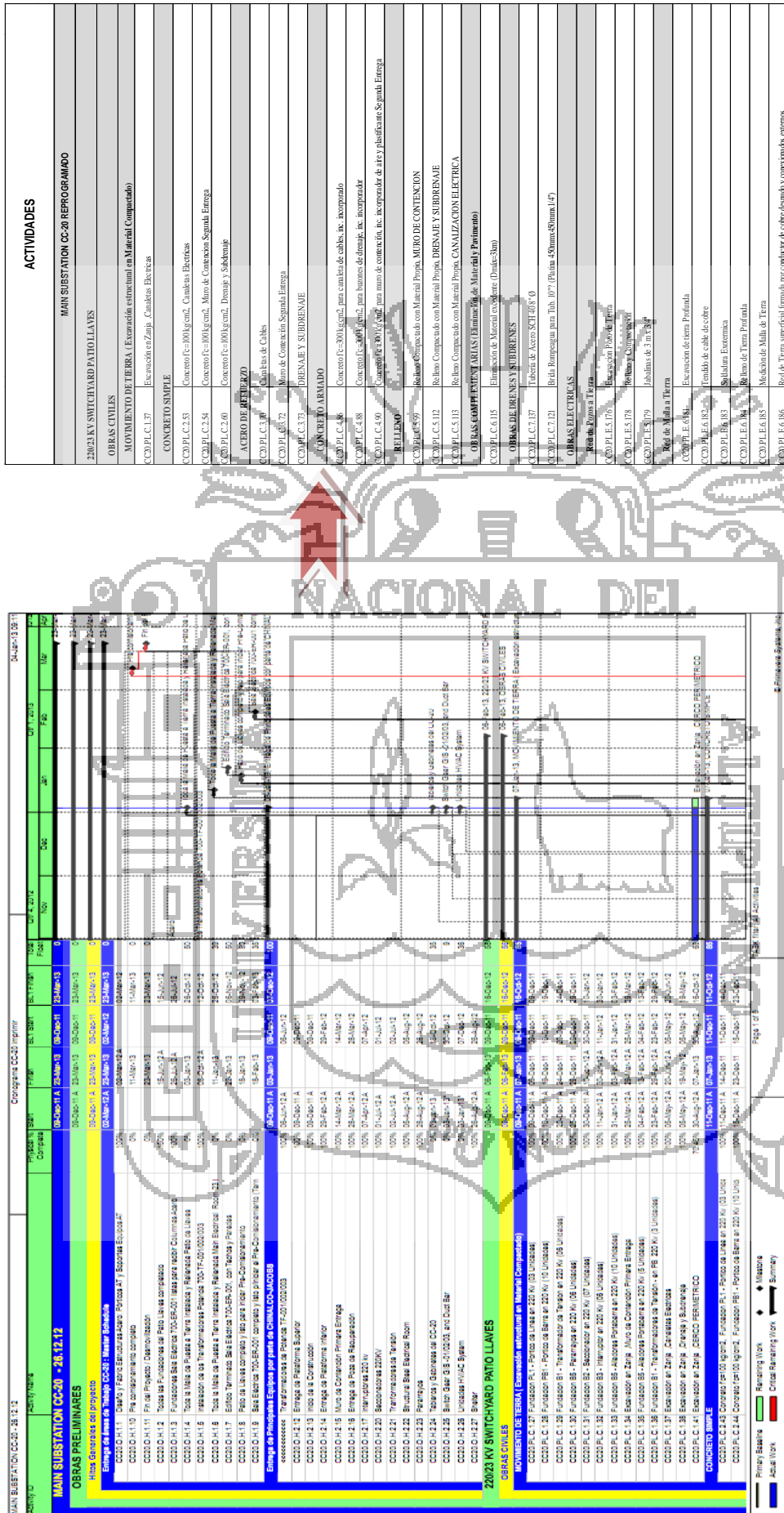


Figura N° 18: Listado de actividades de acuerdo al cronograma maestro.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.2.2 Planificación por fases

El inventario de trabajos ejecutables no solo puede contener actividades de las semanas futuras, sino que también contienen actividades pendientes a ser ejecutadas en las semanas anteriores. El inventario de actividades es clasificador por fases, esto es, fase de obras civiles, fase obras de montaje electromecánico, fase de instalaciones eléctricas de alta y baja tensión, fase de montaje de instrumentación y precomisionado.

DESCRIPCION	FASE
Obras Civiles	OC
Obras Mecánicas	OE
Obras Eléctricas de Alta Tensión	AT
Obras Eléctricas de Baja Tensión	BT
Obras de Instrumentación	OI
Precomisionado	PC

Cuadro N° 7: Fases de Proyecto.

Fuente: Elaboración Propia.

220/23 KV SWITCHYARD PATIO LLAVES	
OBRAS CIVILES	
MOVIMIENTO DE TIERRA (Excavación estructural en Material Compactado)	
CC20.P.L.C.1.137	Excavación en Zanja ,Canalías Electricas
CONCRETO SIMPLE	
CC20.P.L.C.2.60	Concreto f'c=100 kg/cm2, Drenaje y Subtenaje
ACERO DE REFUERZO	
CC20.P.L.C.3.73	DRINAJE Y SUBDRENAJE
OBRAS ELECTRICAS DE BAJA TENSION	
Red de Pozos a Tierra	
CC20.P.L.E.5.179	Tapabocas de 3 m x 3/4"
Red de Malla a Tierra	
CC20.P.L.E.6.181	Excavación de tierra Profunda
OBRAS ELECTRICAS DE ALTA TENSION	
Interruptores de potencia	
CC20.P.L.E.6.191	Montaje de interruptores de potencia
Seccionadores de potencia	
CC20.P.L.E.6.200	Montaje de seccionadores de entrada de linea
OBRAS MECANICAS	
Panticos	
CC20.P.L.E.6.500	Montaje de estructuras metálicas
OBRAS DE INSTRUMENTACION	
Instrumentos de medición y control	
CC20.P.L.E.6.300	Montaje de instrumentos de medición y control de seccionadores
OBRAS DE PRECOMISIONADO	
Pruebas	
CC20.P.L.E.6.300	Pruebas electricas - transformador de potencia

Figura N° 19: Listado de actividades por fases respecto al Cuadro N° 7.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.2.3 Planificación Intermedia (Lookahead Planning)

El tercer nivel de la planificación tiene como objetivo controlar el flujo de trabajo semanal y trisemanal. El *4 lookahead planning* tiene cuatro ventanas; al ventana 1 pertenece a las actividades ejecutadas en la semana que paso, en la ventana 2 se alistan las actividades a ejecutarse en la presente semana, en la ventana 3 se alistan las actividades que se ejecutaran en la siguiente semana y en la ventana 4 se alistan actividades que se ejecutaran en la subsiguiente semana; estas ventanas garantizaran el flujo continuo en la ejecución semanal de actividades a la ves permitirá prever los recursos necesarios para su ejecución.





