

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA  
ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



“IMPLEMENTACIÓN DEL LAST PLANNER SYSTEM PARA  
MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN DEL  
NUEVO ENFRIADOR DE CLINKER EN LA PLANTA  
UNACEM-CONDORCOCHA”

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CON MENCIÓN EN GERENCIA  
DE PROYECTOS DE INGENIERÍA

AUTORES:

PRICE LEÓN, RICARDO GUILLERMO  
REMIGIO ROJAS, RUSEL

ASESOR: ANTENOR LEVA APAZA

Línea de investigación: Ingeniería y tecnología

Callao, 2023  
PERÚ

Three handwritten signatures in blue ink are positioned to the left of the authors' names. The top signature is the most prominent, followed by two smaller ones below it.



## **INFORMACIÓN BÁSICA**

**FACULTAD:** INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:** INGENIERÍA ELÉCTRICA

**TÍTULO:** IMPLEMENTACIÓN DEL LAST PLANNER SYSTEM PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO ENFRIADOR DE CLINKER EN LA PLANTA UNACEM - CONDORCOCHA

**AUTOR(ES):** PRICE LEÓN, RICARDO GUILLERMO  
REMIGIO ROJAS, RUSEL

**ASESOR:** . ANTENOR LEVA APAZA

**LUGAR DE EJECUCIÓN:** CONDORCOCHA - JUNÍN

**TIPO DE INVESTIGACIÓN:** APLICADA, CUANTITATIVA Y DESCRIPTIVA

**UNIDADES DE ANÁLISIS:** PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN EN PLANTA UNACEM-CONDORCOCHA DURANTE EL PERIODO 2009 AL 2019.

## HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO

### MIEMBROS DEL JURADO

<b>Mg.</b>	<b>: ERNESTO RAMOS TORRES</b>	<b>PRESIDENTE</b>
<b>Msc.</b>	<b>: CARLOS HUMBERTO ALFARO RODRIGUEZ</b>	<b>SECRETARIO</b>
<b>Mg.</b>	<b>: JESSICA ROSARIO MEZA ZAMATA</b>	<b>MIEMBRO</b>
<b>Mg.</b>	<b>: PEDRO ANTONIO SÁNCHEZ HUAPAYA</b>	<b>MIEMBRO</b>
<b>Mg.</b>	<b>: ANTENOR LEVA APAZA</b>	<b>ASESOR</b>

**ACTA** : **Nº 02-2023**

**Nº DE LIBRO** : **1**

**FOLIO** : **127**

**FECHA DE APROBACIÓN** : **24 de febrero 2023**

**RESOLUCIÓN DIRECTORAL** : **Nº 005-2023-DUPFIEE**

Dr. FERNANDO MENDOZA APAZA  
Director

## Document Information

Analyzed document	Tesis maestría.docx (D129273325)
Submitted	2022-03-02T21:38:00.000000
Submitted by	
Submitter email	ricardoprile@gmail.com
Similarity	5%
Analysis address	fiee.posgrado.unac@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

<b>SA</b>	<p>TESIS_FINAL_CHEGNE_QUERZOLA .docx Document TESIS_FINAL_CHEGNE_QUERZOLA .docx (D110474281)</p>		3
<b>SA</b>	<p>Tesis Gilberto Giancarlo Gamarra Diaz.pdf Document Tesis Gilberto Giancarlo Gamarra Diaz.pdf (D39657394)</p>		4
<b>SA</b>	<p>Tesis Luis Alberto Toledo Torres.pdf Document Tesis Luis Alberto Toledo Torres.pdf (D111542372)</p>		2
<b>SA</b>	<p>UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_MONICAVASQUEZ_ROLMERCARDENAS_V1.pdf Document UCP_INGENIERÍACIVIL_2021_TESIS_MONICAVASQUEZ_ROLMERCARDENAS_V1.pdf (D123753935)</p>		5
<b>SA</b>	<p>Tesis con solo contenido PÉREZ MORAN -RUIZ JIMENEZ.docx Document Tesis con solo contenido PÉREZ MORAN -RUIZ JIMENEZ.docx (D96942573)</p>		3
<b>SA</b>	<p>5263-Soto Gomez, Bladimir Lenin_.pdf Document 5263-Soto Gomez, Bladimir Lenin_.pdf (D32033025)</p>		11
<b>SA</b>	<p>TESIS LAST PLANNER ANTIPLAGIO.pdf Document TESIS LAST PLANNER ANTIPLAGIO.pdf (D41640772)</p>		1
<b>SA</b>	<p>Tesis Edmundo Fernando Rivera Mendoza.docx Document Tesis Edmundo Fernando Rivera Mendoza.docx (D51442272)</p>		1
<b>SA</b>	<p>Tesis Andrews Alexander Erazo Rondinel.pdf Document Tesis Andrews Alexander Erazo Rondinel.pdf (D109836524)</p>		2
<b>W</b>	<p>URL: <a href="https://www.mdpi.com/2076-3417/10/3/821/htm">https://www.mdpi.com/2076-3417/10/3/821/htm</a> Fetched: 2020 11-25T22:49:51.3130000</p>		1
<b>SA</b>	<p>T_69_RABINES_CHAVEZ_ALESSANDRA_GARCIA_CHIARA_GIANELLA.docx Document T_69_RABINES_CHAVEZ_ALESSANDRA_GARCIA_CHIARA_GIANELLA.docx (D110431818)</p>		1
<b>W</b>	<p>URL: <a href="https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2442/Carlos%20Garay%20Trabajo%20de%20investigacion_Maestria_2019.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2442/Carlos%20Garay%20Trabajo%20de%20investigacion_Maestria_2019.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a> Fetched: 2022-03-02T21:37:47.6230000</p>		1

## **DEDICATORIA**

A mi madre, quien siempre me brinda su apoyo incondicional a pesar de todo.

A mi amigo Jorge Salazar, quien me impulsó a realizar esta tesis y también me apoyó a concluirla.

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestros padres, por su sacrificio y dedicación a nuestra educación y formación como personas y profesionales, porque somos lo que somos gracias ellos y para ellos.

A la Universidad Nacional del Callao y a la Escuela de Post Grado de la Facultad de ingeniería Eléctrica y Electrónica por el apoyo brindado en las coordinaciones realizadas durante el desarrollo de nuestra tesis.

# INDICE

<b>INDICE</b> .....	1
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	4
<b>INDICE DE GRÁFICOS</b> .....	6
<b>ABSTRACT</b> .....	8
<b>RESUMO</b> .....	9
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	10
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	11
1.1. Determinación del problema .....	11
1.1.1. Situación del problema .....	11
1.1.2. Tendencia actual en la industria .....	11
1.2. Formulación del problema .....	12
1.2.1. Problema General: .....	12
1.2.2. Problema Especifico: .....	12
1.3. Objetivos de la investigación .....	13
1.3.1. Objetivo General: .....	13
1.3.2. Objetivo Especifico: .....	13
1.4. Justificación .....	13
1.4.1. Justificación teórica .....	13
1.4.2. Justificación práctica .....	13
1.4.3. Justificación económica .....	14
1.5. Limitantes de la investigación .....	14
1.5.1. Limitación Teórica .....	14
1.5.2. Limitación Temporal .....	14
1.5.3. Limitación Espacial .....	14
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	15
2.1 Antecedentes .....	15
2.1.1 Antecedentes Nacionales .....	15
2.1.2 Antecedentes Internacionales .....	18
2.2 Bases teóricas .....	19

2.2.1	Base económico:.....	19
2.2.2	Base humanístico:.....	20
2.2.3	Base filosófico: .....	20
2.2.4	Base tecnológica:.....	20
2.3	Marco conceptual.....	21
2.3.1	Productividad .....	21
2.3.2	Planificación de un proyecto .....	23
2.3.3	Filosofía Lean .....	25
2.3.4	Variabilidad .....	32
2.3.5	Last Planner System (LPS).....	33
2.4	Definición de términos básicos:.....	47
<b>III.</b>	<b>VARIABLES E HIPÓTESIS .....</b>	<b>48</b>
3.1	Definición de las variables: .....	48
3.2	Operacionalización de variables.....	49
3.3	Hipótesis general e hipótesis específicas de la investigación: .....	51
<b>IV.</b>	<b>DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>	<b>51</b>
4.1	Tipo y diseño de investigación.....	51
4.2	Población y Muestra .....	52
4.3	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información documental: .....	52
4.4	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información de campo: .....	53
4.5	Análisis y procesamiento de datos.....	53
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>54</b>
5.1	Análisis descriptivo .....	54
5.2	Resultados inferenciales .....	78
<b>VI.</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>83</b>
6.1	Contrastación de la Hipótesis .....	83
6.2	Contrastación de los resultados con estudios similares.....	84
6.3	Responsabilidad ética .....	87
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>88</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>90</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>91</b>

<b>ANEXOS</b> .....	94
<b>Anexo 1: Matriz de consistencia</b> .....	94
<b>Anexo 2: Fichas de recolección de datos</b> .....	95
<b>Anexo 3: Base de datos</b> .....	101
<b>Anexo 4: Comportamiento de las medidas descriptivas</b> .....	102
<b>Anexo 5: Curva S típica de un proyecto de construcción con planificación tradicional ejecutado en la planta de UNACEM-Condorcocha</b> .....	105
<b>Anexo 6: Curva S típica de un proyecto de construcción con metodología Last Planner System ejecutado en la planta de UNACEM-Condorcocha</b> .....	106
<b>Anexo 7: Planificación con metodología Last Planner System en la construcción del nuevo enfriador de Clinker en la planta de UNACEM-Condorcocha</b> .....	107

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Matriz de operacionalización.....	50
Cuadro 2: Diseño de investigación .....	52
Cuadro 3: Tiempo de demora para finalizar la construcción presentados por proyectos entre el 2009 y 2017.....	54
Cuadro 4: Estadísticos descriptivos de los datos de tiempo de demora para finalizar la construcción - pretest.....	55
Cuadro 5: Tiempo de demora para finalizar la construcción presentados por proyectos entre el 2014 y 2019.....	58
Cuadro 6: Estadísticos descriptivos de los datos de tiempo de demora para finalizar la construcción – post test.....	59
Cuadro 7: Porcentaje de plan cumplido de la construcción presentados por proyectos entre el 2009 y 2017.....	63
Cuadro 8: Estadísticos descriptivos de los datos de porcentaje de plan cumplido de la construcción - pretest.....	63
Cuadro 9: Porcentaje de plan cumplido de la construcción presentados por proyectos entre el 2014 y 2019.....	66
Cuadro 10: Estadísticos descriptivos de los datos de porcentaje de plan cumplido de la construcción – post test.....	67
Cuadro 11: Índice del desempeño del costo de la construcción presentados por proyectos entre el 2009 y 2017.....	71
Cuadro 12: Estadísticos descriptivos de los datos del índice del desempeño del costo de la construcción - pretest .....	71
Cuadro 13: Índice del desempeño del costo de la construcción presentados por proyectos entre el 2014 y 2019.....	74
Cuadro 14: Estadísticos descriptivos de los datos de índice del desempeño del costo de la construcción – post test.....	75
Cuadro 15: Datos de la prueba de la contrastación de hipótesis secundaria 1 (tiempo de demora para finalizar la construcción) .....	79
Cuadro 16: Datos de la prueba de la contrastación de hipótesis secundaria 2 (cantidad de actividades programadas cumplidas) .....	81

Cuadro 17: Datos de la prueba de la contrastación de hipótesis secundaria 3 (rendimiento del presupuesto de la construcción) .....	82
--	----

## INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Productividad y sus factores .....	23
Gráfico 2: Esquema de objetivos bajo la filosofía Lean .....	26
Gráfico 3: Evolución de los sistemas de producción.....	29
Gráfico 4: Ventajas entre sistema de producción tradicional vs Lean .....	31
Gráfico 5: Diagrama de una planificación ideal.....	35
Gráfico 6: Esquema del Procedimiento del Sistema Last Planner .....	37
Gráfico 7: Proceso Last Planner.....	38
Gráfico 8: Incentivos de mejora para la implementación del sistema de gestión Last Planner.....	46
Gráfico 9: Procedimiento de toma y procesamiento de datos de la investigación.....	54
Gráfico 10: Esquema de caja de los datos de tiempo de demora para finalizar la construcción – pretest .....	56
Gráfico 11: Prueba de normalidad de los datos de tiempo de demora para finalizar la construcción – pretest .....	58
Gráfico 12: Esquema de caja de los datos de tiempo de demora para finalizar la construcción – post test.....	61
Gráfico 13: Prueba de normalidad de los datos de tiempo de demora para finalizar la construcción – post test.....	62
Gráfico 14: Esquema de caja de los datos de porcentaje de plan cumplido – pretest.....	65
Gráfico 15: Prueba de normalidad de los datos de porcentaje de plan cumplido – pretest.....	66
Gráfico 16: Esquema de caja de los datos de porcentaje de plan cumplido – post test ....	69
Gráfico 17: Prueba de normalidad de los datos de porcentaje de plan cumplido – post test .....	70
Gráfico 18: Esquema de caja de los datos de índice del desempeño del costo – pretest.....	73
Gráfico 19: Prueba de normalidad de los datos del índice del desempeño del costo – pretest.....	74
Gráfico 20: Esquema de caja de los datos de índice del desempeño del costo – post test .....	77
Gráfico 21: Prueba de normalidad de los datos de índice del desempeño del costo – post test.....	78

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal demostrar la mejora de la productividad en la planificación de la construcción en los nuevos proyectos de UNACEM, específicamente en sus proyectos ejecutados en la unidad Condorcocha.

Para cumplir con el objetivo del presente trabajo de investigación, se realizará comparaciones entre algunos proyectos ejecutados con la planificación tradicional contra otros proyectos ejecutados con la metodología Last Planner System. Este comparativo se realizará a proyectos durante su etapa de construcción y/o montaje.

Los comparativos del caso de estudio se realizarán, específicamente a tres indicadores, tiempo de demora para culminar la construcción, cantidad de actividades programadas cumplidas y al rendimiento del presupuesto de la construcción, esto con la finalidad de demostrar la mejora el flujo de trabajo de las unidades productivas, la mejora del control de avance del proyecto de construcción, la mejora de identificación de restricciones y el adecuado control de cumplimiento de programación, buscando con esto aumentar la productividad en la planificación de la construcción en los nuevos proyectos de UNACEM.

En las conclusiones se evidencia que en los proyectos de construcción, realizados en UNACEM-Condorcocha, existe un incremento bien marcado en la productividad de la planificación (a comparación con la planificación tradicional), con el cumplimiento de las actividades programadas, uso adecuado de los recursos, trabajos más fluidos, confiabilidad en la programación, anticipación de restricciones y sobre todo la aceptación de los interesados, estableciendo un buen sistema de trabajo con una correcta programación y control de actividades según indicadores de la metodología Last Planner System.

Palabras clave: Last Planner System, Productividad.

## **ABSTRACT**

The main objective of this research work is to demonstrate the improvement of productivity in construction planning in new UNACEM projects, specifically in its projects executed in the Condorcocha unit.

To meet the objective of this research work, comparisons will be made between some projects executed with traditional planning against other projects executed with the Last Planner System methodology. This comparison will be made of projects during their construction and/or assembly stage.

Comparisons of the case study will be made, specifically to three indicators, delay time to complete the construction, number of scheduled activities completed and the performance of the construction budget, this in order to demonstrate the improvement in the work flow of the productive units, the improvement of the progress control of the construction project, the improvement of the identification of restrictions and the adequate control of programming compliance, seeking with this to increase the productivity in the construction planning in the new UNACEM projects.

Conclusions show that in the construction projects carried out in UNACEM-Condorcocha, there is a well-marked increase in planning productivity (compared to traditional planning), with the fulfillment of scheduled activities, adequate use of resources, more fluid work, reliability in the programming, anticipation of restrictions and above all the acceptance of the interested parties, establishing a good work system with a correct programming and control of activities according to indicators of the Last Planner System methodology.

Keywords: Last Planner System, Productivity.

## RESUMO

O principal objetivo deste trabalho de pesquisa é demonstrar a melhoria da produtividade no planejamento da construção em novos empreendimentos da UNACEM, especificamente em seus empreendimentos realizados na unidade Condorcocha.

Para cumprir o objetivo deste trabalho de pesquisa, serão feitas comparações entre alguns projetos executados com planejamento tradicional contra outros executados com a metodologia Last Planner System. Esta comparação será feita com projetos em fase de construção e/ou montagem.

Serão feitas as comparações do estudo de caso, especificamente a três indicadores, tempo de atraso para conclusão da obra, número de atividades programadas concluídas e o desempenho do orçamento da obra, isso a fim de demonstrar a melhoria do fluxo de trabalho das unidades produtivas, o aprimoramento do controle do andamento da obra, o aprimoramento da identificação das restrições e o controle adequado do cumprimento da programação, buscando com isso aumentar a produtividade no planejamento da construção nos novos empreendimentos da UNACEM.

Nas conclusões é evidente que nos projetos de construção, realizados na UNACEM-Condorcocha, há um aumento acentuado na produtividade do planejamento (comparado ao planejamento tradicional), com o cumprimento das atividades programadas, uso adequado dos recursos, trabalho mais fluido, confiabilidade na programação, antecipação de restrições e, acima de tudo, aceitação dos interessados, estabelecendo um bom sistema de trabalho com uma correta programação e controle das atividades de acordo com indicadores da metodologia Last Planner System.

Palavras-chave: Sistema Last Planner, Produtividade.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha notado el crecimiento del sector construcción en nuestro país, esto se hace notorio debido al incremento del consumo interno de cemento y el avance físico de las obras, lo cual es beneficioso para el país. Sin embargo, con este crecimiento se han notado también dos grandes problemas, uno de ellos hace referencia al retraso de las actividades programadas de la obra y el otro gran problema está vinculado a los sobrecostos del proyecto. Ambos problemas son consecuencia de una planificación deficiente, generando pérdidas económicas que afectan la rentabilidad del proyecto y muchas veces los proyectos no logran el éxito.