CONSTRUIDOR		CONTRATO No.		PROYECTO No.		FECHA Pub.		PERIODO INICIAL		PERIODO TERMINAL		COMENTARIOS Y/O RESTRICCIONES				
Cidra Perú S.A.		R0342/C-060		4 WEEK SHORT INTERVAL SCHEDULE		26-Oct-12		1		14-Nov-12						
ACTIVIDADES	CANTIDAD	SEMANA QUE FINICA							SEMANA QUE COMIENZA							COMENTARIOS Y/O RESTRICCIONES
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	
SEMA 01: BARRAS DE ACERO																
SEMA 01: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 02: BARRAS DE ACERO																
SEMA 02: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 03: BARRAS DE ACERO																
SEMA 03: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 04: BARRAS DE ACERO																
SEMA 04: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 05: BARRAS DE ACERO																
SEMA 05: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 06: BARRAS DE ACERO																
SEMA 06: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 07: BARRAS DE ACERO																
SEMA 07: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 08: BARRAS DE ACERO																
SEMA 08: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 09: BARRAS DE ACERO																
SEMA 09: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 10: BARRAS DE ACERO																
SEMA 10: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 11: BARRAS DE ACERO																
SEMA 11: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 12: BARRAS DE ACERO																
SEMA 12: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 13: BARRAS DE ACERO																
SEMA 13: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 14: BARRAS DE ACERO																
SEMA 14: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 15: BARRAS DE ACERO																
SEMA 15: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 16: BARRAS DE ACERO																
SEMA 16: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 17: BARRAS DE ACERO																
SEMA 17: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 18: BARRAS DE ACERO																
SEMA 18: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 19: BARRAS DE ACERO																
SEMA 19: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 20: BARRAS DE ACERO																
SEMA 20: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 21: BARRAS DE ACERO																
SEMA 21: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 22: BARRAS DE ACERO																
SEMA 22: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 23: BARRAS DE ACERO																
SEMA 23: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 24: BARRAS DE ACERO																
SEMA 24: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 25: BARRAS DE ACERO																
SEMA 25: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 26: BARRAS DE ACERO																
SEMA 26: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 27: BARRAS DE ACERO																
SEMA 27: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 28: BARRAS DE ACERO																
SEMA 28: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 29: BARRAS DE ACERO																
SEMA 29: BARRAS DE ACERO	1000															
SEMA 30: BARRAS DE ACERO																
SEMA 30: BARRAS DE ACERO	1000															

Figura Nº 20: Modelo 4 Lookhead Planning.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.2.4 Análisis de restricciones

Las principales restricciones identificadas durante el desarrollo del proyecto fueron: condición climática, planos emitidos para construcción, los materiales para construcción, equipos, herramientas especiales y el recurso humano idóneo. En el **Cuadro N° 8** la columna “Ejecutable?” será “SI” si todos los restricciones son marcados con “check” y pasaran al listado de la programación semanal previo balanceo de recursos humanos, herramientas y materiales.

ACTIVIDADES	RESTRICCIONES							
	Condición Climática	Planos Para Construcción	Material (Procura)	Equipo	Herramientas Especiales	Pre-Requisito	Recurso Humano	Ejecutable?
Obras Civiles								
Trazo Topografico	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SI
Explotación	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SI
Concreto H10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SI
Colocación de Acero	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
Encofrado	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SI
Concreto H30	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SI
Relleno	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SI
Obras Electromecánicas								
Montaje Estructuras Mecánicas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NO
Montaje de Soportes de Equipos	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
Obras Electricas de Alta Tension								
Montaje de Pararrayos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SI
Montaje de Interruptores de Potencia	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SI
Montaje de Seccionadores de Potencia	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SI
Montaje de Transformadores 220KV/23KV	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NO
Obras Electricas de Baja Tension								
Malla a Tierra Profunda	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SI
Malla a Tierra Superficial	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	SI
Obras de Instrumentación								
Instalación de Equipos de Medición y Control	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NO
Instalación de Fibra Optica	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NO

Cuadro N° 8: Análisis de restricciones a las actividades listadas por fase.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.2.5 Plan de trabajo semanal (weekly work plan)

El Plan de trabajo semanal (*Weekly Work Plan*) es el último nivel dentro de la jerarquía del *Last Planner System*, siendo este el de mayor nivel de detalle previo a la ejecución de una actividad y que tiene como objetivo controlar las unidades de producción. Lo que se busca con esto es lograr progresivamente asignaciones de “mayor calidad” en base a un análisis previo de restricciones de la lista de actividades que se deben ejecutar.

Esta acción de “asignaciones de calidad” garantiza una protección al flujo de trabajo de las incertidumbres, aportando así un flujo confiable de trabajo para las unidades de producción así como a la obtención de altos valores del porcentaje de actividades completas PAC. No obstante, en el plan semanal de trabajo se incluyen columnas para registrar las causas de no cumplimiento de trabajos con el objetivo de servir como retroalimentación y mejora continua al equipo planificador.

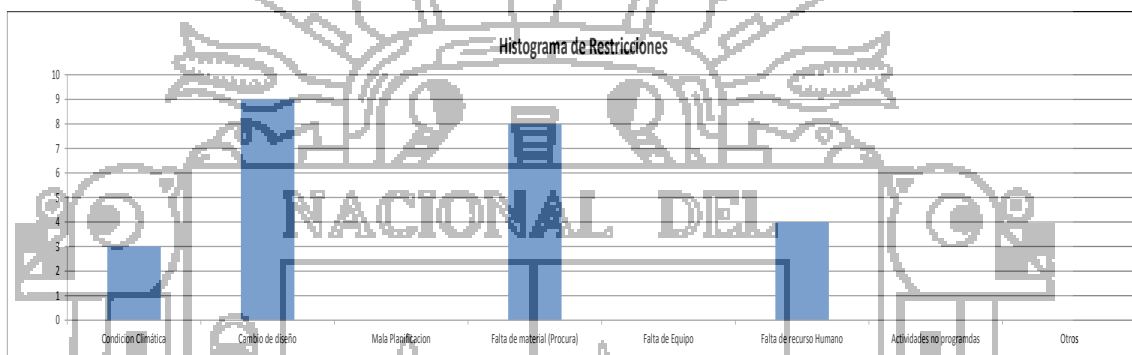


Figura Nº 21: Histograma de causas de no cumplimiento.

Fuente: Elaboración Propia.

NEXT WEEKLY SCHEDULE											WEEKLY PLANNING REGISTER		CODE DATE		22 feb 13			
PROJECT: SUBESTACION WINDING 220 KV CC-30											REVISED DATE:		22 feb 13					
CONTRACTOR: COSIPA PERU S.A.											PERIOD:		21 feb 13		27 feb 13			
Activity N°	Activity	Unidades								Commitment	Completed	Cumplencia %	Causas de no Cumplimiento					Comments
			21/02	22/02	23/02	24/02	25/02	26/02	27/02				Completado en fecha	Mala planificación	Interferencias programadas	Falta de recursos humanos	Accidentes o contingencias	
OBRAS CIVILES																		
SALA ELECTRICA																		
DRENAJE Y SUBDRENAJE																		
	Refrío de subcien 2	m3	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	49,0							
	Baños de colector 2	m3	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	30,0								
	Instalación de tubería de 12"	m2	30,00								30,0							
	Instalación de Generost	m2	120,00								120,0							
GENERADOR DE EMERGENCIA																		
	Instalado e instalación de tubo 4"	m				6,0					6,0							
TRANSFORMADORES AUXILIARES																		
	Diferenciales	m2	4,0								4,0							
	Insientos	m2	6,0	6,0	6,0						12,0							
	Concreto H30	m3						10			10,0							
TRANSFORMADOR DE POTENCIA 750-75-004																		
	Instalado	m2	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	42,0							
CANALETAS ELECTRICAS																		
	Sabido	m2						5,0			5,0							
	Acero	m2								400,0	400,0							
	otroreco H30 lizas de curvatura	m2									1,0							
CERCO PERIMETRICO Y POSTES DE CONCRETO																		
	Trazo y marcación topográfica	m									3,0							
	Excavación para instalación de postales de cerco perimétrico	m3									3,0							
	Excavación postes (20 postes)	m3									3,0							
	Instalación de pedestales de postes	m3									3,0							
ESCALERAS DE ACCESO LABOR TRANSFORMADORES DE POTENCIA																		
	Concreto H30	m3								12	12,0							
Obras Mecánicas																		
	Desmontaje y montaje de plataforma de acceso hacia sala eléctrica principal	m2		X	X						2,0							
	Relevo de estructura	m2									1,0							
	Trazo e instalación de cables de alumbrado para H30AC System en interior de sala eléctrica principal	m		X	X	X	X	X	X	X	6,0							
	Trabajo de tuberías para instalación de H30AC System	m		X	X	X	X	X	X	X	6,0							
	Armado de tuberías de H30AC de instalación en interior de sala eléctrica principal	m		X	X	X	X	X	X	X	6,0							
Obras Electricas																		
	Instalación de tubería y conexión para transformadores en interior de sala eléctrica	m		X	X	X	X	X	X	X	6,0							
	Instalación sistema de iluminación por medio de canalización eléctrica	m		X	X	X	X	X	X	X	6,0							
	Instalación de tuberías de protección en tramo de penetración sala eléctrica principal	m	X	X	X	X	X	X	X	X	6,0							
	Prueba de cables de alumbrado perimetrico	m	X	X	X	X	X	X	X	X	6,0							

Cuadro N° 9: Programación Semanal de Trabajos.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.2.6 Porcentaje de avance completado PAC

Finalizada la semana en la cual se ejecutaron los trabajos se procede a calcular el indicador porcentual de avance completado mediante la fórmula:

$$PAC = \frac{\text{Numero de Actividades Ejecutadas}}{\text{Numero de Actividades Programadas}} \%$$

Un buen desempeño de este indicador se sitúa por encima de los 80% y un mal desempeño estará por debajo del 60%. Equipos con experiencia en el sistema mantienen un 85% de PAC (Howell, 2002).

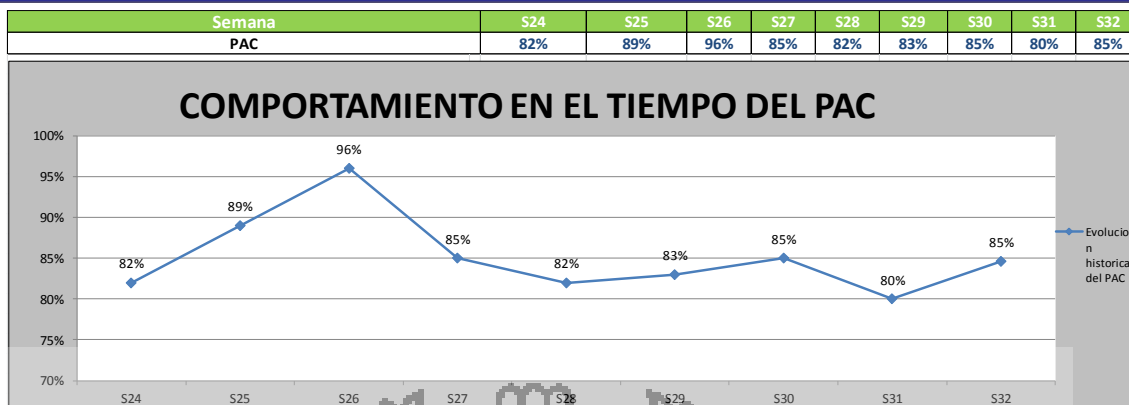


Gráfico Nº 4: Registro de comportamiento del PAC en el tiempo.

Fuente: Elaboración Propia.

4.3 RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DEL ULTIMO PLANIFICADOR

4.3.1 Resultado respecto al cronograma

Una vez implementado la metodología del Sistema del Último Planificador en el proyecto se identificaron importantes restricciones imputables al cliente las cuales, según el orden crítico, fueron:

1. Malas condiciones climáticas
2. Falta de material
3. Cambio de diseño
4. Falta de recurso humano calificado

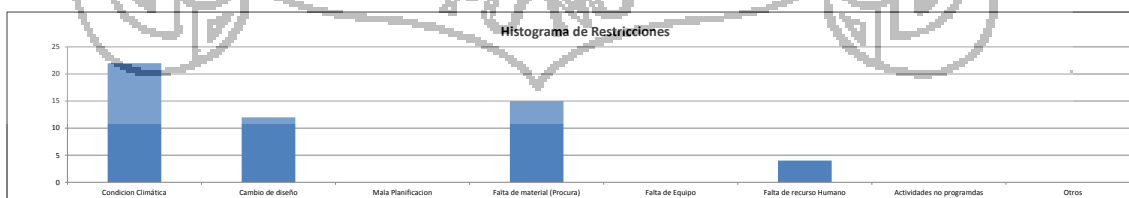


Figura Nº 22: Restricciones imputables al cliente.

Fuente: Elaboración Propia.

Las restricciones identificadas convergieron en la realización de una nueva Línea Base debido a los atrasos bastante significativos en el proyecto. La realización de las nuevas líneas base trajo consigo la ampliación en tiempo del proyecto.