Ante estos problemas evidenciados, muchas empresas internacionales y algunas cuantas empresas nacionales han optado por implementar la metodología Last Planner System (El último planificador) para mejorar la planificación de sus proyectos. Esta metodología, relativamente nueva, les ha ayudado a reducir la variabilidad (retrasos y sobrecostos), mejorando la productividad en la etapa de construcción, volviendo más confiable las fechas asumidas, optimizando los procesos, reduciendo los riesgos, cumpliendo plazos y controlando de manera exhaustiva el avance del proyecto.

Teniendo estas referencias para la mejora de la productividad de la planificación en proyectos de construcción, la empresa UNACEM, a través de su empresa consultora ARPL Tecnología Industrial, ha iniciado el proceso de implementación de la metodología Last Planner System como herramienta principal para controlar la ejecución de la construcción, la cual será aplicada a un nuevo proyecto a ejecutarse en la sede Condorcocha.

En la presente investigación se busca mejorar los tiempos de retrasos para finalizar la construcción, aumentar la cantidad de actividades programadas cumplidas y aumentar el rendimiento del presupuesto de la construcción, basándonos en metodología Last Planner System que se enfoca en agregar valor al producto del cliente y minimizar los desperdicios.

Finalmente, se espera que la presente investigación sea el punto de partida para la implementación de la metodología (Last Planner System) en otros proyectos de construcción de la empresa, en sus diferentes sedes.

## **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### 1.1. Determinación del problema

#### 1.1.1. Situación del problema

En el Perú, la mayoría de las empresas del rubro construcción gestionan sus proyectos a través de la planificación tradicional, la cual se basa en identificar las tareas o partidas necesarias para elaborar el producto (EDT o WBS), estimarles un tiempo, definir su secuencia, para finalmente tener un plazo total de ejecución del plan de proyecto, luego se reparte las responsabilidades a los diferentes involucrados y se hace seguimiento al cumplimiento del plan a través de un cronograma. Por lo general esta planificación la realiza una sola persona basándose en su experiencia (juicio de experto).

Sin embargo, con este tipo de planificación no existe la certeza de determinar el cómo se puede cumplir con los plazos de ejecución planificados porque la única retrospectiva o feedback se realiza al término del proyecto, con lo que las lecciones aprendidas llegan de manera tardía para aplicar correcciones al proyecto.

No realizar las correcciones al proyecto en el momento adecuado impide tomar en cuenta factores como el uso óptimo de los recursos, el plan de ataque de obra, cronogramas de adquisiciones de materiales, entre otros factores que son determinantes durante la ejecución de la obra, por lo que esta termina ejecutándose fuera del plazo establecido, generando grandes pérdidas para la empresa.

#### 1.1.2. Tendencia actual en la industria

En los últimos años el mejoramiento de la gestión de la construcción ha sido prioritario para las empresas contratistas y constructoras inmobiliarias, motivo por el cual han incorporado a la etapa de planificación de sus proyectos una nueva metodología conocida como Last Planner System, que consiste básicamente en planificar las actividades de manera colaborativa, modificando el proceso de programación y control de

la obra cada vez que sea necesario, reduciendo la incertidumbre y la variabilidad.

Esta metodología está siendo usada, en el Perú, por empresas contratistas como GyM, Cosapi y muchas constructoras inmobiliarias como es el caso de V&V, EDIFICA, entre otras, las cuales han comprobado su eficacia para reducir los atraso y sobrecostos que genera la planificación tradicional.

Los resultados obtenidos más notables con esta metodología son:

- Proyectos cada vez más colaborativos.
- Involucramiento de todos los actores con un mismo objetivo.
- Cliente / Projectista / Constructor participan desde el inicio de proyecto para aportar con su experiencia a lograr el proyecto más eficiente posible.

## 1.2. Formulación del problema

### 1.2.1. Problema General:

¿De qué manera influye el Last Planner System en la mejora de la productividad de la planificación de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha?

### 1.2.2. Problema Especifico:

1. ¿De qué manera influye el Last Planner System en el cumplimiento del plazo estimado de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha?
2. ¿De qué manera influye el Last Planner System en el cumplimiento de actividades programadas (Master Plan) de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha?
3. ¿De qué manera influye el Last Planner System en el control de los costos estimados de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha?

### 1.3. Objetivos de la investigación

#### 1.3.1. Objetivo General:

Determinar la Influencia del Last Planner System en la mejora de productividad de la planificación de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha.

#### 1.3.2. Objetivo Especifico:

1. Determinar la Influencia del Last Planner System en el cumplimiento del plazo estimado de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha.
2. Determinar la Influencia del Last Planner System en el cumplimiento de actividades programadas (Master Plan) de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha.
3. Determinar la Influencia del Last Planner System en el control de los costos estimados de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha.

### 1.4. Justificación

#### 1.4.1. Justificación teórica

Esta investigación se realiza con el propósito de aportar conocimiento existente del Last Planner System para mejorar la productividad de la construcción, cuyos resultados se reflejan en el incremento de la confiabilidad de la planificación de la obra, frente a la planificación tradicional. Estos resultados se traducen en el cumplimiento de los plazos de la obra. Esta información servirá para realizar una correcta implementación del Last Planner System en obras similares.

#### 1.4.2. Justificación práctica

Esta investigación se realiza porque existe la necesidad mejorar la productividad de la construcción en el proyecto “Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha”, con el uso de nuevas herramientas (Last Planner System) que garanticen la confiabilidad de la planificación de la obra, frente a la planificación tradicional.

#### 1.4.3. Justificación económica

La necesidad de aplicar el Sistema Last Planner se justifica debido a que el usuario final (UNACEM), requiere producir lo antes posible mayores volúmenes de cemento para atender las necesidades de sus clientes, por ende, a menor plazo de construcción de la obra, mayores posibilidades de producir cemento para atender las necesidades de sus clientes.

#### 1.5. Limitantes de la investigación

Las principales limitantes correspondientes al alcance de la presente investigación son:

##### 1.5.1. Limitación Teórica

El caso de estudio corresponde en su totalidad a un proyecto de construcción, ejecutado por una única empresa, el cual presenta condiciones y características particulares, por lo tanto, los resultados serán muestra de este contexto productivo específico.

##### 1.5.2. Limitación Temporal

La presente investigación se llevó a cabo entre el mes de enero del 2020 y junio del 2021. Periodo en el cual se realizó la construcción del proyecto Nuevo enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha.

##### 1.5.3. Limitación Espacial

El presente trabajo de investigación se desarrolló dentro de las instalaciones la planta cementera UNACEM, unidad Condorcocha.

Específicamente en el proyecto Nuevo enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes**

#### **2.1.1 Antecedentes Nacionales**

Acosta & Tuesta (2016), en su tesis titulada Implementación del sistema Last Planner para la mejora de la productividad en la construcción de instituciones educativas públicas de nivel primario en zona de selva, tuvieron como objetivo principal reducir la gran brecha que existe en la construcción de colegios en nuestro país; en especial en los departamentos de la Selva del Perú; por lo que plantearon un proyecto de tesis enfocado en las empresas del sector construcción, desarrollada en el ámbito de la planificación y control de proyectos, que tiene como finalidad desarrollar e implementar en un proyecto piloto, acciones y estrategias; de modo tal que se mejore la productividad en la construcción de instituciones educativas públicas de nivel primario en zonas de Selva del Perú, con la implementación del Sistema Last Planner y algunas herramientas complementarias. Los autores realizan una investigación cuantitativa con el fin de analizar la mejora de la productividad en las construcciones educativas públicas a nivel primario en zona de selva del Perú, mediante el diseño e implementación de un sistema integral. Para ello, como parte de su metodología de investigación, utilizaron instrumentos como la observación directa, para llevar a cabo, en cada uno de los puestos que desempeñan las unidades de observación; la descripción de los datos recabados en la hoja de observación, los cuales sirvieron para el diagnóstico de la situación del actual sistema; la observación estructurada, apoyándose en elementos técnicos apropiados, tales como: fichas, cuadros y tablas; la entrevista, con la que se pudo conocer el punto de vista de diferentes partes involucradas en la discusión; y el trabajo de gabinete, para realizar la tabulación de los datos. Todos los instrumentos antes mencionados fueron realizados a una muestra de una población de la empresa Tuesta Consultores y Ejecutores E.I.R.L. que involucraban todos los sistemas de gestión por procesos constructivos. Luego de los

resultados de la investigación los autores implementaron la metodología Last Planner System. De todo esto, concluyen que este proyecto piloto donde se implementa el Sistema Last Planner con la finalidad de mejorar el sistema de gestión de abastecimiento, mejorar con el uso de sistemas constructivos, evitar costos de penalidades que oscilan entre el 8 y 15% del monto contractual de la obra y a la vez salvaguardar a la empresa de sanciones de inhabilitación por incumplimiento de contrato, es viable y puede replicarse en todos los proyectos de construcción de instituciones educativas públicas de nuestro país, en especial en la zona selva.

Chokewanka & Sotomayor (2017), en su tesis titulada Sistema Last Planner para mejorar la planificación en la obra civil del Centro de Salud Picota - San Martín, sustenta el impacto que tiene la implementación de una herramienta de gestión de productividad en el control y mejora de la construcción, mediante el diseño de un sistema de producción eficiente. Los autores tuvieron como objetivo demostrar que al implementar este sistema de planificación reducirá el tiempo de ejecución en la construcción del proyecto Centro de Salud Picota, lo que beneficiará a la población local. Para lograr esto, se utilizaron las siguientes herramientas: planificación maestra, planeamiento LookAhead y Porcentaje de Plan de Cumplimiento de las actividades programadas. Mencionan también que las capacitaciones al personal de obra y las Reuniones Semanales son el método a emplear para evaluar el estado del proyecto y cumplir con los objetivos del mismo. Para el desarrollo de esta tesis se ha requerido recolectar datos del personal involucrado en la ejecución del proyecto. También, se implementaron instrumentos de recolección de datos sobre la muestra que estaría compuesta por todo el personal operativo; ayudantes, oficiales, operarios, jefes de cuadrilla, capataces, maestros de obra, staff de obra y personal logístico quienes están involucrados en la ejecución de las obras civiles durante el periodo correspondiente. Para que esta planificación sea confiable, está basada en la teoría Lean Construction, en la cual se determinarán los resultados múltiples de la planificación. Adicionalmente, se contó con los planos del proyecto, presupuestos, metrados, planes de trabajo, ficha técnica de los materiales, documentos técnicos y económicos. Esta investigación demostró que luego de implementar el Sistema Last Planner, se terminó la obra civil un par de semanas antes del plazo establecido se revirtió al atraso en un 3.6%. Por ende, implementar el Sistema Last Planner en una obra de construcción puede reducir significativamente el tiempo y optimizar recursos en la

ejecución de la obra civil, permitiendo cumplir con los plazos establecidos en el expediente técnico del proyecto. También aumenta la confiabilidad de su planificación puesto que se corroboró un incremento de la productividad para los rendimientos, a pesar de que inicialmente estaba por debajo de lo previsto en el expediente técnico. Los autores concluyen que es importante la revisión de las herramientas del LPS semanalmente para la identificación de restricciones. Además, que los indicadores del LPS son herramientas de control que permiten medir la confiabilidad en el sistema.

Cornejo, Gonzales & Tapia (2017), en su tesis titulada Implementación de Last Planner System en actividades de concreto armado para proyectos de edificación industrial, tuvieron como objetivo evaluar el impacto de la implementación del LPS en el desempeño de un proyecto de edificación industrial con la finalidad de acondicionarlo dentro de las actividades de concreto armado en proyectos de edificación industrial. Resaltan que siempre se tienen problemas de planificación y a veces se renegocia las condiciones del contrato y no son capaces de ver y detectar los problemas que están causando los retrasos, la forma en que habitualmente planifican establece mecanismos de control, determina el diagrama de Gantt y es capaz de estimar la duración de cada uno de las actividades y determinan la relación de precedencia y ahí es donde está la debilidad de la programación tradicional porque muchos de esos supuestos nunca llegan a cumplirse y se descuida las actividades críticas, se hace uso ineficiente de los recursos pues no se tiene información y se trata de avanzar como se pueda y finalmente termina en un mal resultado económico que no es lo esperado, nos excedemos en el costo y en el plazo. Los autores realizan una investigación cuantitativa con el fin de analizar la mejora del desempeño de actividades sobre el concreto armado, mediante el diseño e implementación de un sistema integral. Para ello, como parte de su metodología de investigación, utilizaron instrumentos como la observación directa, publicaciones, revisión de archivos, investigaciones previas, datos históricos, entre otras, apoyándose en técnicas de procesamiento de datos tales como: cuadros y tablas, gráficos y diagramas y estimaciones. Todos los instrumentos antes mencionados fueron realizados a una muestra de población asociada a todas las actividades realizables sobre el concreto armado de proyectos de construcción Industrial. Finalmente concluyen que los principales problemas que se encontraron son de planificación, seguimiento y control de avance, que derivó en una deficiente anticipación

de los posibles problemas. Con el análisis completado de todos los problemas que ocurrieron con un posterior diagnóstico, se encontraron falencias del proceso de planificación actual. Por ello se propuso el uso del LPS con una programación intermedia de cuatro semanas de duración y programación semanal.

### 2.1.2 Antecedentes Internacionales

Koskela L. (1992). Application of The New Production Philosophy to Construction. En el presente artículo refiere la nueva filosofía de producción en el sector de la construcción, hoy existen las posibilidades de incrementar la productividad y reducir la variabilidad de las obras, al respecto, el autor señala la influencia de la filosofía Lean Production al sector construcción en los primeros años de cambio, teniendo conceptos de la planificación actual como es la mejora continua y el Just inTime, herramientas importantes para el nuevo sistema de planificación. También refiere que el sistema de producción está subdividido en sistemas conversiones y flujos, donde el sistema de modelo de flujo de procesos tiene como objetivo reducir o eliminar las actividades que no agreguen valor al producto terminado, mientras que el modelo de conversiones de procesos tiene como objetivo descomponer las actividades de un proceso de tal forma que puedan ser controladas y optimizadas.

Sabbatino, Alarcon, y Toledo (2011), en su investigación Análisis de indicadores claves para una exitosa implementación del sistema Last Planner en proyectos de edificación, buscan determinar recomendaciones mediante análisis estadísticos para lograr una exitosa implementación del Last Planner System a base de sus indicadores. Entre los objetivos de este trabajo se encuentra identificar indicadores que permitan desarrollar capacidades preventivas de retrasos junto con establecer las causas más recurrentes que generan atrasos durante la ejecución de proyectos. Para lograrlo buscaron información de diferentes proyectos de ingeniería. Se extrajeron datos e indicadores de un software de planificación y control de proyectos llamado IMPERA y desarrollado por GEPUC en base a la metodología del Last Planner. La información extraída corresponde a 15 proyectos, de los cuales 11 fueron edificaciones en altura. Los resultados de su investigación indican que hay una estrecha relación entre los indicadores CNC, PPC y PRC en el avance o retraso de los proyectos. Los autores concluyen que un buen PPC y la liberación de restricciones a

tiempo, son factores clave a considerar para obtener resultados a corto tiempo. También se muestran las principales causas de no cumplimiento originadas.

Angeli Gutiérrez (2017), en su tesis Implementación del sistema Last Planner en edificación (Universidad Andrés Bello – Chile) tiene como objetivo analizar los datos obtenidos a partir de la metodología Last Planner en dos edificios de altura de una empresa constructora, ubicados en la comuna de Las Condes y San Miguel. Para ello hace una recopilación bibliográfica, recolección de datos a partir de la implementación en obra y un análisis de resultados. La autora nos muestra que la implementación del Last Planner estabiliza los flujos de trabajo y disminuye la variabilidad incrementando la productividad, además, menciona que al tener una programación semanal confiable disminuye la diferencia entre lo programado y lo ejecutado. Nos dice también que este método no necesita mucha inversión, ni el uso de sofisticadas tecnologías, solo capital humano comprometido. Finalmente llega a concluir que el tiempo de ejecución de la obra dentro de lo planificado es de vital importancia, pues son los atrasos los que generan grandes pérdidas económicas y que puede llevar a que el proyecto sea un fracaso, ya que en el año 2016 se inicia la implementación sistema Last Planner en todas las obras de una empresa constructora de Santiago, de la cual se extrae los datos para esta investigación, con el fin de poder disminuir los atrasos y pérdidas que tantos problemas económicos estaban provocando.

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Base económico:

Este trabajo de investigación tiene un aporte de tipo económico debido a que implementando el Last Planner System conseguiremos mejorar la productividad en la construcción en este y cualquier otro proyecto similar de construcción, reduciendo la incertidumbre y los sobre, permitiendo aumentar las ganancias de los interesados.

### 2.2.2 Base humanístico:

El presente trabajo de investigación no solo muestra la preocupación por el estudio del trabajo y mejora de la productividad de la construcción, si no también aspectos relacionados con la conducta del hombre y su interacción con la sociedad dentro del ámbito laboral, cumpliendo con los objetivos del proyecto dentro de los plazos pactados.

### 2.2.3 Base filosófico:

En la actualidad estamos conscientes de las mejoras que se han implantado en la gestión de proyectos y de lo que presenta en el ser humano desde el punto de vista del cambio de mentalidad en la resolución de problemas, utilizando soluciones reflexivas y nuevas utilizando las nuevas herramientas tal como lo es el Last Planner System.

Este trabajo de investigación brindará un enfoque filosófico, debido a que adoptaremos la filosofía de productividad que nos ayudará a utilizar mejor nuestros recursos y en especial los recursos humanos, como lo demuestra el presente trabajo.

### 2.2.4 Base tecnológica:

En la actualidad la innovación tecnológica se designa por la incorporación del conocimiento científico y tecnológico, con el objeto de crear o modificar un proceso, desarrollar de sistemas de información, sistema de seguridad o algún tipo de sistema cuyo uso reemplace a los ya existentes por su robustez y fiabilidad; con la investigación tecnológica en las ciencias de la ingeniería se designa un ámbito de producción de conocimiento tecnológico validado, que incluye tanto el producto cognitivo, teorías, técnicas, tecnologías, maquinarias patentes, etc; la investigación tecnológica comprende con mayor énfasis transformación, cuyo fin es obtener conocimiento para lograr modificar la realidad en estudio, persiguiendo un conocimiento práctico; “La ciencia se ha convertido en el eje de la cultura contemporánea. Y, por ser el motor de la tecnología, la ciencia ha venido a controlar indirectamente la economía de los países desarrollados. Por consiguiente, si se quiere adquirir una idea adecuada de la sociedad moderna, es menester estudiar el mecanismo de la producción científica, así como la naturaleza de sus productos.” (Bunje, 1980).