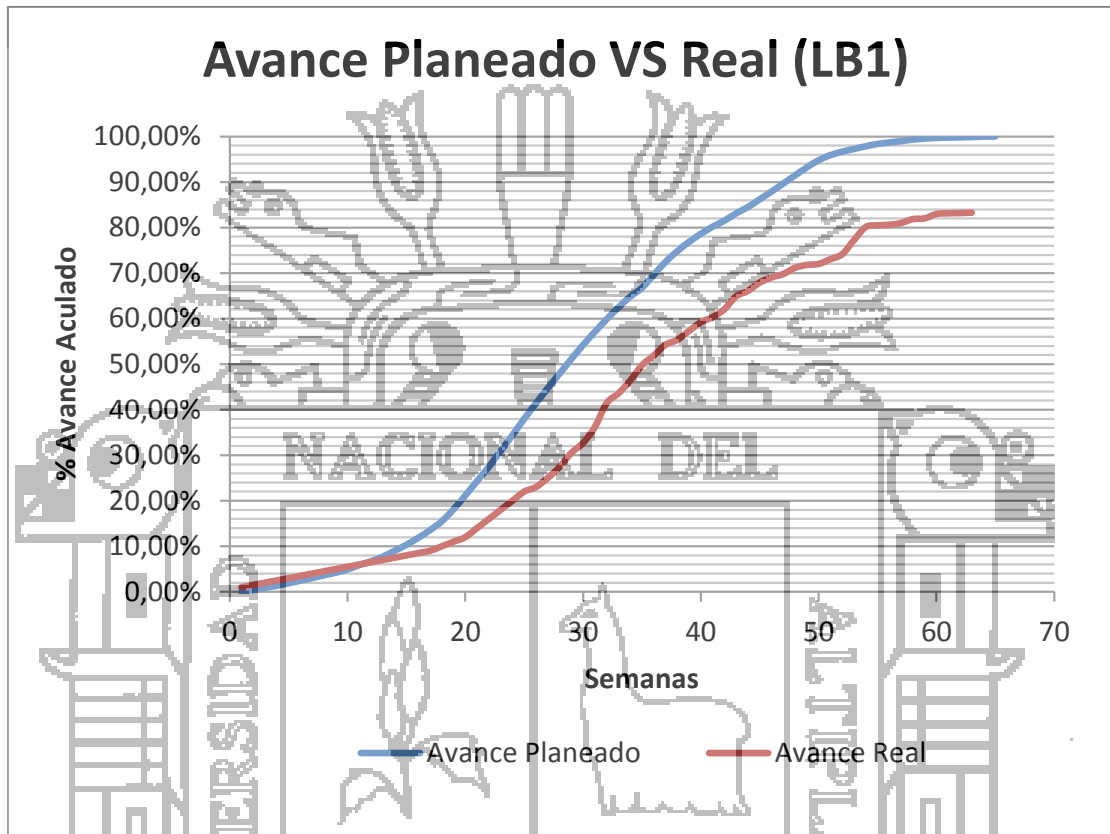


Gráfico N° 5: Curva S respecto a la línea base 1.

Fuente: Elaboración Propia.

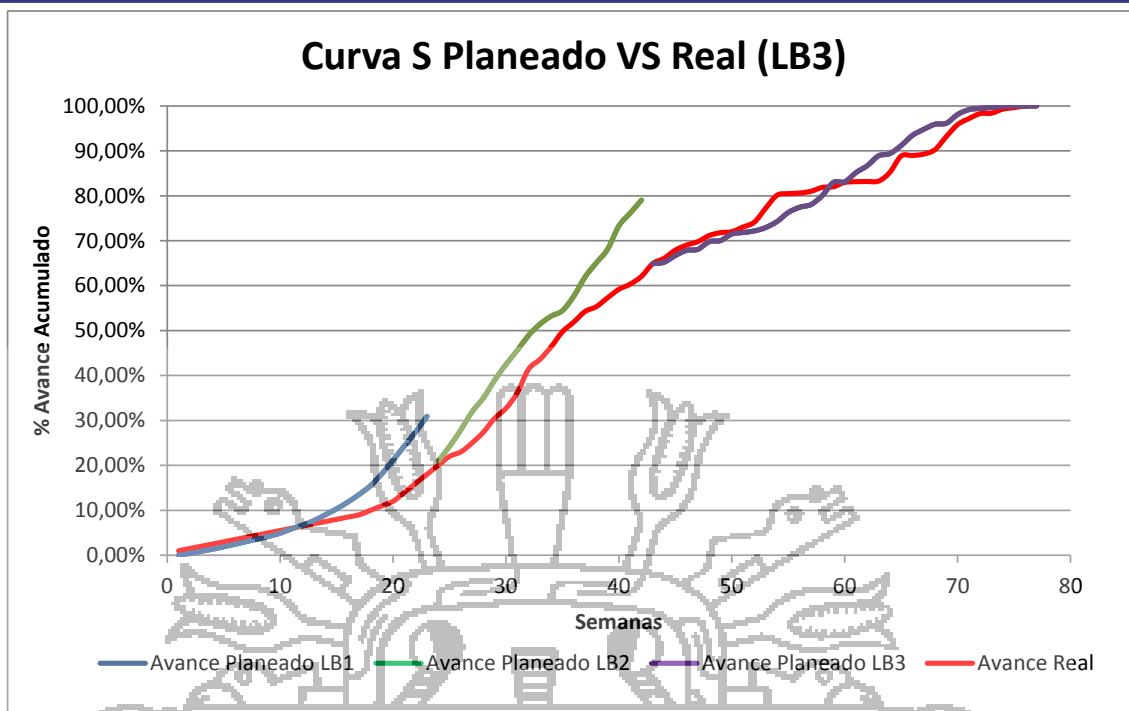


Gráfico N° 6: Curva S real respecto a las líneas base 2 y línea base 3.

Fuente: Elaboración Propia.

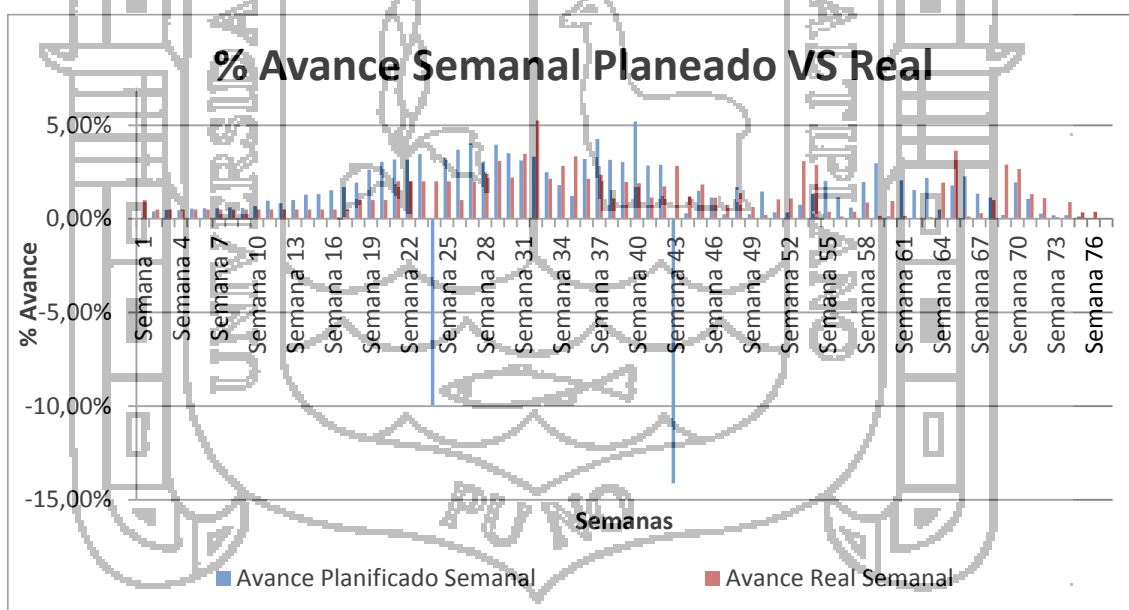


Gráfico N° 7: Comparativo avance semanal planeado VS avance semanal real.