Este trabajo de investigación aportará innovación tecnológica porque implementará una herramienta de la gestión de proyectos conocida como Last Planner System que ayudará a mejorar la productividad de la construcción, identificando las causas de una demora, retrasos o reprogramaciones en las diferentes actividades de la construcción.

## 2.3 Marco conceptual

### 2.3.1 Productividad

Serpell (2002) define la productividad como una medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un producto específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado. Por ejemplo, si aplicamos este concepto a la construcción tenemos que de nada sirve producir muchos metros cuadrados de muros de albañilería, utilizando muy eficientemente los recursos asignados, si estos muros tienen serios problemas de calidad, hasta el punto de que deben demolerse para posteriormente rehacerlos.

La productividad está asociada a un proceso de transformación en el que ingresan recursos necesarios para producir un bien, un material o un servicio y posteriormente, a través del proceso se obtiene un producto o un servicio cumplido. Los principales recursos empleados en los proyectos de construcción son: los materiales, la mano de obra y la maquinaria y equipos.

Para Ayala y Temoche (2017), la productividad en la construcción se puede hacer referencia a la eficacia de los recursos utilizados para completar un producto específico, dentro de un plazo establecido, puede ser expresado como la relación entre la cantidad producida (medido como m<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>, ml, kg, etcétera) y los recursos empleados (horas hombre, horas máquina, cantidad de materiales, etcétera), también comprende la utilización óptima de recursos y el cumplimiento de objetivos. Se podría decir entonces que a una mayor productividad existe una mayor producción, utilizando los mismos recursos.

Niebel y Freivalds (2001) escriben que el mejoramiento de la productividad se refiere al incremento de la producción por hora-trabajo o por tiempo gastado. Como base fundamental para el mejoramiento de la productividad se encuentran los recursos humanos, ya que estos son el capital más importante de toda la empresa.

#### Importancia de la productividad:

Niebel y Freivalds (2009) afirman que la única forma en que un negocio o empresa pueda crecer e incrementar sus ganancias es mediante el aumento de su productividad. Es decir, este concepto refiere que se debe incrementar las unidades producidas por unidad de tiempo de trabajo invertida.

Por otro lado, si volteamos a ver un proyecto, podemos inferir que la productividad es una pieza fundamental dentro del avance y ejecución de este, ya que es un indicador que evidencia la eficiencia en la ejecución de las actividades.

#### Factores que afectan la productividad:

Según Kanawaty (1996), la productividad en una empresa está afectada por factores externos e internos; los factores externos no se pueden controlar pues forman parte del entorno político económico global, de esta manera solamente los factores internos pueden ser sometidos y controlados por los directores de las empresas.

Factores que afectan negativamente la productividad:

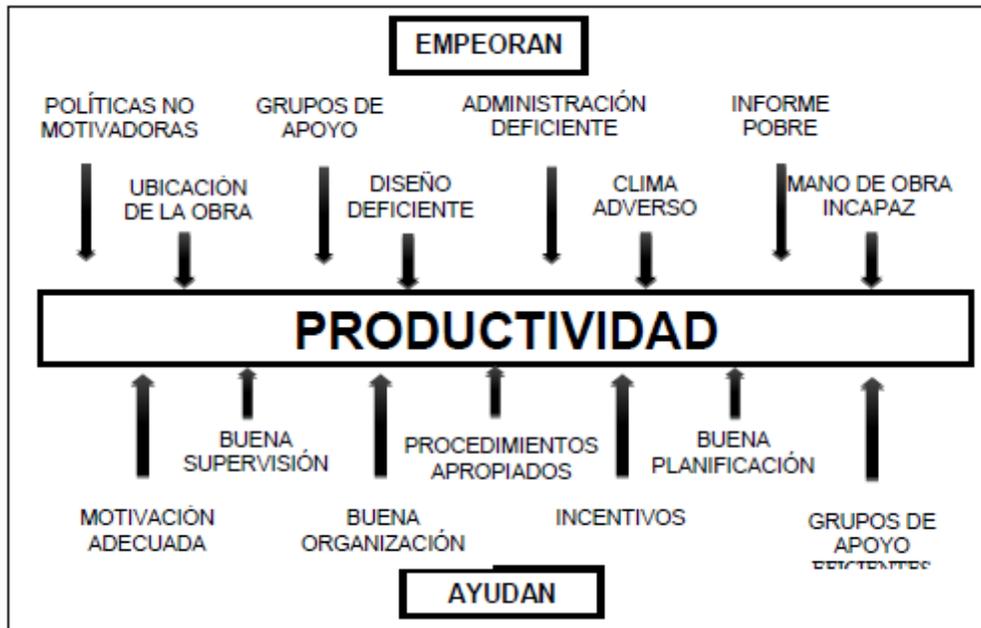


Gráfico 1: Productividad y sus factores  
 Fuente: Serpell (2002)

### 2.3.2 Planificación de un proyecto

Serpell & Alarcón (2001) en su libro Planificación y Control de Proyectos indican que, al iniciar un proyecto, es necesario definir los objetivos en cuanto a costos, tiempo y calidad de este. Para ayudar al planificador en esta tarea, se debe realizar un plan de trabajo para lograr un uso adecuado de los recursos disponibles. Sin embargo, existen planificadores renuentes a prepararlos por falta de tiempo o porque creen que pueden manejar las situaciones a medida que se originan, llevando muchas veces el proyecto al fracaso.

No obstante, aun cuando se ha fijado una planificación, existen diferentes razones por las cuales el proyecto puede fracasar y estas pueden ser: falta de compromiso de algún miembro del equipo, prioridades inapropiadas, falta de comunicación, mala definición de los objetivos, falta de división del proyecto en etapas, programa poco realista, programa financiero demasiado ajustado, mala asignación de mano de obra, entre otras.

Para conseguir un adecuado plan de trabajo es necesario plantearse y contestar las preguntas: Qué, Cómo, Por qué, Quién, Dónde, Cuándo, Cuánto. Estas preguntas sirven para definir de manera indirecta las etapas necesarias para la preparación de un plan de trabajo, siendo estas:

- a) Definición de los objetivos del proyecto.
- b) División del proyecto en actividades.
- c) Determinación de la secuencia de las actividades del proyecto.
- d) Asignación de responsabilidades en la ejecución de las actividades del proyecto.
- e) Estimación de la duración y el costo de las actividades para desarrollar un programa del proyecto.
- f) Preparación del presupuesto del proyecto.
- g) Reconciliación del plan del proyecto con las restricciones de recursos, tiempo y recursos financieros.

### Proceso de planificación

Según Serpell & Alarcón (2001), Cada proyecto tiene una fecha de inicio y una fecha de término que deben cumplirse contractualmente, llevar la obra a cabo en el plazo correspondiente es fundamental para obtener las utilidades esperadas. Para ejecutar un proyecto es necesario contar con una buena planificación, cuyas principales funciones son la organización, dirección y control de este, siendo todas igualmente importantes para conseguir eficiencia en cada punto.

El planificador necesita de todo el equipo de construcción para anticiparse a futuros eventos y tomar decisiones adecuadas y oportunas, estableciendo un plan confiable para materializar el proyecto, saber cuánto será el costo asociado de acuerdo a la cantidad y al uso eficiente de recursos asignados, las tareas y responsabilidades que debe asignar al equipo de trabajo, manteniendo la comunicación entre todos los involucrados, desde el que estudia la propuesta hasta el último obrero y así cumplir con las metas definidas.

Sin una planificación que sea confiable, probablemente el proyecto fracase, pues no es posible realizar un seguimiento y control adecuado, ya que no habría una comparación entre lo real y lo planeado.

Entre los profesionales de la construcción generalmente se cuestiona por lo rápido que una planificación queda obsoleta, porque se requiere mucho tiempo para su realización, o porque no provee ningún beneficio concreto.

### Tipos de planificación

Campero y Alarcón (2008), en su libro Administración de Proyectos Civiles, afirman que la planificación de un proyecto consta de tres etapas (planificación maestra, intermedia y operacional), las cuales se diferencian por su oportunidad, nivel de antecedentes, alcance, grado de detalle y vigencia durante el proceso de ejecución.

- **Planificación Maestra**  
Es una etapa donde se recoge toda la información que requiere el proyecto, sólo están las actividades más gruesas y el principal objetivo es contar con un informe de factibilidad de este.
- **Planificación Intermedia**  
En esta etapa se define el tamaño, plazo de ejecución, fechas importantes, bases generales de organización, monto de la inversión y fuentes de financiamiento. Aquí se da origen al programa maestro y presupuesto oficial, elementos fundamentales para la coordinación y control de las actividades de los diferentes grupos de trabajo.
- **Planificación operacional**  
Etapa donde se conforman los programas de trabajo de cada área y donde es conveniente manejar un programa general, trimestral y quincenal de trabajo.

### 2.3.3 Filosofía Lean

Según el Lean Construction Institute (ILC), Lean es una filosofía que trata más de una forma de pensar que una forma de hacer, se enfoca en desarrollar proyectos maximizando el valor y minimizando el desperdicio

agregando valor para el cliente con menos recursos. Para lograr esto, una organización debe encontrar y entender aquello que genera valor para el cliente para luego, concentrarse en el flujo del producto, y así aplicarle la mejora continua, optimizando aquellos procesos que generarán mayor valor para el cliente y minimizando o eliminando aquellos que no lo hacen y por el contrario generarán pérdidas (Porras Díaz, Sánchez Rivera, & Galvis Guerra, 2014).

La filosofía Lean, entonces, se enfoca en el cliente y en el flujo de producción de un producto. Dando como objetivo de optimizar y diseñar sistemas de producción para minimizar o eliminar el desperdicio de materiales y la excesiva producción de residuos, con el fin de generar la cantidad máxima de valor en la producción final (Porras Díaz, Sánchez Rivera, & Galvis Guerra, 2014).

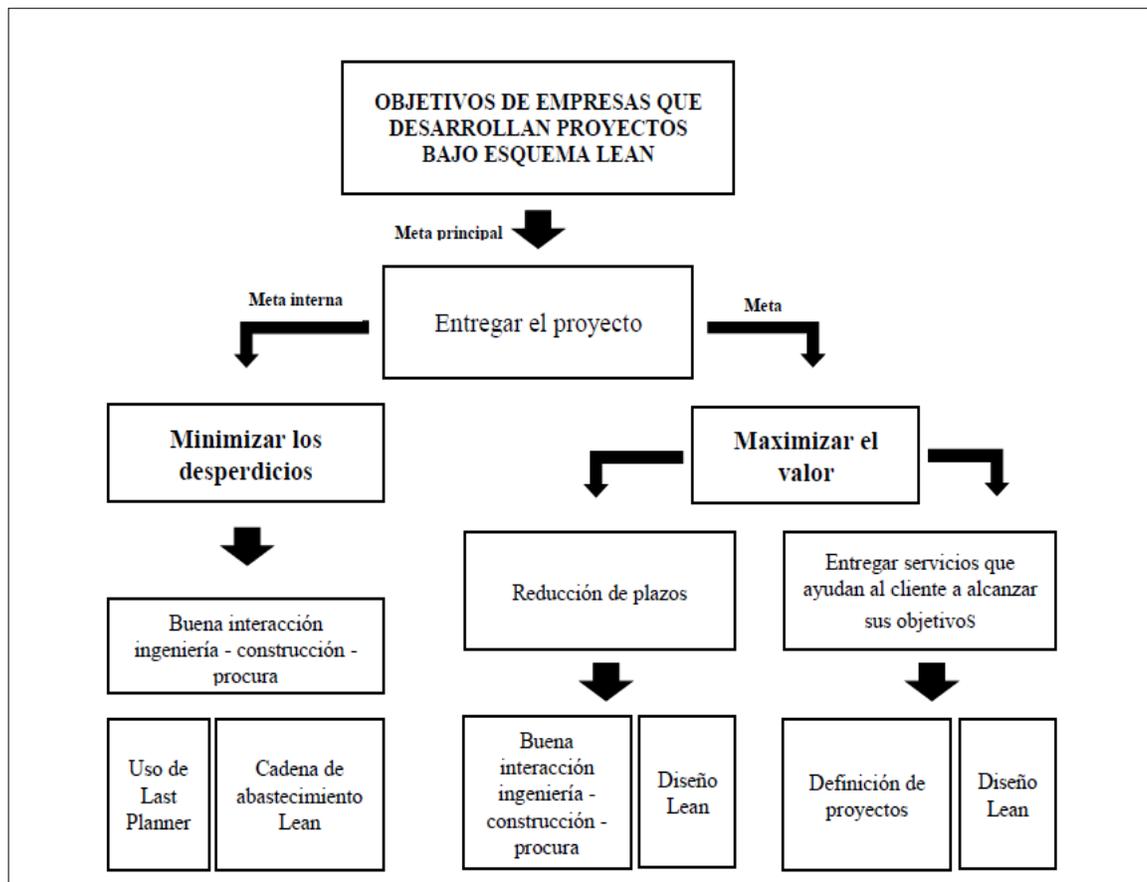


Gráfico 2: Esquema de objetivos bajo la filosofía Lean  
Fuente: (Campos Deza & Guadaña Chacón, 2019)

## Origen del pensamiento Lean

Lean Production desarrollado por Toyota Motors Company, después de la Segunda Guerra Mundial, es un sistema que trabaja bajo la eliminación de pérdidas, logrando producir a bajos costos y volúmenes limitados, ya que utiliza menos de todo comparado con la producción en masa: menos tiempo de fabricación, menor esfuerzo humano, inversión y espacio (Angeli Gutiérrez, 2017).

A principios del siglo XX en Japón, Sakichi Toyoda, fundador del grupo empresarial Toyota, inventa un dispositivo en su telar automático que detenía el funcionamiento de éste cada vez que un hilo se rompía, permitiendo que los trabajadores se dedicaran a procedimientos de mayor valor y no estar pendientes de controlar las máquinas.

Su hijo, Kiichiro Toyoda, decretó que las operaciones en la empresa no deberían tener exceso de inventarios y bajo el liderazgo de Taiichi Ohno, jefe de producción de Toyota, quien dirigió esta área entre la década del 50 y 60, desarrollaron un sistema de producción que fabrica y entrega justo lo que se necesita, cuándo y cuánto (Campos Deza & Guadaña Chacón, 2019).

Según Taiichi Ohno existen 7 desperdicios que causan la mayor parte de las interrupciones del flujo dentro de la cadena en la planta de producción que él mismo dirigía, estos son: sobreproducción, esperas o tiempo de inactividad, transporte innecesario, sobre procesamiento, exceso de inventario, movimientos innecesarios y defectos de calidad (Angeli Gutiérrez, 2017).

Fue así como nace el Sistema Toyota, a partir de una necesidad: producir cantidades justas, con variedad y en condiciones de escasa demanda, en comparación con el sistema de producción en masa que triunfaba en Estados Unidos, basándose en dos pilares fundamentales, cuyo origen fue descrito anteriormente: el Jidoka, metodología japonesa que se centra en la verificación de calidad en las líneas de producción y el Just-in-Time (JIT), un sistema de flujo de información y materiales para controlar la sobreproducción (Campos Deza & Guadaña Chacón, 2019).

## Origen de Lean Construction

La aplicación de los principios y herramientas del sistema Lean a lo largo de un proyecto de construcción se conoce como Lean Construction o construcción sin pérdidas, término que fue acuñado por los fundadores del Grupo Internacional de Lean Construction (IGLC) en 1993. Sin embargo, fue el finlandés Lauri Koskela en 1992 en su documento “Application of the new Production Philosophy to Construction” quien estableció los fundamentos teóricos del nuevo sistema de producción, basado en el sistema Toyota y la filosofía Lean, aplicado a la construcción (Serpell & Alarcón, 2001)

Este método busca la excelencia a través de un proceso de mejora continua en la empresa, que consiste fundamentalmente en minimizar o eliminar todas aquellas actividades y transacciones que no añaden valor, a través de la optimización de recursos y la maximización de la entrega de valor al cliente, para diseñar y producir a un menor coste, con mayor calidad, más seguridad y con plazos de entrega más cortos, dentro de un marco ecológico con el entorno (Serpell & Alarcón, 2001).

Los principios que propone Koskela en su texto, se resumen en lo siguiente (Angeli Gutiérrez, 2017):

- a) Incrementar la eficiencia de las actividades que agregan valor.
- b) Reducir la participación de actividades que no agregan valor.
- c) Incrementar el valor del producto a través de la consideración sistemática de los requerimientos del cliente.
- d) Reducir la variabilidad.
- e) Reducir el tiempo de ciclo.
- f) Simplificar procesos.
- g) Incrementar la flexibilidad de la producción.
- h) Incrementar la transparencia de los procesos.
- i) Enfocar el control al proceso completo.
- j) Introducir la mejora continua de los procesos.
- k) Mejorar continuamente el flujo.

l) Referenciar permanentemente los procesos (“benchmarking”).

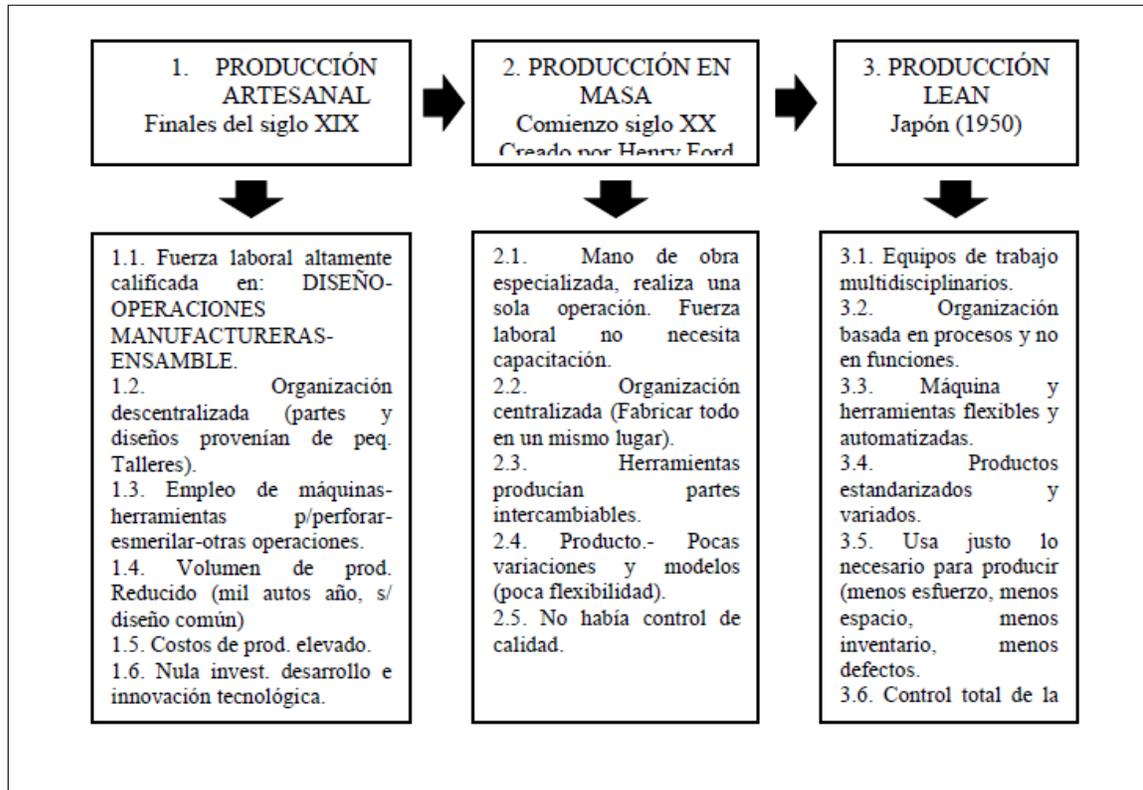


Gráfico 3: Evolución de los sistemas de producción

Fuente: (Campos Deza & Guadaña Chacón, 2019)

### Conceptos básicos del Lean Construction

Lean Construction es una filosofía de trabajo sin pérdidas que utiliza algunas definiciones importantes en la industria de la construcción, siendo manejada con una visión de transformación: (Campos Deza & Guadaña Chacón, 2019)

- a) Producción: proceso de Transformación.
- b) Productividad: es la relación de lo producido entre los recursos utilizados.
- c) Rendimiento: es la cantidad producida por unidad de tiempo (velocidad de avance).

### Lean Construction en el mundo

La Filosofía Lean Construction se desarrolla en el mundo con grandes beneficios y optimizaciones en la industria de la construcción.

Países con alta participación en la implementación del Lean Construction antes del año 2000 (Campos Deza & Guadaña Chacón, 2019):

Brasil	Noruega
Chile	Suecia
Dinamarca	Reino Unido
Finlandia	estados Unidos

Países donde se está iniciando la participación en la implementación del Lean Construction (Campos Deza & Guadaña Chacón, 2019):

Canadá	Francia
México	Portugal
Ecuador	Corea del Sur
Colombia	Japón
Perú	Israel
España	China
Alemania	India
Nigeria	

### Implementación de Lean Construction

La aplicación de este nuevo modelo productivo en la construcción surgió a nivel académico hace 20 años y a nivel de implementación se está manifestando más intensamente desde el 2007, principalmente en Estados Unidos, donde diversos estudios y análisis realizados hasta ahora revelan que las empresas que ya aplican esta filosofía de producción han obtenido altos niveles de rendimiento en cuanto a reducción de costes, incremento de la productividad, cumplimiento de los plazos de entrega, mayor calidad, incremento de seguridad, mejor gestión del riesgo y mayor grado de satisfacción del cliente. Este sistema fomenta el trabajo en equipo, mejora la comunicación, facilita la visión del conjunto de todo el proceso, ayuda a la identificación temprana de errores seguida de una resolución eficaz y rápida de problemas, y conduce hacia una mayor autogestión (Pons Achell, 2014).

En el año 2001, la Universidad Católica de Chile crea el “Centro de Excelencia en Gestión de la Producción” (GEPUC), cuyo director es Luis Alarcón Cárdenas, miembro fundador del International Group for Lean Construction (IGLC). Este centro y la Cámara Chilena de la Construcción han puesto en práctica este programa junto a una serie de empresas nacionales, con el motivo de mejorar la gestión de producción en las empresas constructoras chilenas. Estas experiencias han sido demostradas por el éxito alcanzado por las versiones europeas y norteamericanas del Lean Construction Institute (LCI) y del Lean Enterprise Institute (LEI) como medida para desarrollar investigación en gestión de producción (Campero Quezada & Alarcón Cárdenas, 2008).

En el gráfico 4 se muestra un comparativo entre el sistema de producción tradicional vs un sistema con implementación Lean.

<i>TRADICIONAL</i>	<i>LEAN</i>
El diseño de producto se termina y después empieza el diseño de proceso.	Productos y procesos son diseñados conjuntamente.
No todas las etapas del ciclo de vida del producto son consideradas durante el diseño.	Todas las etapas del ciclo de vida del producto son consideradas durante el diseño.
Las actividades se llevan a cabo tan pronto como sea posible	Las actividades se llevan a cabo al último momento responsable (last responsible moment).
Participantes acumulan gran cantidad de inventarios para proteger sus propios intereses.	“Buffers” son dimensionados y colocados estratégicamente para absorber variabilidad en el sistema de producción.
Aprendizaje ocurre esporádicamente. No es sistemático.	Aprendizaje es incorporado en el manejo de proyectos, empresas, y de las cadenas de provisión (supply chain management).

Gráfico 4: Ventajas entre sistema de producción tradicional vs Lean  
Fuente: (Campos Deza & Guadaña Chacón, 2019)

#### 2.3.4 Variabilidad

La Variabilidad es la ocurrencia de eventos distintos a los previstos o planeados por efectos internos o externos al sistema, es muy difundido en Ingeniería industrial, prácticamente desconocido en los proyectos de construcción en nuestro caso Infraestructura. Este desconocimiento nos da como consecuencia a que nos acostumbremos a convivir con los resultados indeseados y los consideremos como parte de la operación siendo así la principal fuente de pérdidas en la construcción (Vitteri Sarmiento, 2007).

Es por ello en la actualidad los proyectos de Infraestructura vial no se puede eliminar la variabilidad, pero se puede controlar o mitigar su impacto de tal forma que podamos integrar herramientas que nos ayuden a manejarla (Vitteri Sarmiento, 2007).

Las fuentes de variabilidad más comunes son (Vitteri Sarmiento, 2007):

- Cambios en ingeniería
- Cambios del cliente
- Diferentes tipos de productos en el proyecto
- Disponibilidad de la mano de obra
- Fallas mecánicas
- Falta de materiales
- Retrabajos
- Trabajos defectuosos
- Transporte de materiales
- Falta de información

Sin embargo, a lo que tiende esta nueva conceptualización de la construcción es a considerar nuestro sistema productivo como un flujo de trabajo, con un objetivo final que para ser alcanzado requiere muchos ciclos repetitivos idénticos, como en obras de edificaciones, movimiento de tierras, etc., básicamente realizados sobre la misma base de conocimiento acumulado con el tiempo. Así el reto está planteado para lograr mejorar y predecir nuestros tiempos de entrega con una consiguiente reducción de los costos de producción en la construcción, no será fácil y de hecho será

un gran trabajo debido a las peculiaridades de la construcción descritas extraordinario (Vitteri Sarmiento, 2007).

Podemos agrupar las fuentes de variabilidad mencionadas en variabilidad natural y variabilidad inducida (Vitteri Sarmiento, 2007).

- a) Variabilidad natural: La variabilidad natural está muy relacionada con las operaciones llevadas a cabo por personas o por causas naturales (Cambio Climáticos, Desastres naturales, etc.) son eventos que no se pueden predecir, pero suceden de una u otra forma y esto afecta al flujo de trabajo en todas las actividades de la obra es por ello que se utilizan para mitigar este tipo de variabilidad los buffers de tiempo (Vitteri Sarmiento, 2007).
- b) Variabilidad inducida: Variabilidad debido a paralizaciones imprevistas. Es la que se produce debido a paralizaciones de trabajo imprevistas, como fallas mecánicas, falta de materiales o insumos, originado por una mala planificación o carencia de la cadena de abastecimiento, carencia de un apropiado análisis de restricciones, emergencias, etc. (Vitteri Sarmiento, 2007).
- c) Variabilidad debido a paralizaciones previstas: Cuando se cambia de un frente de trabajo a otro, o de un lote de producción a otro, se está cumpliendo en realidad con parte del programa de avance y es inevitable hacerlo; pero sobre este tipo de paralización tenemos un cierto control pues son nuestras decisiones las que determinan el tamaño del lote de producción, el tamaño del lote de transferencia y la secuencia de los procesos (Vitteri Sarmiento, 2007).
- d) Variabilidad por retrabajos: Cuando se tiene problemas de calidad se incurre en actividades que no agregan valor: retrabajos. Esto implica volver a trabajar algo que ya ha sido procesado porque no cumple con las especificaciones necesarias. Los retrabajos van contra la capacidad real de un proceso de trabajo y disminuyen su productividad puesto que no existe productividad sin calidad. Por ejemplo, si usualmente toma 2 horas producir 4 partes de un encofrado, y luego notamos que 1 de ellas no está conclusión, genera más congestión en la línea de producción (Vitteri Sarmiento, 2007).

### 2.3.5 Last Planner System (LPS)

Lean Construction Institute Perú en su página web define Last Planner System como el conjunto de documentos elaborados por el Comité de Normas LCI para ayudar a los miembros con la implementación de Last Planner®. Asimismo, Last Planner® es un sistema de planificación de producción diseñado para producir flujos de trabajo predecibles y un rápido aprendizaje en la programación, diseño, construcción y puesta en marcha de proyectos. LCI otorga licencias para el uso de estos procesos a varias organizaciones, incluyendo a sus comunidades de práctica como LCI Perú (LCI Perú, 2019).

El principal objetivo de Last Planner es la estabilización de la producción mediante la reducción de la variabilidad de la producción, entendiendo el control como las acciones tendientes a posibilitar la ejecución de las actividades de acuerdo al plan, estableciendo un mecanismo proactivo de control de la producción, reduciendo la brecha entre la producción y lo planificado (Ballard, 2000).

La planificación tradicional con los métodos de ruta crítica no controla la variabilidad, en cambio el LPS, al agregar un componente de control de la producción a la gestión tradicional de proyectos, puede entenderse como un mecanismo para la transformación de lo que debe hacerse en lo que se puede hacer, formando así planes de trabajos semanales a través de asignaciones (Campos Deza & Guadaña Chacón, 2019).

Este nuevo sistema (LPS) agrega al nivel de planificación existente: la planificación general de la obra o Plan Maestro, otros tres niveles de planificación: programa de fase, planificación intermedia y planificación semanal. El plan se va afinando de acuerdo a la consideración cuidadosa de lo que DEBERÍA hacerse y lo que efectivamente PUEDE realizarse. A diferencia de la planificación convencional, esta nueva forma de planificar selecciona lo que DEBE realizarse para completar el proyecto y decidir en un marco de tiempo lo que SERÁ hecho. Reconociendo que, a raíz de las limitaciones de recursos, no todo PUEDE ser hecho. Por consiguiente, si lo que DEBE realizarse se determina el subconjunto de lo que PUEDE ser hecho, y a la vez de lo que PUEDE realizarse se determina el subconjunto de lo que SERÁ realizado, entonces existe una alta probabilidad que lo que se ha planificado sea completado con éxito (Campero Quezada & Alarcón Cárdenas, 2008).

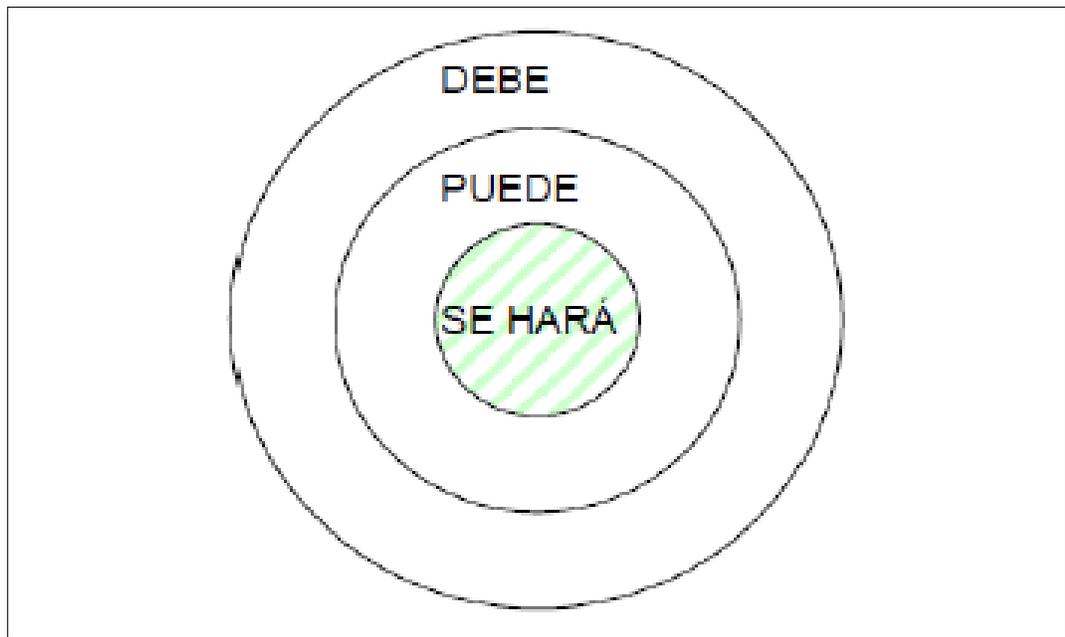


Gráfico 5: Diagrama de una planificación ideal

Fuente: (Campero Quezada & Alarcón Cárdenas, 2008)

Una vez que el espectro de actividades posibles de ejecutar se amplía, el foco central en la implementación de Last Planner es la generación de compromisos confiables de producción por parte de quienes ejecutan el trabajo, seleccionando sólo actividades libres de restricciones (Ballard & Howell, 1994).

El objetivo es aumentar la probabilidad de ejecución del plan, entregar la responsabilidad de la decisión de la planificación al último nivel de planificación, en donde las asignaciones de trabajo son directamente generadas (Ballard & Howell, 1994).

Last Planner permite e incentiva a los integrantes del equipo establecer, articular y activar una red de compromisos de producción para dar cumplimiento a los objetivos del proyecto. Los compromisos de producción confiables posibilitan un flujo de trabajo confiable (Macomber & Howell, 2003).

### Falencias existentes en la Planificación Tradicional

El método de planificación tradicional está basado en el cumplimiento de una programación maestra inicial, la cual involucra distintos recursos, espacio y tiempo por cada actividad a ejecutar. Sin embargo, no considera que existan actividades que no podrán ser ejecutadas, aunque estén programadas, debido a que puede faltar algún prerrequisito que impida su ejecución en la fecha programada. Entonces en este punto comienzan los problemas, ya que si consideramos en nuestro plan inicial actividades que no serán ejecutadas, en su momento se generará un retraso en todo el tren de actividades sucesoras, además de consumir recursos innecesarios en actividades que no se llevarán a cabo.

De lo indicado en el párrafo anterior podemos notar que, si asignamos recursos a lo que debemos hacer, estamos cayendo en el error mencionado líneas arriba; entonces lo que hay que hacer es asignar recursos solo a lo que podemos ejecutar.

En ese sentido Last Planner System propone: considerar lo que se debe y lo que se puede hacer y en función de eso determinar lo que se hará.