Fuente: Elaboración Propia.



Semanas	Avance Planeado LB1	Avance Planeado LB2	Avance Planeado LB3	Avance Real	Avance Planificado Semanal	Avance Real Semanal
Semana 1	0,01%			1,00%	0,01%	1,00%
Semana 2	0,40%			1,50%	0,39%	0,50%
Semana 3	0,89%			2,00%	0,48%	0,50%
Semana 4	1,35%			2,50%	0,46%	0,50%
Semana 5	1,89%			3,00%	0,54%	0,50%
Semana 6	2,45%			3,50%	0,56%	0,50%
Semana 7	3,02%			4,00%	0,57%	0,50%
Semana 8	3,63%			4,50%	0,61%	0,50%
Semana 9	4,22%			5,00%	0,59%	0,50%
Semana 10	4,90%			5,50%	0,68%	0,50%
Semana 11	5,88%			6,00%	0,97%	0,50%
Semana 12	6,71%			6,50%	0,84%	0,50%
Semana 13	7,72%			7,00%	1,01%	0,50%
Semana 14	9,00%			7,50%	1,28%	0,50%
Semana 15	10,33%			8,00%	1,33%	0,50%
Semana 16	11,85%			8,50%	1,52%	0,50%
Semana 17	13,54%			9,00%	1,69%	0,50%
Semana 18	15,48%			10,00%	1,93%	1,00%
Semana 19	18,11%			11,00%	2,63%	1,00%
Semana 20	21,16%			12,00%	3,05%	1,00%
Semana 21	24,32%			14,00%	3,16%	2,00%
Semana 22	27,47%			16,00%	3,15%	2,00%
Semana 23	30,92%			18,00%	3,46%	2,00%
Semana 24		20,97%		20,00%	-9,96%	2,00%
Semana 25		24,22%		22,00%	3,25%	2,00%
Semana 26		27,91%		23,00%	3,69%	1,00%
Semana 27		31,94%		25,00%	4,03%	2,00%
Semana 28		35,02%		27,40%	3,07%	2,40%
Semana 29		38,98%		30,50%	3,97%	3,10%
Semana 30		42,48%		32,71%	3,50%	2,21%
Semana 31		45,60%		36,17%	3,12%	3,47%
Semana 32		48,93%		41,43%	3,33%	5,25%
Semana 33		51,42%		43,56%	2,48%	2,14%
Semana 34		53,21%		46,40%	1,80%	2,84%
Semana 35		54,44%		49,75%	1,23%	3,35%
Semana 36		57,65%		51,89%	3,21%	2,14%
Semana 37		61,92%		54,25%	4,27%	2,36%
Semana 38		65,08%		55,33%	3,16%	1,08%
Semana 39		68,11%		57,30%	3,04%	1,97%
Semana 40		73,31%		59,19%	5,20%	1,89%
Semana 41		76,16%		60,33%	2,85%	1,14%
Semana 42		79,04%		62,07%	2,88%	1,74%
Semana 43			64,91%	64,91%	-14,13%	2,84%
Semana 44			65,21%	66,08%	0,30%	1,18%
Semana 45			66,71%	67,91%	1,50%	1,83%

Semana 46	67,85%	69,04%	1,14%	1,12%
Semana 47	68,09%	69,79%	0,24%	0,75%
Semana 48	69,79%	71,16%	1,70%	1,37%
Semana 49	70,03%	71,79%	0,24%	0,63%
Semana 50	71,49%	72,01%	1,46%	0,22%
Semana 51	71,83%	73,05%	0,34%	1,04%
Semana 52	72,18%	74,14%	0,35%	1,09%
Semana 53	72,93%	77,23%	0,75%	3,09%
Semana 54	74,26%	80,11%	1,32%	2,88%
Semana 55	76,28%	80,48%	2,03%	0,37%
Semana 56	77,44%	80,61%	1,16%	0,13%
Semana 57	78,03%	80,99%	0,59%	0,38%
Semana 58	80,00%	81,86%	1,97%	0,87%
Semana 59	82,97%	82,01%	2,97%	0,16%
Semana 60	83,11%	82,97%	0,13%	0,96%
Semana 61	85,16%	83,14%	2,05%	0,16%
Semana 62	86,71%	83,19%	1,54%	0,05%
Semana 63	88,89%	83,27%	2,18%	0,09%
Semana 64	89,39%	85,21%	0,50%	1,94%
Semana 65	91,18%	88,85%	1,79%	3,64%
Semana 66	93,45%	88,97%	2,27%	0,12%
Semana 67	94,79%	89,28%	1,34%	0,31%
Semana 68	95,92%	90,28%	1,14%	1,00%
Semana 69	96,14%	93,18%	0,21%	2,90%
Semana 70	98,09%	95,85%	1,96%	2,67%
Semana 71	99,17%	97,18%	1,07%	1,33%
Semana 72	99,45%	98,29%	0,28%	1,11%
Semana 73	99,64%	98,38%	0,19%	0,09%
Semana 74	99,83%	99,28%	0,19%	0,90%
Semana 75	99,96%	99,62%	0,13%	0,34%
Semana 76	99,97%	99,99%	0,01%	0,37%
Semana 77	100,00%	100,00%	0,03%	0,01%

Cuadro N° 10: Planilla de control de avance con las líneas base LB1, LB2 y LB3.

Fuente: Elaboración Propia.

4.3.2 Resultado respecto al indicador porcentaje de avance completado (PAC)

El histórico del PAC obtenido se muestra en el **Cuadro N° 9** y el **Grafico N° 8**; en ellas se observa que se tuvo como mínimo de 80% y un máximo de 100%.

Semana	Porcentaje de Avance Completado
S21	94%
S22	90%
S23	85%
S24	87%
S25	89%
S26	96%
S27	85%
S28	82%
S29	83%
S30	85%
S31	80%
S32	85%
S33	83%
S34	85%
S35	83%
S36	83%
S37	95%
S38	86%
S39	87%
S40	85%
S41	92%
S42	82%
S43	87%
S44	87%
S45	92%
S46	92%
S47	85%
S48	91%
S49	83%
S50	92%
S51	81%
S52	83%
S53	86%
S54	92%
S55	92%
S56	94%
S57	84%

S58	86%
S59	95%
S60	86%
S61	85%
S62	93%
S63	89%
S64	95%
S65	91%
S66	92%
S67	84%
S68	94%
S69	90%
S70	82%
S71	81%
S72	92%
S73	95%
S74	97%
S75	95%
S76	100%
S77	100%

Cuadro Nº 11: Registro histórico del PAC.