### Planificación mediante Last Planner System

Este sistema parte de la tradicional programación maestra de toda la obra, la cual usa como un referente de hitos; luego, baja a una programación por fases, por ejemplo: excavaciones, cimentación, casco, instalaciones de agua y desagüe, entubados eléctricos, etc. (esto es lo que DEBERÍA hacerse); después abre una ventana de programación de 4 a 6 semanas (analizando lo que realmente se PUEDE hacer), denominada Lookahead, donde se aplica un análisis de restricciones; y finalmente, recién se pasa a una programación semanal (lo que finalmente se HARÁ), la cual será más confiable por haber sido liberada de sus restricciones. Una vez realizados los trabajos (lo que se HIZO), los planificadores son retroalimentados con el Porcentaje de Planificación Cumplida (PPC) y con las Razones de no cumplimiento (RNC). (Orihuela & Ulloa, 2011)

El gráfico 6 esquematiza estos pasos, los que luego se explican con mayor detalle:



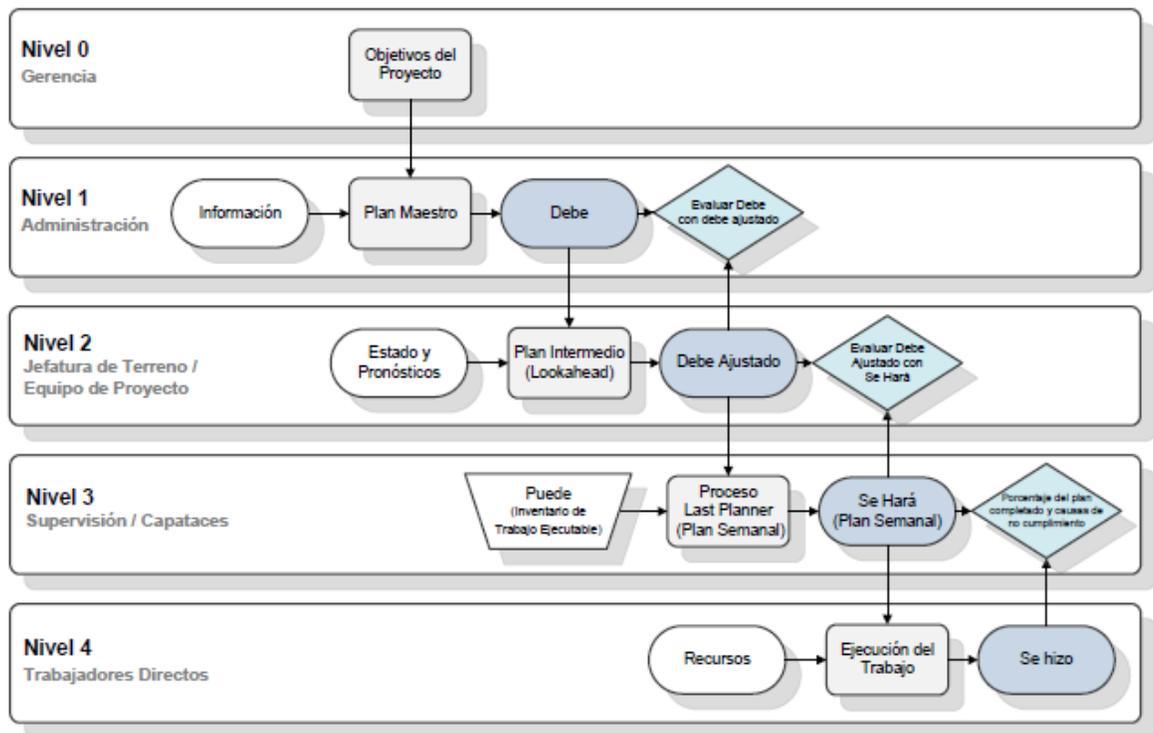


Gráfico 7: Proceso Last Planner  
Fuente: (Ballard & Howell, 1994)

A) Planificación Maestra:

Consiste en plantear los hitos que se requieren para cumplir con los objetivos propuestos. Aquí se trabaja a nivel de grupos de actividades (fases) y se hace la programación para todo el proyecto. Esta programación puede estar sujeta a modificaciones y ajustes de acuerdo al estado del proyecto (comienzos, secuencias, duraciones, etc.). (Orihuela & Ulloa, 2011).

B) Planificación por Fases:

Consiste en detallar las actividades que serán necesarias para ejecutar una fase del proyecto. En este tipo de planificación se usa la Técnica del Pull, para lo cual se recomienda la programación reversa, es decir, se trabaja de atrás (actividad final de una fase) hacia adelante (actividad inicial de la fase). Esto ayuda a determinar los trabajos que son necesarios para cumplir el objetivo de la fase. Los involucrados deben reunirse para llevar a cabo la planificación de estas actividades. Una práctica

recomendada por el Lean es trabajar en una pizarra con la ayuda de "post it" donde se escriben las tareas que deben ejecutar o que otros deben hacer para cumplir un objetivo. Estos son pegados y ordenados de acuerdo a la secuencia de trabajo. Asimismo, una vez que se ha planteado la secuencia, se comienza a calcular la duración del trabajo. Se debe buscar que los tiempos que se den sean lo suficientemente holgados para absorber cualquier variabilidad. Los beneficios de esta parte de la programación son (Orihuela & Ulloa, 2011):

- El equipo entiende mejor el proyecto.
- El equipo tiene la oportunidad de conocerse más.
- Cada miembro sabe lo que los otros necesitan para llevar a cabo sus tareas.
- Todos entienden lo que se debe hacer y cuándo hay que hacerlo.

#### C) Planificación Intermedia (Lookahead):

En este nivel la planificación se trabaja con actividades que abarcan un periodo de 4 ó 6 semanas. Los "Last Planner" seleccionan y desgregan las actividades en asignaciones, para posteriormente hacer un análisis de restricciones. El objetivo es producir asignaciones liberadas y listas para poder programarse semanalmente. Los pasos que se deben seguir son los siguientes (Orihuela & Ulloa, 2011):

- Seleccionar aquellas actividades que se sabe que se podrían realizar cuando se programen. Tomar en cuenta si existen cambios en el diseño, temas sin resolver, disponibilidad de materiales y la probabilidad de que las actividades previas puedan ser terminadas cuando se necesiten.
- Dividir las actividades en asignaciones. Una asignación es una orden directa de trabajo y, por lo tanto, es el nivel más bajo de la planificación.
- Mantener un grupo de asignaciones denominado "trabajo de reserva", el cual es un "buffer" para mantener la eficiencia de la labor si las actividades planeadas no se pueden ejecutar o si el personal termina antes de lo previsto.

- Equilibrar la cantidad de trabajo por hacer con la capacidad que se tiene en obra.
- Listar los requisitos que se deben tener en cuenta para ejecutar las asignaciones en la semana que se han programado.
- Los factores para tomar en cuenta en el análisis de restricciones son: el cumplimiento de las tareas precedentes, el diseño y especificaciones de los detalles constructivos, la disponibilidad de componentes y materiales, la disponibilidad de mano de obra, de equipo, de espacio y la consideración de posibles impedimentos por condiciones externas.

Para cumplir las funciones antes mencionadas se definen los siguientes procesos específicos:

Definición de actividades:

Para preparar la Planificación Lookahead, se descomponen las actividades del Programa Maestro, que estén contenidas dentro del intervalo de tiempo definido, en actividades más concretas, con objeto de identificar con mayor precisión las restricciones que nos impiden realizarlas, entendiendo por restricción algo que limita la manera en que una actividad es ejecutada.

Las restricciones asociadas a cada una de las actividades definidas en la Planificación Lookahead permiten determinar si la actividad puede ejecutarse o no (Nieto Morote, Ruz Vila, & Nieto Morote, 2009).

Análisis de restricciones:

Identificadas las actividades y sus restricciones, se realiza el análisis de las restricciones. Este análisis no se limita poner un “sí” o un “no” a la posibilidad de ejecutar una actividad, sino que también implica proponer los medios para eliminar las restricciones identificadas. Se puede dividir en dos etapas (Nieto Morote, Ruz Vila, & Nieto Morote, 2009):

- a. Revisión de restricciones.

- b. Se determina el estado de las actividades de la Planificación Lookahead con respecto a sus restricciones: posibilidad de eliminarlas antes del comienzo programado de la actividad, o necesidad de adelantarlas o retardarlas con respecto al Programa Maestro.
- c. La revisión de las restricciones asociadas a cada actividad es la primera oportunidad que se presenta en el sistema para establecer el flujo de trabajo, ya que se pone de manifiesto que existen actividades que, llegado el momento de ejecutarlas, no podrían realizarse por tener restricciones que lo impiden.
- d. La revisión no sólo se realiza cuando se identifican las actividades a considerar en la Planificación Lookahead, sino que se repite en cada ciclo de planificación, cuando se actualiza la planificación Lookahead y se incorpora una nueva semana.
- e. Preparación de Restricciones.
- f. Se toman las acciones necesarias para eliminar las restricciones o limitaciones de las actividades, para que así puedan comenzar en el momento determinado.

El proceso de preparación de restricciones puede dividirse en tres

etapas:

- Confirmar el “tiempo de respuesta”. La eliminación de una restricción de una actividad comienza por determinar quién es el último involucrado en eliminar la última restricción de esa actividad y determinar cuál es el tiempo de respuesta más probable para comenzar la siguiente actividad. Este tiempo de respuesta debe ser más corto que la ventana Lookahead o la actividad no será admitida en este programa. Sin embargo, eventos imprevistos siempre pueden presentarse, por lo que el contacto con los contratistas/proveedores es un elemento fundamental en el proceso de preparación. La confirmación de los tiempos de respuesta es parte del proceso de revisión y debe ser repetido durante la actualización semanal del programa de planificación intermedia.

- Identificar necesidades específicas. Pedir a los departamentos o entidades que participan en la ejecución de una actividad certeza sobre sus necesidades para completar con prontitud la actividad asignada.
- Reasignar recursos: Si el período de respuesta anticipado es demasiado largo, entonces puede ser necesario asignar recursos adicionales para acortarlos.

#### Determinación del Inventario de Trabajo Ejecutable (ITE):

El inventario de trabajo ejecutable está compuesto por todas las actividades de la planificación Lookahead que poseen alta probabilidad de ejecutarse, debido a que se han eliminado sus restricciones.

Las actividades del Inventario de Trabajo Ejecutable pueden ser clasificadas en tres grupos (Nieto Morote, Ruz Vila, & Nieto Morote, 2009):

- Actividades con restricciones eliminadas, que pertenecen al ITE de la semana en curso que no pudieron ser ejecutadas.
- Actividades con restricciones eliminadas, que pertenecen a la primera semana futura que se desea planificar.
- Actividades con restricciones eliminadas, que pertenecen a la segunda semana futura que se desea planificar o semanas posteriores (situación ideal de todo planificador).

#### Equilibrio entre carga y capacidad:

El equilibrio de carga y capacidad dentro de un sistema de planificación es crítico para la productividad de las unidades de trabajo y para plazo de ejecución.

En la planificación Lookahead se asigna a cada unidad de trabajo las actividades a ejecutar. Para lograr la finalización del trabajo, se requiere la estimación de la carga y la capacidad de todas las unidades de trabajo involucradas en la planificación (Nieto Morote, Ruz Vila, & Nieto Morote, 2009).

La carga puede sufrir un cambio para equilibrar la capacidad, ésta puede ser modificada para ajustarse a la carga o una combinación de las dos. Considerando las ventajas de mantener una mano de obra estable y evitar cambios frecuentes, la preferencia es generalmente adaptar la carga a la capacidad. Sin embargo, no puede ser así cuando haya apremios, hitos previstos o fechas finales.

El arrastre ayuda a equilibrar la carga pues las unidades de trabajo identifican sus necesidades, requerimientos y la cantidad de ellos (Nieto Morote, Ruz Vila, & Nieto Morote, 2009).

#### D) Planificación Semanal:

De las actividades y asignaciones que se tienen listas, se deben seleccionar aquellas que entrarán en la ventana de programación semanal. Se debe tener en cuenta la prioridad, la secuencia del trabajo y si se tienen en campo todos los recursos. (Orihuela & Ulloa, 2011).

#### E) Porcentaje de actividades completadas y razones de no cumplimiento:

Es necesario medir el cumplimiento de cada Plan de Trabajo Semanal para estimar su calidad, identificar fallos e implementar mejoras. La medida de la fiabilidad del sistema de planificación se basa en el cálculo del Porcentaje de Actividades Completadas definido como el porcentaje de actividades ejecutadas durante la semana con respecto a las planificadas.

El PAC se transforma en un patrón estándar para el control ejercido sobre la unidad de trabajo, derivado de un conjunto sumamente complejo de directrices: programas del proyecto, estrategias de ejecución, presupuestos, etc. Los proyectos de altos estándares de calidad presentarán mayores PAC, correspondientes a realizar mejores trabajos con los recursos dados (Nieto Morote, Ruz Vila, & Nieto Morote, 2009).

El análisis de no cumplimiento de la planificación puede conducir a encontrar las causas del origen de la no conformidad. La primera medida necesaria para mejorar la realización del proyecto es la identificación de las causas de no cumplimiento de los supervisores, Ingenieros del proyecto o los constructores, directamente responsables de la ejecución del plan (Nieto Morote, Ruz Vila, & Nieto Morote, 2009).

Los motivos podrían ser:

- a) Órdenes o información defectuosa proporcionada al Last Planner; por ejemplo, el sistema de información de forma incorrecta indicó que el trabajo previamente necesario estaba terminado.
- b) Fracaso en aplicar criterios de calidad de asignaciones; por ejemplo, planificar demasiado trabajo.
- c) Fracaso en coordinación de recursos compartidos; por ejemplo, carencia de una grúa en el momento preciso.
- d) Error de diseño o error de alguna especificación descubierta en el intento de realizar una actividad planificada.

Todo lo descrito con anterioridad proporciona los datos iniciales necesarios para el análisis y la mejora del PAC, por lo tanto, para mejorar el desempeño del proyecto.

### Estrategia para una metodología de Implementación del sistema Last Planner

La implementación del sistema Last Planner en una empresa de ingeniería supone un cambio radical en la forma de abordar la gestión del proyecto y, por tanto, en la mentalidad de los participantes en el proyecto. (Nieto Morote, Ruz Vila, & Nieto Morote, 2009)

Es necesario definir una estrategia para la implementación de este sistema de gestión. Las fases más importantes de esta estrategia serían (Nieto Morote, Ruz Vila, & Nieto Morote, 2009):

Fase I: Uno de los factores críticos en la implementación del sistema Last Planner es la capacitación, la cual proporciona los conocimientos necesarios que permiten que el personal de cualquier proyecto realice buenas prácticas. La capacitación es un proceso fundamental para producir un cambio en la visión de los agentes del proceso.

Fase II: Desarrollar iniciativas que promuevan la implementación. Es necesario identificar y seleccionar los incentivos que conduzcan a promover y aumentar las acciones que lleva asociadas la utilización de un nuevo sistema de gestión dentro de sus organizaciones.

La implementación de nuevas metodologías dentro de una organización requiere grandes niveles de compromiso y participación. Para obtener estos compromisos, es fundamental la investigación de los motivos y factores que resultan críticos en la puesta en marcha de este nuevo sistema de gestión. Las etapas propuestas para lograr este objetivo son:

Etapa 1: Identificar un sistema de incentivos, que facilite la implementación del sistema de gestión.

Los jefes del proyecto o los líderes de cada especialidad son claves, para generar el compromiso con el fin de eliminar las barreras para promover la implementación. Es fundamental para los participantes en el proceso tener un conocimiento suficiente de los conceptos de la nueva metodología y el plan de puesta en marcha. Se deben definir las funciones de cada participante, sus responsabilidades y niveles de autoridad de los jefes de proyecto y/o profesionales cuya participación sea crítica.

Etapa 2: Provocar en las empresas un cambio en la forma de ver las cosas.

La interacción directa entre los involucrados en la producción mediante reuniones periódicas de trabajo en donde se presenten todos los conceptos y experiencias relacionadas con el tema.

Etapa 3: Diagnóstico dentro de las empresas.

Se basa en la identificación y análisis de los factores que pueden afectar a la implementación, una vez identificados deben ser filtrados, pues no todos estos factores pueden contar con el tiempo necesario para su análisis o no son necesariamente críticos.

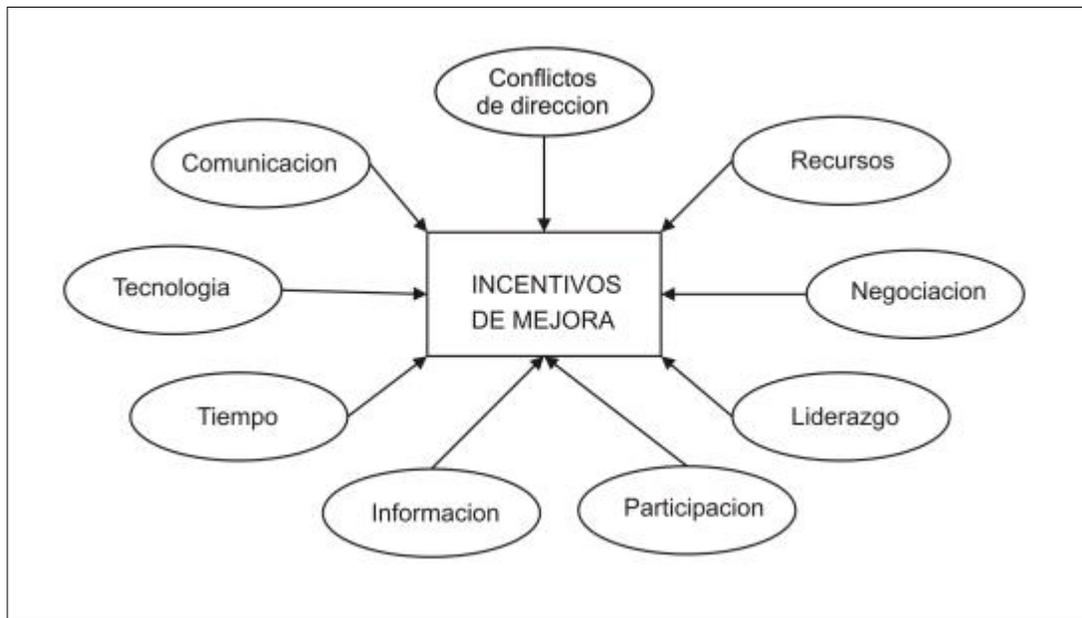


Gráfico 8: Incentivos de mejora para la implementación del sistema de gestión Last Planner

Fuente: (Nieto Morote, Ruz Vila, & Nieto Morote, 2009)

La búsqueda de incentivos para el personal debe ser realizada dentro de la organización, encuestas a los involucrados pueden ser de mucha utilidad para buscar el incentivo más indicado dentro de los recursos disponibles de la empresa.

Etapa 4: Análisis de resultados.

Sería interesante medir los resultados obtenidos, como forma de constatar los beneficios obtenidos con la implementación, y elaborar boletines informativos con estos resultados para el líder del proyecto, que refleje las mejoras conseguidas con la aplicación de esta nueva metodología de gestión.

Etapa 5: Cambios y futuras acciones.

Tomar las acciones de mejora basado en el diagnóstico realizado en las fases anteriores, junto con la participación activa de la gerencia de la empresa y los líderes de implementación, además de monitorizar y controlar las acciones y sus impactos.

## 2.4 Definición de términos básicos:

Es importante conocer estos conceptos que ayudarán a tener mejor conocimiento en el desarrollo del trabajo.

**Proceso:** Conjunto de actos y trámites seguidos ante un juez o tribunal, tendentes a dilucidar la justificación en derecho de una determinada pretensión entre partes y que concluye por resolución motivada (RAE, 2019).

**Alcance:** Es el proceso que consiste en desarrollar una descripción detallada del proyecto y del producto (PMI, 2017).

**Costo:** Es el gasto económico ocasionado de algún bien o la oferta de algún servicio que incluye los procesos involucrados (Tantavilca, 2019).