Fuente: Elaboración Propia.

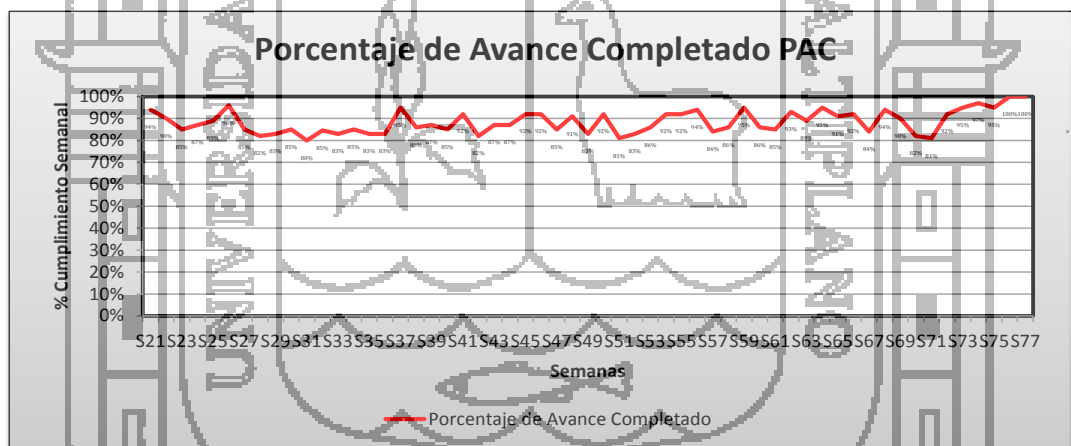


Gráfico Nº 8: Representación gráfica del PAC hasta el final de proyecto.

Fuente: Elaboración Propia.

De este modo el éxito del proceso de implementación del Sistema del Ultimo Planificador se refleja en los altos valores del indicador PAC.

CONCLUSIONES

En esta última parte de la tesis, se dan a conocer las conclusiones a las que se han podido llegar en el proceso de estudio, análisis de la estructuración y desarrollo de una aplicación de *Last Planner System* de *Lean Construction* en procesos electromecánicos de una planta eléctrica de potencia.

Primera: El análisis de la estructuración del *Last Planner System* permitió identificar importantes restricciones tales como: malas condiciones climáticas, llegadas tardías de los equipos electromecánicos para su montaje, cambio de diseño y falta de recurso humano calificado; las cuales convergieron en la realización de nuevas líneas base a partir de un atraso de 7,11% a la semana 19 de la línea base1.

Segunda: El desarrollo de formatos para la programación 1 y 3 Week Lookahead mejoró mediante la medición del Porcentaje de Avance Completado (PAC) mayores e iguales al 80% además de garantizar un flujo continuo de actividades.

Tercera: El desarrollo de una aplicación de *Lean Construction* utilizando el *Last Planner System* (Sistema del Último Planificador) para procesos electromecánicos en una planta eléctrica de potencia permitió culminar el proyecto en 77 semanas de las 65 semanas planeadas al identificarse restricciones no contempladas e imputables al cliente y no previstas en la línea base original.

Cuarta: Con el nuevo sistema de planificación el equipo de trabajo adoptó un comportamiento más proactivo, esto por la necesidad de cumplir con el cronograma y además optimizar costos en el proyecto.

SUGERENCIAS

- Primera:** Es necesario que los cronogramas maestros sean realizados tomándose en cuenta el contexto operacional a ejecutarse el proyecto.
- Segunda:** Se sugiere realizar formatos de 3 Week Lookahead Schedule de acuerdo a las necesidades del proyecto.
- Tercera:** Se recomienda controlar y documentar las horas hombres improductivos.
- Cuarta:** Es necesario que la empresa constructora que desea implementar el Last Planner System (Sistema del Ultimo Planificador) tenga como política la Mejora Continua.
- Quinta:** La implementación del Last Planner System (Sistema del Ultimo Planificador) requiere el compromiso y respaldo del gerente del proyecto, así como también el compromiso de cada uno de los líderes de área.
- Sexta:** Se sugiere implementar el *Last Planner System* de *Lean Construction* en el gobierno regional y en los municipios distritales del departamento de Puno con el objetivo de administrar de forma productiva sus obras; previa creación del área de control de proyectos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. **ALARCÓN, L. F.** (2003). Planificación y Control de Producción para la Construcción, Guía para la Implementación, Primera edición, Santiago, Chile.
- [2]. **ALARCON L. F.** “Mejorando la productividad de los proyectos con planificaciones más confiables”.
- [3]. **ALARCÓN, L. F.** (2000). Identificación y Reducción de Pérdidas en la Construcción. Herramientas y Pérdidas, Documento desarrollado para el Programa de Mejoramiento de la Gestión de Producción en la Construcción, Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, Escuela de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- [4]. **BALLARD, Glenn.** (2000). *The Last Planner System Of Production Control*, The University of Birmingham.
- [5]. **BARRÍA NORAMBUENA, Carol Fabiola.** (2009). Implementación del Sistema Last Planner en la Construcción de Viviendas, Perú.
- [6]. **BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ**, Producto bruto interno (variaciones porcentuales anualizadas). <http://www.bcrp.gob.pe/publicaciones/nota-semanal/cuadros-estadisticos.html>; Archivo: NC-080 Producto bruto interno (variaciones porcentuales anualizadas) (Fecha de revisión, 28-12-2014).
- [7]. **BOTERO BOTERO, Luis Fernando y ÁLVAREZ VILLA, Martha Eugenia** (2005). Last Planner, un Avance en la Planificación y Control de Proyectos de Construcción. Estudio del Caso de la Ciudad de Medellín, Colombia.

- [8]. **BOTERO BOTERO, Luis Fernando** (2006). Lean Construction Como Nueva Estrategia de Gestión en la Construcción, Colombia.
- [9]. **DÍAZ MONTECINO, Daniela Andrea** (2007). Aplicación del Sistema de Planificación Last Planner a la Construcción de un Edificio Habitacional de Mediana Altura, Chile.
- [10]. **ECHEGARAY GUERIN, José Manuel; JARA ORTIZ, Ricardo; RAMOS ALONZO, Cristian.** (2009). Pautas para la implementación del sistema del último planificador (last planner system) en una empresa constructora pequeña. Perú.
- [11]. **GHIO CASTILLO, Virgilio** (2003). Productividad en Obras de Construcción. Diagnóstico, Crítica y Propuesta, Perú.
- [12]. **KOSKELA, L.** (2000). *“An exploration towards a production theory and its application to construction”*. Tesis Doctoral. Technical Research Centre of Finland, Espoo.
- [13]. **MIRANDA CASANOVA, Daniel.** (2012). Implementación del Sistema Last Planner en una Habilidad Urbana. Perú.
- [14]. **ORIHUELA P., ULLOA K.** (2011). “La Planificación de las Obras y el Sistema Last Planner”. Construcción Integral – Boletín Informativo de Aceros Arequipa Edición 12. Abril 21011.
- [15]. **VELIZ FLORES, José Luis** (2007). El Planeamiento mediante la Lookahead Schedule, Perú.