**Plazo:** Es el tiempo requerido para completar cada uno de los componentes del proyecto (Tantavilca, 2019).

**Planeamiento:** Primera división del proyecto y busca conocer en la forma más precisa posible las condiciones generales en las cuales se va a desarrollar la obra. Luego hay que establecer una subdivisión de la obra en actividades e hitos para poder establecer un plan de trabajo. Después hay que determinar las relaciones existentes entre las actividades (Tantavilca, 2019).

**Programación:** Etapa dirigida a evaluar los planes de trabajo escogidos determinando el tiempo total que podría demorar la obra, el costo de ella y los recursos que serían necesarios utilizar para cumplir con las metas señaladas (Tantavilca, 2019).

**Control:** Es el seguimiento a la ejecución del proyecto para luego comparar los datos obtenidos con el programa macro y se toman las acciones para corregir las diferencias que se hayan producido (Tantavilca, 2019).

**Análisis de Confiabilidad:** El sistema del último planificador necesita medir el desempeño de cada plan de trabajo semanal para estimar su calidad, por lo cual el análisis de confiabilidad tiene como objetivos (Tantavilca, 2019):

- ❖ Medir la confiabilidad del sistema de programación.

- ❖ Identificar y eliminar las causas que no permiten obtener el 100% del cumplimiento del plan semanal.
- ❖ Aprender sistemáticamente de las experiencias que se estén obteniendo en el proyecto, con el fin de no cometer errores repetitivos.

Estrategia: En un proceso regulable, conjunto de las reglas que aseguran una decisión óptima en cada momento (RAE, 2019).

Proyecto: Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único (PMI, 2017).

Gestión de la Calidad: Conjunto de características de una entidad (actividad, producto, organización o persona) que le confiere la aptitud para satisfacer las necesidades establecidas y las implícitas (Miranda, Chamorro, & Rubio, 2007).

Sistema de gestión: Esquema general de procesos y procedimientos que se emplea para garantizar que la organización realice todas las tareas necesarias para alcanzar sus objetivos. (Ogalla, 2005).

Productividad: Es la rapidez con la que se realiza cualquier actividad, quehacer o trabajo; y no siempre es la velocidad de una transformación física, porque también hay transformaciones mentales, que son intangibles, como se da en la creatividad del pensamiento y en lo espiritual. (López, 2012).

Eficiencia: Capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado. (Real Academia Española, 2020).

Eficacia: Capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera. (Real Academia Española, 2020).

### **III. VARIABLES E HIPÓTESIS**

#### **3.1 Definición de las variables:**

### 3.1.1 Variable Independiente

- Implementación del Last Planner System

### 3.1.2 Variables Dependiente

- Tiempo de demora para finalizar la construcción
- Cantidad de actividades programadas cumplidas
- Rendimiento del presupuesto de la construcción

## 3.2 Operacionalización de variables

La operacionalización de variables se muestra en el cuadro 1:

<b>VARIABLE</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>ÍNDICE GENERAL</b>
Implementación de Last Planner System	Herramienta principal de control de la Metodología Lean Production (Producción sin pérdidas) para lidiar con la incertidumbre y la variabilidad en la construcción.  Esta herramienta ha demostrado alta efectividad, logrando progresos importantes en el cumplimiento de plazos y productividad en las obras.	Para la implementación se evaluará el método de gestión tradicional contra el Last Planner System (LPS). Se harán comparaciones con proyectos de construcción anteriores, gestionados de manera tradicional, contra el proyecto Nuevo enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha, gestionado con LPS.	SI / NO
Tiempo de demora para finalizar la construcción	Con una adecuada planificación, mediante Last Planner System se podrá cumplir los plazos asumidos en el cronograma maestro de la construcción, reduciendo significativamente la variabilidad que presentan los proyectos en provincias.	Los datos se extraen del cronograma maestro	Tiempo de demora
Cantidad de actividades programadas cumplidas	Consiste en medir la efectividad de la programación como el PPC (porcentaje de plan cumplido) y también se deben identificar las razones del no cumplimiento. Esto último sirve para conocer cuáles son las razones que más se repiten y poder corregirlas para las siguientes semanas (proceso de retroalimentación).	Los datos se extraerán de la planificación Lookahead	Porcentaje de plan cumplido (PPC)
Rendimiento del presupuesto de la construcción	Con una adecuada planificación, mediante Last Planner System se podrá a reducir la variabilidad, mejorando la productividad en la etapa de construcción, volviendo más confiable las fechas asumidas, optimizando los procesos, reduciendo los riesgos y controlando el avance del proyecto.	Los datos se extraerán de los estados de resultados mensuales de la obra.	Índice del desempeño del costo (CPI)

Cuadro 1: Matriz de operacionalización

Fuente: Elaboración propia

### 3.3 Hipótesis general e hipótesis específicas de la investigación:

#### 3.3.1 Hipótesis Principal

El Last Planner System influye significativamente en la mejora de la productividad de la planificación de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha.

#### 3.3.2 Hipótesis Especificas

- Mediante la implementación del Last Planner System se mejorará el cumplimiento del plazo estimado de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha.
- El Last Planner System influye significativamente en el cumplimiento de actividades programadas (Master Plan) de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha.
- El Last Planner System influye en el control de los costos estimados de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha.

## IV. DISEÑO METODOLÓGICO

Los métodos utilizados en la presente investigación están divididos por tipo, nivel y diseño.

### 4.1 Tipo y diseño de investigación

- a) Aplicada: El trabajo de investigación tiene un enfoque aplicado, porque busca dar solución a un problema generado por el retraso en la ejecución de las construcciones en la planta de UNACEM-Condorcocha.
- b) Cuantitativa: El trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo, porque los resultados pueden medirse en base a datos estadísticos, los resultados obtenidos servirán para optimizar el nivel de planificación del proyecto.

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), el diseño de investigación es experimental, del tipo cuasi experimental, debido a que tiene un plan de

trabajo con el que se pretende estudiar el impacto de los tratamientos y/o los procesos de cambio en situaciones donde los sujetos o unidades de observación no han sido asignados de acuerdo con un criterio aleatorio

Según Sánchez y Reyes (2009) el diseño es de series de tiempo como se muestra en el siguiente esquema:

NOMBRE	ESQUEMA
Serie de tiempo	O1 O2 O3 X O4 O5 O6

Cuadro 2: Diseño de investigación  
Fuente: Sánchez y Reyes (2009)

Dónde:

O: Observación o resultado de la variable dependiente  
X: Aplicación de la variable independiente

#### 4.2 Población y Muestra

- a) Población: La población de esta investigación está compuesta por todos los proyectos y el proceso de construcción monitoreados por el área de la PMO (Project Management Office) de la empresa ARPL, quien es el consultor en la planta UNACEM-Condorcocha.
- b) Muestra: La muestra estaría compuesta por todos los proyectos ejecutados (solo etapa de construcción) en la planta UNACEM-Condorcocha durante el periodo del 2009 al 2019.

#### 4.3 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información documental:

La técnica elegida para la recolección de datos de la presente investigación cuantitativa es la observación y el análisis documental.

Los instrumentos usados estarán relacionados con las técnicas seleccionadas en el párrafo precedente y corresponden a todo aquel documento de obra que permita analizar el cumplimiento de plazos según la planificación efectuada; es decir, informes mensuales, cronogramas (MS Project), valorizaciones (CPI y SPI), porcentaje de plan cumplido (%PPC), matriz de indicadores, entre otros formatos de obra.

El análisis documental servirá para comparar el performance (tiempo de demora de la construcción, porcentaje de plan cumplido de la construcción e índice del desempeño del costo de la construcción) de la planificación de las construcciones realizadas con la planificación tradicional frente a las realizadas con Last Planner System, con ello se podrá determinar que metodología es mejor para ser aplicada al nuevo proyecto “Nuevo enfriador de Clinker en la planta UNACEM-Condorcocha”.

#### 4.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información de campo:

La recolección de datos se realiza a través de fichas de recolección de datos estadísticos a los informes mensuales de la etapa de construcción, entregados por ARPL a su cliente UNACEM-Condorcocha, durante el periodo 2009 al 2019.

#### 4.5 Análisis y procesamiento de datos

Se utilizarán los formatos mencionados anteriormente para recolectar datos de campo, los cuales son cuantitativos y cualitativos. Estos datos serán procesados para luego ser presentados en tablas y figuras estadísticas que ayudarán a demostrar las hipótesis planteadas en la presente tesis.

Finalmente, después de haber detallado lo mencionado en el párrafo anterior, se llegará a las respectivas discusiones, conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de investigación.

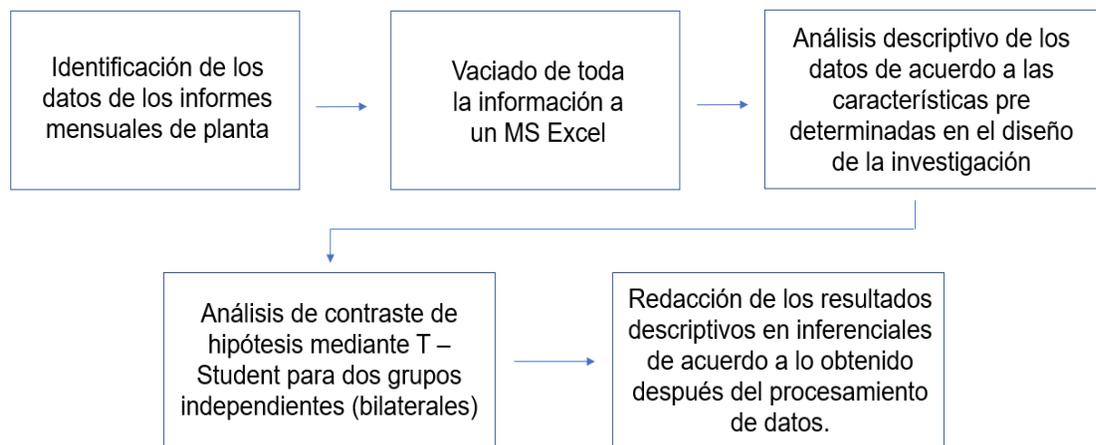


Gráfico 9: Procedimiento de toma y procesamiento de datos de la investigación

Fuente: Elaboración propia

## V. RESULTADOS

### 5.1 Análisis descriptivo

#### 5.1.1 Tiempo de demora para finalizar la construcción

El indicador tiempo de demora para finalizar la construcción define el tiempo en exceso que toma la construcción, según el plazo contractual, para dar por concluida la obra. Este tiempo de exceso/demora se considera desde el momento que concluye la construcción planificada hasta el fin real de la construcción. es decir:

$$\text{Tiempo de demora para finalizar la construcción} = \text{Tiempo real de la construcción} - \text{Tiempo planificado de la construcción}$$

#### Pretest del tiempo demora para finalizar la construcción

Para generar el cuadro 3 se tomó como base nueve proyectos realizados en UNACEM Condorcocha y sus respectivos tiempos de demora, en días calendario, que la empresa requirió para finalizar la construcción de los proyectos ejecutados entre los años 2009 y 2017.

Cuadro 3: Tiempo de demora para finalizar la construcción presentados por proyectos entre el 2009 y 2017

		Tiempo (días calendario)		
Nombre del Proyecto	Año	Línea base	Real	Demora
Molienda Combinada de Cemento 6	2009	411	539	128
Nuevo Multisilo 20,000 Ton	2010	356	517	161

Ampliación de la capacidad de Envase y Despacho Línea N°4	2011	315	421	106
Ampliación de la capacidad del Despacho Línea N°4	2012	220	321	101
Ampliación de la capacidad en 7000,000TM - Horno IV	2013	627	774	147
Nueva Molienda de Carbón	2015	489	662	173
Molino de Cemento 8	2015	419	677	258
Nueva Línea de Embolsado 5	2016	265	414	149
Central Hidroeléctrica Carpapata III	2017	598	753	155

Fuente: Elaboración propia

En base a los datos del cuadro anterior, se elabora el cuadro 4 con el cálculo de los estadísticos descriptivos siguientes:

Cuadro 4: Estadísticos descriptivos de los datos de tiempo de demora para finalizar la construcción - pretest

ÍTEM	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL	VALOR
1	Media	153.1
2	Desviación estándar	46.2
3	Coefficiente de variación	30.18
4	Primer cuartil (Q1)	117.0
5	Mediana	149.0
6	Tercer cuartil (Q3)	167.0
7	Rango	157.0
8	N para moda	0.0
9	Asimetría	1.47
10	Curtosis	3.29

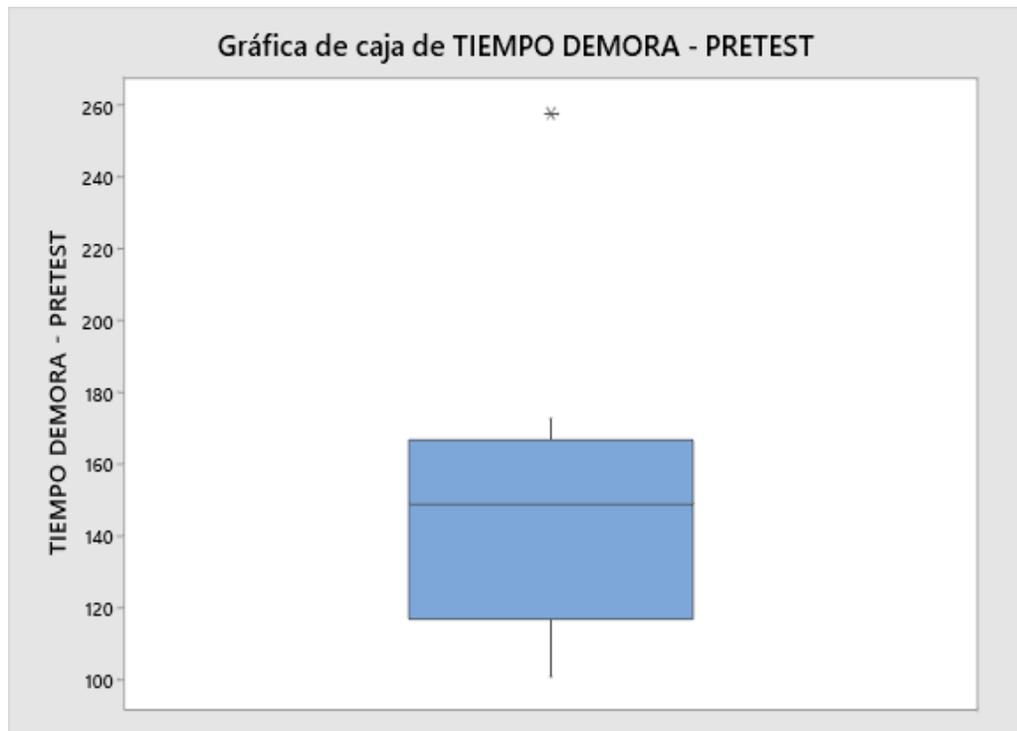
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describe la interpretación del resultado de cada uno de los estadísticos descriptivos:

- La media aritmética de 153.1 indica que el tiempo promedio que tardan los proyectos de construcción en UNACEM Condorcocha, con la planificación tradicional, es de 154 días.
- La desviación estándar de 46.2 representa el rango que fluctúan los días para el término de la construcción de un proyecto, las construcciones en UNACEM Condorcocha utilizando la planificación tradicional terminan con 117 días de demora en el mejor escenario y 167 días en el escenario pesimista.
- El primer cuartil determina los valores del 25% de los datos, en donde el tiempo de demora para finalizar la construcción es 117 días más de lo previsto.
- La mediana determina los valores del 50% de los datos, el tiempo de demora para finalizar la construcción es de 149 días más de lo previsto.
- El tercer cuartil determina los valores del 75% de los datos, en donde el tiempo de demora para finalizar la construcción es 167 días más de lo previsto.
- El grado de asimetría de la distribución con respecto a la media es de 1.47 por lo que la distribución está sesgada hacia la izquierda.
- La curtosis de 3.29 indica una distribución leptocúrtica o que la curva es puntiaguda con respecto a la curva normal, debido a la dispersión de los datos.

En base a los datos obtenidos, los proyectos de construcción en UNACEM Condorcocha deben reducir los tiempos de demora, ya que solo dos proyectos de construcción se entregaron en un tiempo de demora de 117 días siendo el tiempo de demora promedio 149 días, datos que se visualizan en gráfico 10 y en donde el tiempo de demora máximo es de 167 días.

Gráfico 10: Esquema de caja de los datos de tiempo de demora para finalizar la construcción – pretest



Fuente: Elaboración propia

Con la planificación tradicional los proyectos de construcción de UNACEM Condorcocha presentan problemas en cumplir con los tiempos planificados, lo cual repercute en la fecha final del proyecto, generando sobre costos del proyecto frente a lo estimado durante la planificación.

Los datos del cuadro 3 fueron procesados usando la prueba de normalidad de Anderson-Darling para comparar la función de distribución acumulada de los datos de la muestra con la distribución esperada si los datos fueran normales.

$H_0$ : Los datos siguen una distribución normal.

$H_1$ : Los datos no siguen una distribución normal.

En el gráfico 11 se visualiza el comportamiento de los datos y se obtiene un valor p igual a 0.123, que es mayor a 0.05, por lo que se acepta  $H_0$  concluyendo que los datos provienen distribución normal.

Gráfico 11: Prueba de normalidad de los datos de tiempo de demora para finalizar la construcción – pretest



Fuente: Elaboración propia

Post test del tiempo demora para finalizar la construcción

Para generar el cuadro 5 se tomó como base siete proyectos realizados en UNACEM Condorcocha, utilizando la metodología Last Planner System, con sus respectivos tiempos de demora, en días calendario, que la empresa requirió para finalizar la construcción de los proyectos ejecutados entre los años 2014 y 2019.