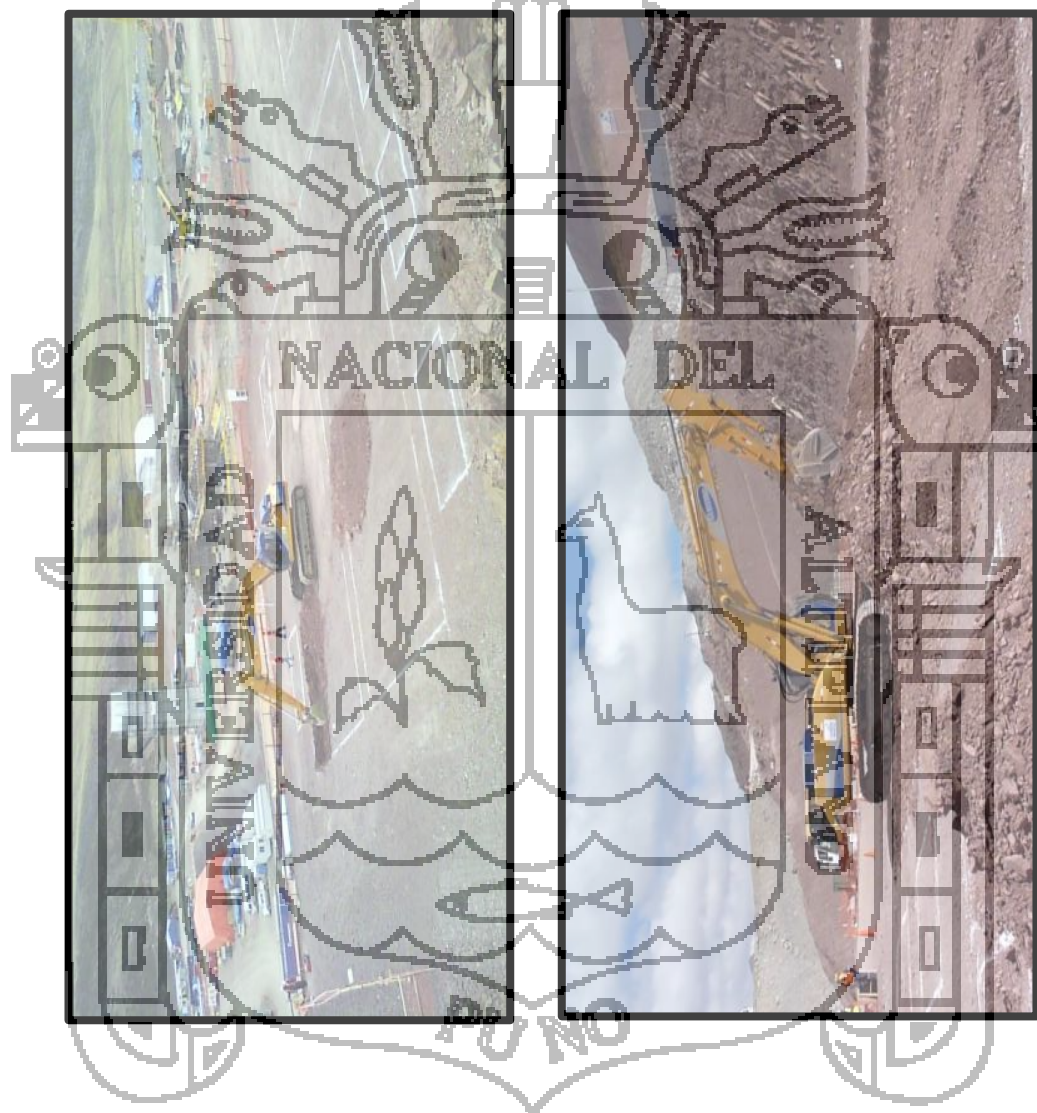
ANEXOS



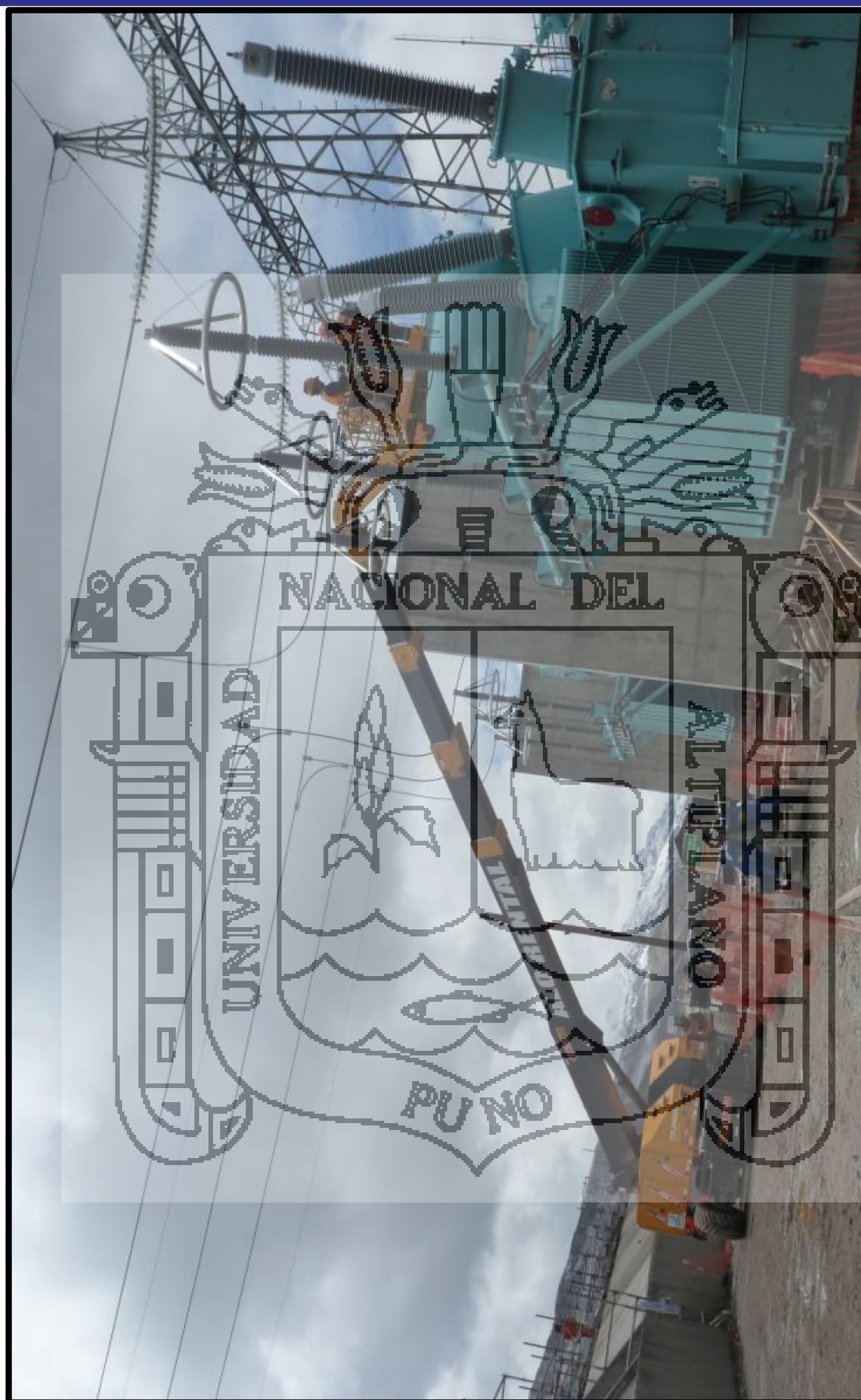
Anexo N° 1: 4 Lookahead Schedule

4 WEEK SHORT INTERVAL SCHEDULE																															
ACTIVIDADES	SEMANA CUERPO							PRÓXIMA SEMANA							COMENTARIOS Y/O RESTRICCIONES																
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27		28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Plan	Actual	Plan	Actual	Plan	Actual	Plan	Actual	Plan	Actual	Plan	Actual	Plan	Actual	Plan	Actual	Plan	Actual	Plan	Actual	Plan	Actual	Plan	Actual	Plan	Actual	Plan	Actual	Plan	Actual	Plan	Actual
22023 IV SWITCHYARD PATIO LLAVES																															
OBRAS CIVILES																															
EXCAVACION Y RELLENO																															
CONCRETO ARMADO, INSERTOS Y ENCOFRADOS																															
OBRAS COMPLEMENTARIAS																															
MAIN ELECTRICAL ROOM 23 KV																															
OBRAS CIVILES																															
SIGAYACION Y RELLENO																															