Cuadro 5: Tiempo de demora para finalizar la construcción presentados por proyectos entre el 2014 y 2019

Nombre del Proyecto	Año	Tiempo (días calendario)		
		Línea base	Real	Retraso
Modernización del Sistema de Control del Horno III en la Planta UNACEM en Condorcocha	2014	144	184	40

Techado de la Cancha de Clinker en la Planta UNACEM en Condorcocha	2018	309	339	30
Horno V Molino de Crudo en la Planta UNACEM en Condorcocha	2017	290	349	59
Nuevo Silo de Cemento Tipo 5 en la Planta UNACEM en Condorcocha	2015	177	213	36
Implementación de Nuevo Sistema Contra Incendio en la Planta UNACEM en Condorcocha	2019	168	221	53
Nuevo Filtro de Mangas en Molienda Combinada en la Planta UNACEM en Condorcocha	2018	128	157	29
Nuevo Enfriador de Clinker Horno III en la Planta UNACEM en Condorcocha	2019	314	327	13

Fuente: Elaboración propia

En base a los datos del cuadro anterior, se elabora el cuadro 6 con el cálculo de los estadísticos descriptivos siguientes:

Cuadro 6: Estadísticos descriptivos de los datos de tiempo de demora para finalizar la construcción – post test

ÍTEM	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL	VALOR
1	Media	37.14
2	Desviación estándar	15.49
3	Coefficiente de variación	41.69
4	Primer cuartil (Q1)	29
5	Mediana	36
6	Tercer cuartil (Q3)	53
7	Rango	46
8	N para moda	0.0
9	Asimetría	-0.03
10	Curtosis	-0.22

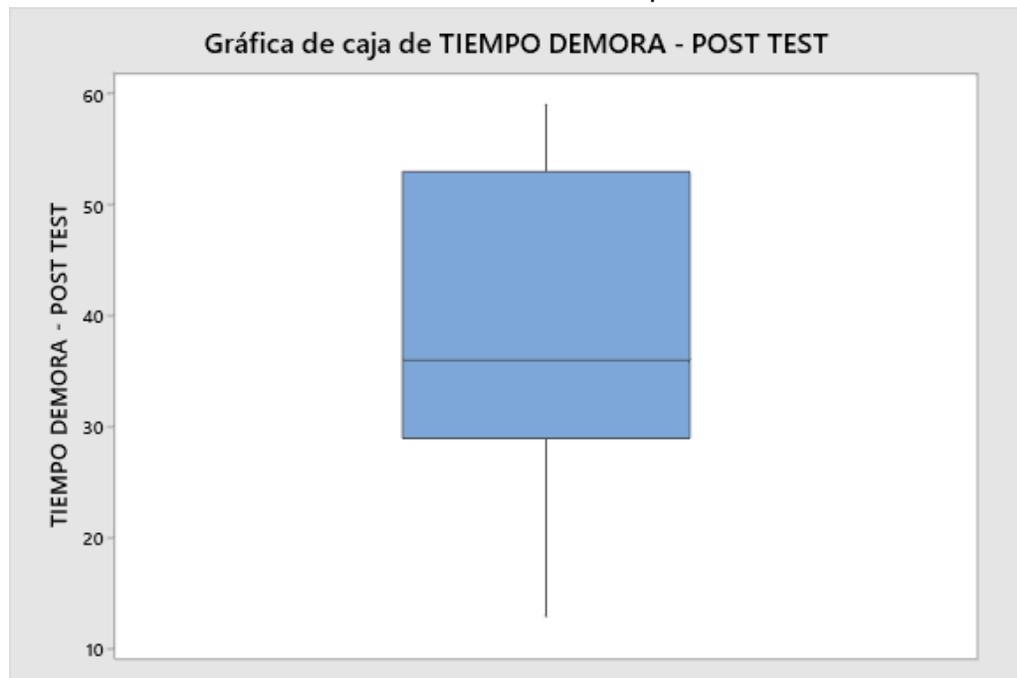
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describe la interpretación del resultado de cada uno de los estadísticos descriptivos:

- La media aritmética de 37.14 indica que el tiempo promedio que tardan los proyectos de construcción en UNACEM-Condorcocha, con la planificación mediante Last Planner System, es de 38 días.
- La desviación estándar de 15.49 representa el rango que fluctúan los días para el término de la construcción de un proyecto, las construcciones en UNACEM-Condorcocha, utilizando Last Planner System, terminan con 29 días de demora en el mejor escenario y 53 días en el escenario pesimista.
- El primer cuartil determina los valores del 25% de los datos, en donde el tiempo de demora para finalizar la construcción, utilizando Last Planner System, es 29 días más de lo previsto.
- La mediana determina los valores del 50% de los datos, el tiempo de demora para finalizar la construcción, utilizando Last Planner System, es de 36 días más de lo previsto.
- El tercer cuartil determina los valores del 75% de los datos, en donde el tiempo de demora para finalizar la construcción es 53 días más de lo previsto.
- El grado de asimetría de la distribución con respecto a la media es de -0.03 por lo que la distribución está sesgada ligeramente hacia la derecha.
- La curtosis de -0.22 indica una distribución platicúrtica o que la curva es achatada con respecto a la curva normal, debido a la dispersión de los datos.

En base a los datos obtenidos, los proyectos de construcción en UNACEM Condorcocha, realizados mediante la metodología Last Planner System, han reducido los tiempos de demora de 153.1 días a 37.14 días, considerando que ha mejorado el tiempo de demora máximo para finalizar la construcción de 167 días a 53 días, datos que se visualizan en el gráfico 12 y en donde el tiempo de demora máximo es de 167 días.

Gráfico 12: Esquema de caja de los datos de tiempo de demora para finalizar la construcción – post test



Fuente: Elaboración propia

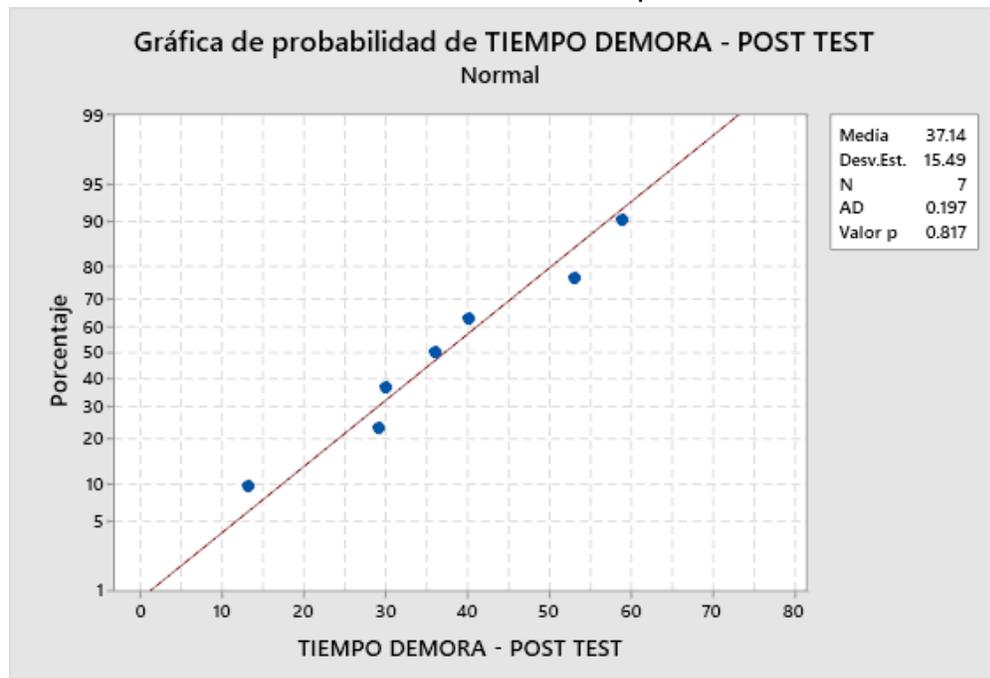
Los datos del cuadro 5 fueron procesados usando la prueba de normalidad de Anderson-Darling para comparar la función de distribución acumulada de los datos de la muestra con la distribución esperada si los datos fueran normales.

$H_0$ : Los datos siguen una distribución normal.

$H_1$ : Los datos no siguen una distribución normal.

En el gráfico 13 se visualiza el comportamiento de los datos y se obtiene un valor p igual a 0.817, que es mayor a 0.05, por lo que se acepta  $H_0$  concluyendo que los datos provienen distribución normal.

Gráfico 13: Prueba de normalidad de los datos de tiempo de demora para finalizar la construcción – post test



Fuente: Elaboración propia

### 5.1.2 Porcentaje de plan cumplido (PPC)

El indicador Porcentaje del Plan Completado o PPC es una herramienta clave para medir el éxito del avance de un proyecto, esta herramienta del Last Planner System mide el porcentaje de promesas (planes) cumplidas terminadas a tiempo.

El valor de la PPC permite clasificar el proceso constructivo, con respecto a los mejores de su clase y que ya han alcanzado el nivel de excelencia y puede aplicarse a cualquier rama de la actividad.

#### Pretest del porcentaje de plan de cumplimiento

Para generar el cuadro 7 se tomó como base nueve proyectos realizados en UNACEM-Condorcocha y sus respectivos porcentajes de plan de cumplimiento que la empresa interpretó para finalizar la construcción de los proyectos ejecutados entre los años 2009 y 2017.

Cuadro 7: Porcentaje de plan cumplido de la construcción presentados por proyectos entre el 2009 y 2017

Cuadro 7: Porcentaje de plan cumplido de la construcción presentados por proyectos entre el 2009 y 2017

Nombre del Proyecto	Año	% de Plan cumplido
Molienda Combinada de Cemento 6	2009	80.22%
Nuevo Multisilo 20,000 Ton	2010	87.47%
Ampliación de la capacidad de Envase y Despacho Línea N°4	2011	81.20%
Ampliación de la capacidad del Despacho Línea N°4	2012	79.90%
Ampliación de la capacidad en 7000,000TM - Horno IV	2013	84.72%
Nueva Molienda de Carbón	2015	85.41%
Molino de Cemento 8	2015	76.98%
Nueva Línea de Embolsado 5	2016	81.75%

Fuente: Elaboración propia

En base a los datos del cuadro anterior, se elabora el cuadro 8 con el cálculo de los estadísticos descriptivos siguientes:

Cuadro 8: Estadísticos descriptivos de los datos de porcentaje de plan cumplido de la construcción - pretest

ÍTEM	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL	VALOR
1	Media	81.78
2	Desviación estándar	3.45
3	Coeficiente de variación	4.22
4	Primer cuartil (Q1)	79.13
5	Mediana	81.20
6	Tercer cuartil (Q3)	85.06
7	Rango	10.49

8	N para moda	0.0
9	Asimetría	0.38
10	Curtosis	-0.82

Fuente: Elaboración propia

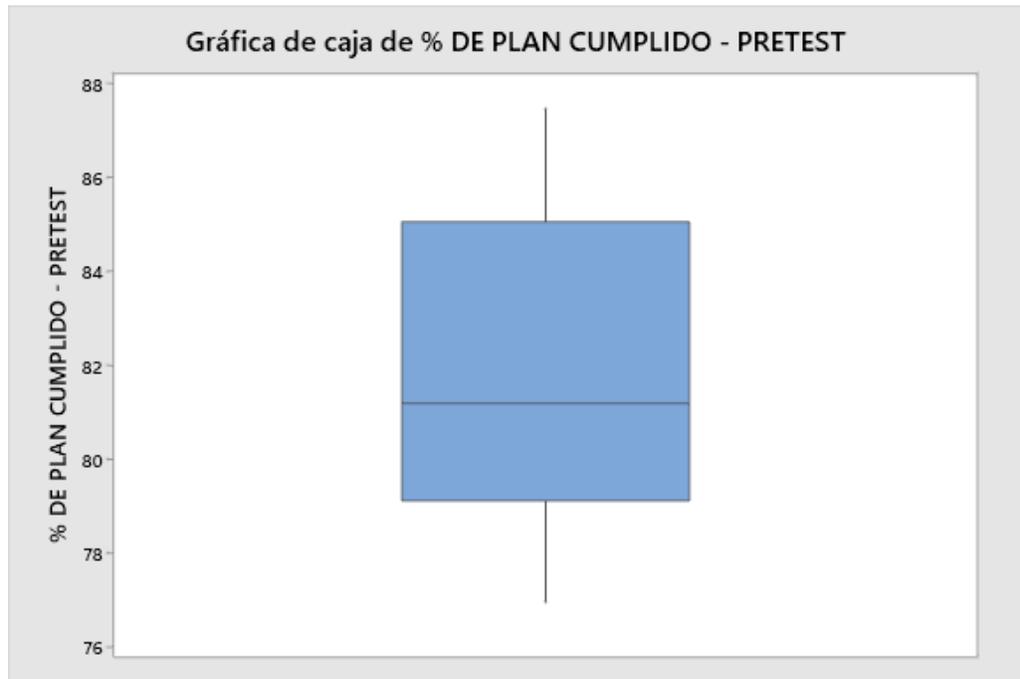
A continuación, se describe la interpretación del resultado de cada uno de los estadísticos descriptivos:

- La media aritmética de 81.78 indica que el porcentaje del plan cumplido de las construcciones en UNACEM-Condorcocha, con la planificación tradicional, es de 81.78%.
- La desviación estándar de 3.45 representa el rango que fluctúan los porcentajes de plan cumplido de la construcción de un proyecto, las construcciones en UNACEM-Condorcocha utilizando la planificación tradicional operan con un 85.06% del plan cumplido en el mejor escenario y 79.13% del plan cumplido en el escenario pesimista.
- El primer cuartil determina los valores del 25% de los datos, en donde el porcentaje de plan cumplido en que operan las construcciones es 79.13%.
- La mediana determina los valores del 50% de los datos, en donde el porcentaje de plan cumplido en que operan las construcciones es 81.2%.
- El tercer cuartil determinar los valores del 75% de los datos, en donde el porcentaje de plan cumplido en que operan las construcciones es 85.06%.
- El grado de asimetría de la distribución con respecto a la media es de 0.38 por lo que la distribución está ligeramente sesgada hacia la izquierda.
- La curtosis de -0.82 indica una distribución platicúrtica o que la curva es achatada con respecto a la curva normal, debido a la dispersión de los datos.

En base a los datos obtenidos, los proyectos de construcción en UNACEM Condorcocha deben aumentar el porcentaje de plan cumplido, ya que solo dos proyectos de construcción tienen un porcentaje de plan cumplido mayor a 85.06%, siendo el porcentaje de plan cumplido de 81.20%, datos

que se visualizan en el gráfico 14 y en donde el porcentaje de plan cumplido mínimo es de 79.13%

Gráfico 14: Esquema de caja de los datos de porcentaje de plan cumplido – pretest



Fuente: Elaboración propia

Con la planificación tradicional los proyectos de construcción de UNACEM Condorcocha presentan problemas para alcanzar el 100% del plan de cumplimiento, lo cual repercute en la fecha final del proyecto, generando sobre costos del proyecto frente a lo estimado durante la planificación.

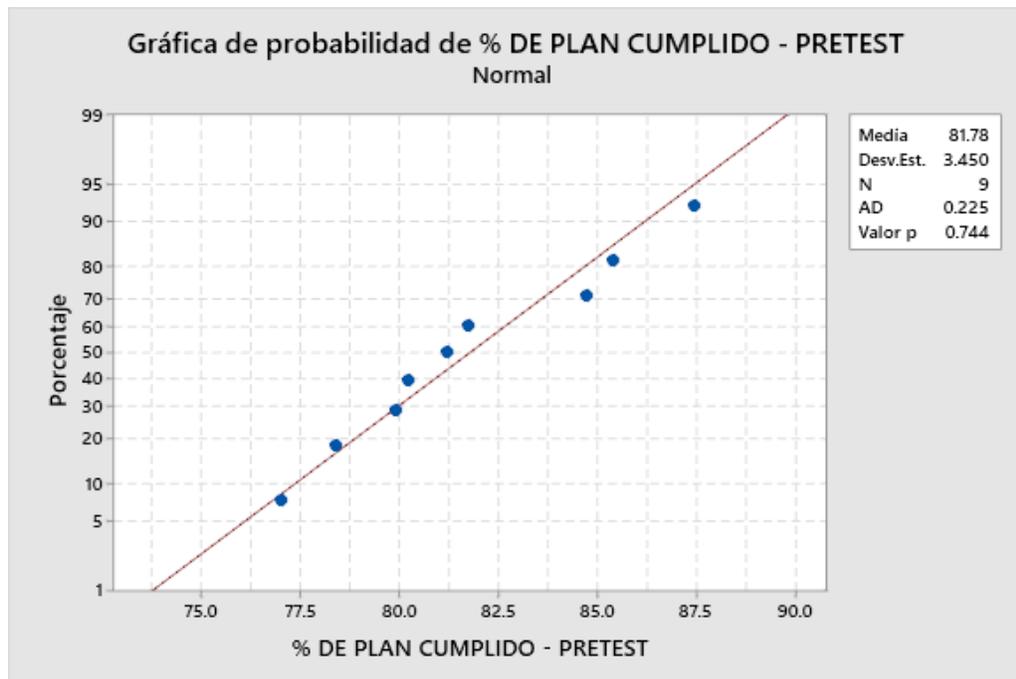
Los datos del cuadro 7 fueron procesados usando la prueba de normalidad de Anderson-Darling para comparar la función de distribución acumulada de los datos de la muestra con la distribución esperada si los datos fueran normales.

$H_0$ : Los datos siguen una distribución normal.

$H_1$ : Los datos no siguen una distribución normal.

En el gráfico 15 se visualiza el comportamiento de los datos y se obtiene un valor p igual a 0.744, que es mayor a 0.05, por lo que se acepta  $H_0$  concluyendo que los datos provienen distribución normal.

Gráfico 15: Prueba de normalidad de los datos de porcentaje de plan cumplido – pretest



Fuente: Elaboración propia

Post test del porcentaje de plan cumplido (PPC)

Para generar el cuadro 9 se tomó como base siete proyectos realizados en UNACEM-Condorcocha y sus respectivos porcentajes de plan de cumplimiento que la empresa interpretó para finalizar la construcción de los proyectos ejecutados entre los años 2014 y 2019.