COLOCACION DE ACERO																															
CONCRETO H10, H80																															
OBRAS ELECTROMECANICAS																															
MECANICOS-ELECTRICOS EN SALA ELECTRICA																															
															</																

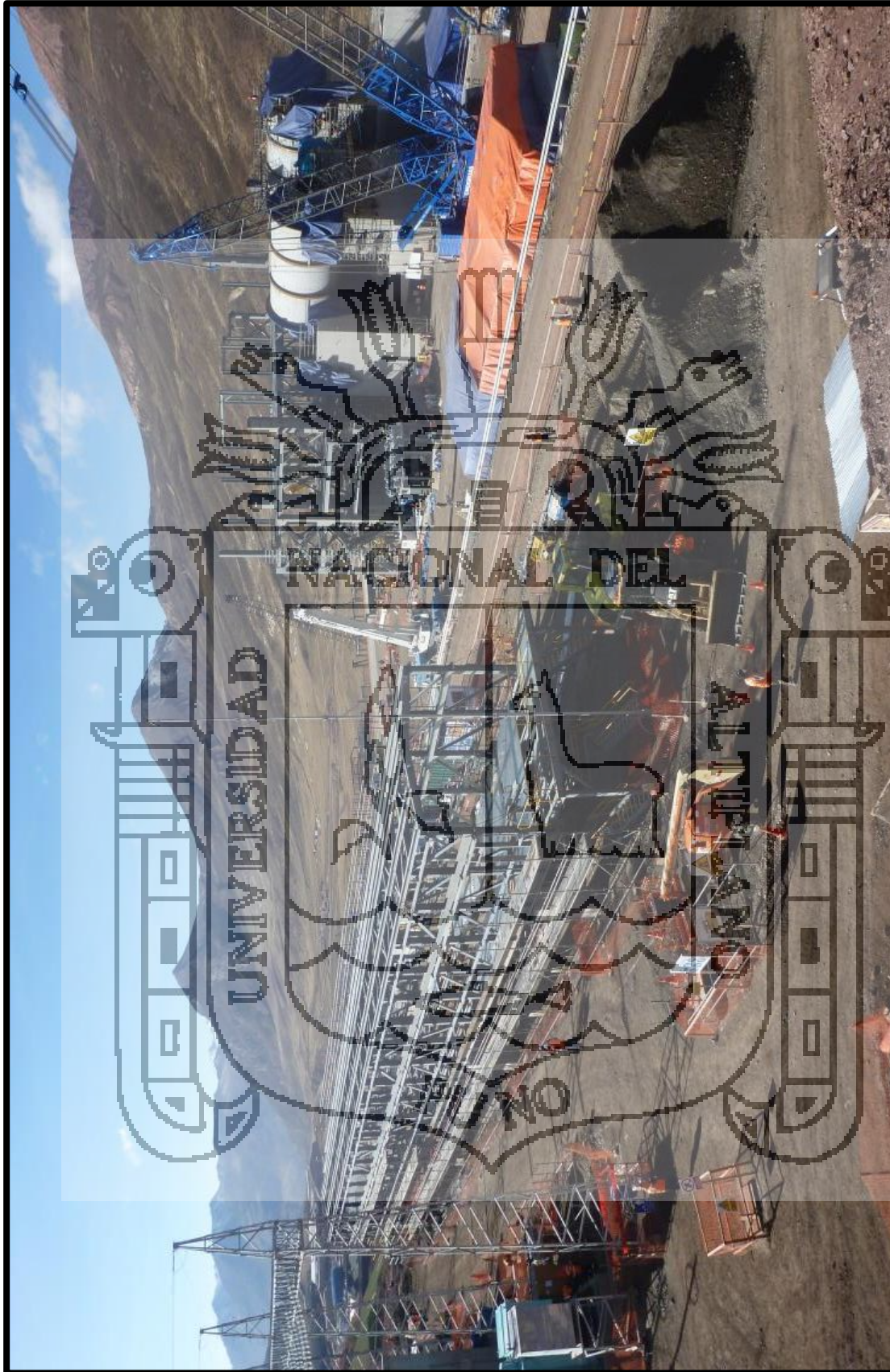
Anexo N° 4: Fotos de la evolución del proyecto



Trazo topográfico y excavación – Subestación eléctrica principal 220 Kv/23 Kv – 21 de febrero 2012.



Transformadores de potencia – Subestación eléctrica principal 220 Kv/23 Kv – 25 de noviembre 2012



Montaje de la sala eléctrica principal - Subestación eléctrica principal 220 Kv/23 Kv – 25 de noviembre 2012



Montaje de estructuras metálicas y equipos en patio de llaves - Subestación eléctrica principal 220 Kv/23 Kv – 16 de junio 2012



Patio de llaves de la subestación eléctrica de potencia - Subestación eléctrica principal 220 Kv/23 Kv – 30 de

noviembre 2012



Subestación eléctrica de potencia del proyecto construido por Cobra Perú S.A. – 15 de agosto del 2014.