Cuadro 9: Porcentaje de plan cumplido de la construcción presentados por proyectos entre el 2014 y 2019

Nombre del Proyecto	Año	% de Plan cumplido
---------------------	-----	--------------------

Modernización del Sistema de Control del Horno III en la Planta UNACEM en Condorcocha	2014	89.90%
Techado de la Cancha de Clinker en la Planta UNACEM en Condorcocha	2018	92.50%
Horno V Molino de Crudo en la Planta UNACEM en Condorcocha	2017	90.87%
Nuevo Silo de Cemento Tipo 5 en la Planta UNACEM en Condorcocha	2015	93.55%
Implementación de Nuevo Sistema Contra Incendio en la Planta UNACEM en Condorcocha	2019	88.49%
Nuevo Filtro de Mangas en Molienda Combinada en la Planta UNACEM en Condorcocha	2018	86.88%
Nuevo Enfriador de Clinker Horno III en la Planta UNACEM en Condorcocha	2019	94.41%

Fuente: Elaboración propia

En base a los datos del cuadro anterior, se elabora el cuadro 10 con el cálculo de los estadísticos descriptivos siguientes:

Cuadro 10: Estadísticos descriptivos de los datos de porcentaje de plan cumplido de la construcción – post test

ÍTEM	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL	VALOR
1	Media	90.94
2	Desviación estándar	2.73
3	Coefficiente de variación	3.01
4	Primer cuartil (Q1)	88.49
5	Mediana	90.84
6	Tercer cuartil (Q3)	93.55
7	Rango	7.53
8	N para moda	0.0
9	Asimetría	-0.23
10	Curtosis	-1.17

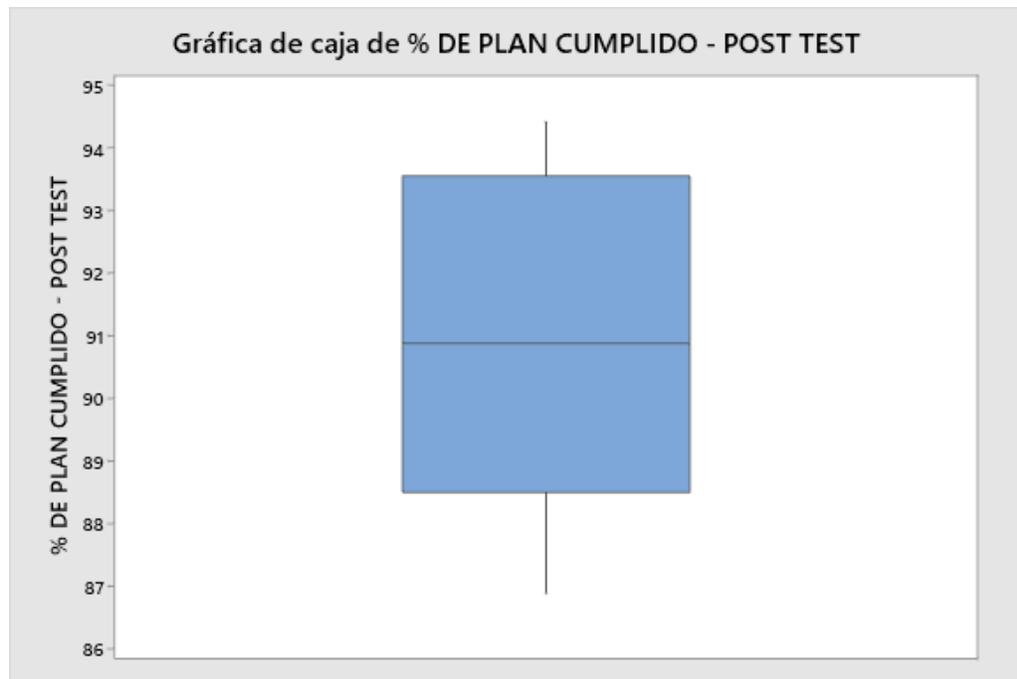
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describe la interpretación del resultado de cada uno de los estadísticos descriptivos:

- La media aritmética de 90.94 indica que el porcentaje del plan cumplido de las construcciones en UNACEM-Condorcocha, con la planificación mediante Last Planner System, es de 90.94%.
- La desviación estándar de 2.73 representa el rango que fluctúan los porcentajes de plan cumplido de la construcción de un proyecto, las construcciones en UNACEM-Condorcocha, utilizando Last Planner System, operan con un 93.55% del plan cumplido en el mejor escenario y 88.49% del plan cumplido en el escenario pesimista.
- El primer cuartil determina los valores del 25% de los datos, en donde el porcentaje de plan cumplido en que operan las construcciones es 88.49%.
- La mediana determina los valores del 50% de los datos, en donde el porcentaje de plan cumplido en que operan las construcciones es 90.84%.
- El tercer cuartil determinar los valores del 75% de los datos, en donde el porcentaje de plan cumplido en que operan las construcciones es 93.55%.
- El grado de asimetría de la distribución con respecto a la media es de -0.23 por lo que la distribución está ligeramente sesgada hacia la derecha.
- La curtosis de -1.17 indica una distribución platicúrtica o que la curva es puntiaguda con respecto a la curva normal, debido a la dispersión de los datos.

En base a los datos obtenidos, los proyectos de construcción en UNACEM Condorcocha, realizados mediante la metodología Last Planner System, ha aumentado el porcentaje de plan cumplido de 81.78% a 90.94%, considerando que ha mejorado el porcentaje de plan cumplido de la construcción de 85.06% a 93.55%, datos que se visualizan en el gráfico 16 y en donde el porcentaje de plan cumplido máximo es 93.55%.

Gráfico 16: Esquema de caja de los datos de porcentaje de plan cumplido – post test



Fuente: Elaboración propia

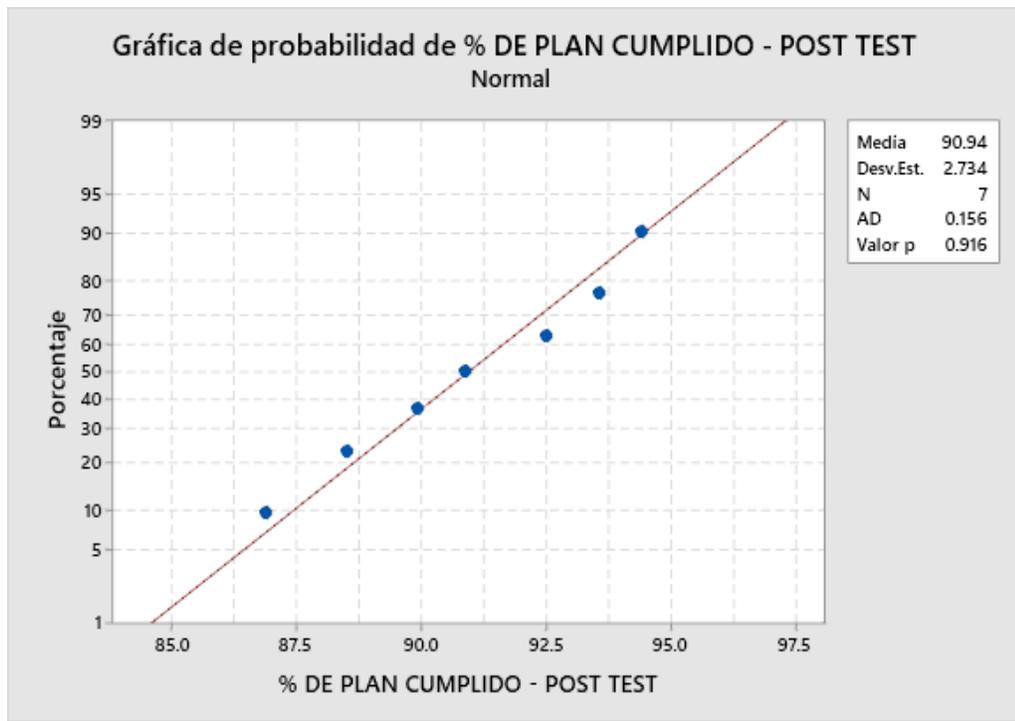
Los datos del cuadro 9 fueron procesados usando la prueba de normalidad de Anderson-Darling para comparar la función de distribución acumulada de los datos de la muestra con la distribución esperada si los datos fueran normales.

$H_0$ : Los datos siguen una distribución normal.

$H_1$ : Los datos no siguen una distribución normal.

En el gráfico 17 se visualiza el comportamiento de los datos y se obtiene un valor p igual a 0.916, que es mayor a 0.05, por lo que se acepta  $H_0$  concluyendo que los datos provienen distribución normal.

Gráfico 17: Prueba de normalidad de los datos de porcentaje de plan cumplido – post test



Fuente: Elaboración propia

### 5.1.3 Índice del desempeño del costo (CPI)

El índice del desempeño del costo o CPI es una medida del valor del trabajo completado, en comparación con el costo o avance real del proyecto. El CPI mide la eficiencia del uso de recursos o eficiencia de costos para un proyecto. Un CPI mayor a 1 indica que el valor del trabajo cumplido es mayor que la cantidad de recursos usados en el proyecto. Un CPI menor a 1 indica que el valor del trabajo completado es menor al de los recursos gastados.

#### Pretest del Índice del desempeño del costo

Para generar el cuadro 11 se tomó como base nueve proyectos realizados en UNACEM-Condorcocha y sus respectivos índices del desempeño de costos que la empresa requirió analizar en el proceso de la construcción de los proyectos ejecutados entre los años 2009 y 2017.

Cuadro 11: Índice del desempeño del costo de la construcción presentados por proyectos entre el 2009 y 2017

Nombre del Proyecto	Año	CPI
Molienda Combinada de Cemento 6	2009	0.80
Nuevo Multisilo 20,000 Ton	2010	0.76
Ampliación de la capacidad de Envase y Despacho Línea N°4	2011	0.81
Ampliación de la capacidad del Despacho Línea N°4	2012	0.82
Ampliación de la capacidad en 7000,000TM - Horno IV	2013	0.77
Nueva Molienda de Carbón	2015	0.72
Molino de Cemento 8	2015	0.67
Nueva Línea de Embolsado 5	2016	0.76

Fuente: Elaboración propia

En base a los datos del cuadro anterior, se elabora el cuadro 12 con el cálculo de los estadísticos descriptivos siguientes:

Cuadro 12: Estadísticos descriptivos de los datos del índice del desempeño del costo de la construcción - pretest

ÍTEM	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL	VALOR
1	Media	0.76
2	Desviación estándar	0.05
3	Coeficiente de variación	6.59
4	Primer cuartil (Q1)	0.72
5	Mediana	0.76
6	Tercer cuartil (Q3)	0.81
7	Rango	0.15
8	N para moda	2.0

9	Asimetría	-0.49
10	Curtosis	-0.60

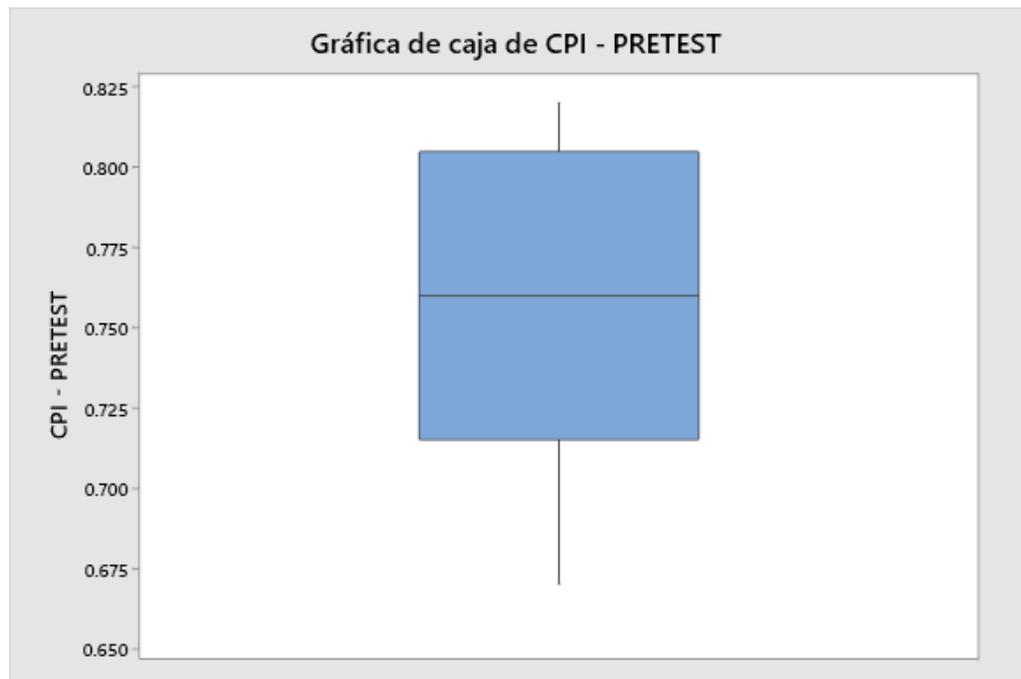
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describe la interpretación del resultado de cada uno de los estadísticos descriptivos:

- La media aritmética de 0.76 indica que el índice del desempeño del costo de las construcciones en UNACEM-Condorcocha, con la planificación tradicional, es de 0.76
- La desviación estándar de 0.05 representa el rango que fluctúa el índice del desempeño del costo de la construcción de un proyecto, las construcciones en UNACEM-Condorcocha utilizando la planificación tradicional operan con un CPI de 0.81 y con un CPI de 0.72 en el escenario pesimista.
- El primer cuartil determina los valores del 25% de los datos, en donde el índice del desempeño del costo en que operan las construcciones es 0.72.
- La mediana determina los valores del 50% de los datos, en donde el índice del desempeño del costo en que operan las construcciones es 0.76.
- El tercer cuartil determinar los valores del 75% de los datos, en donde el índice del desempeño del costo en que operan las construcciones es 0.81.
- El grado de asimetría de la distribución con respecto a la media es de -0.49 por lo que la distribución está ligeramente sesgada hacia la derecha.
- La curtosis de -0.60 indica una distribución platicúrtica o que la curva es achatada con respecto a la curva normal, debido a la dispersión de los datos.

En base a los datos obtenidos, los proyectos de construcción en UNACEM Condorcocha deben aumentar el índice del desempeño del costo, ya que solo dos proyectos de construcción tienen un CPI mayor a 0.81, siendo la mediana del CPI 0.76, datos que se visualizan en el gráfico 18 y en donde el CPI mínimo es de 0.72.

Gráfico 18: Esquema de caja de los datos de índice del desempeño del costo – pretest



Fuente: Elaboración propia

Con la planificación tradicional los proyectos de construcción de UNACEM Condorcocha presentan problemas para alcanzar un CPI mayor a 1, lo cual repercute directamente en sobrecostos del proyecto, estimado durante la planificación.

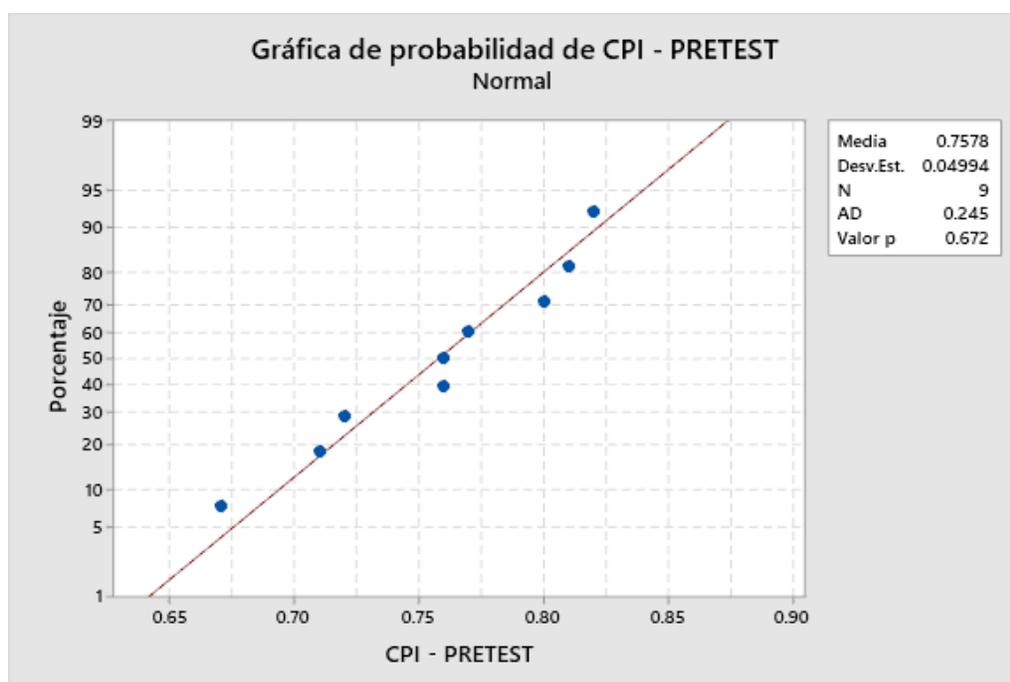
Los datos del cuadro 11 fueron procesados usando la prueba de normalidad de Anderson-Darling para comparar la función de distribución acumulada de los datos de la muestra con la distribución esperada si los datos fueran normales.

$H_0$ : Los datos siguen una distribución normal.

$H_1$ : Los datos no siguen una distribución normal.

En el gráfico 19 se visualiza el comportamiento de los datos y se obtiene un valor p igual a 0.672, que es mayor a 0.05, por lo que se acepta  $H_0$  concluyendo que los datos provienen distribución normal.

Gráfico 19: Prueba de normalidad de los datos del índice del desempeño del costo – pretest



Fuente: Elaboración propia

### Post test del índice del desempeño del costo

Para generar el cuadro 13 se tomó como base siete proyectos realizados en UNACEM-Condorcocha y sus respectivos porcentajes de plan de cumplimiento que la empresa interpretó para finalizar la construcción de los proyectos ejecutados entre los años 2014 y 2019.

Cuadro 13: Índice del desempeño del costo de la construcción presentados por proyectos entre el 2014 y 2019

Nombre del Proyecto	Año	CPI
Modernización del Sistema de Control del Horno III en la Planta UNACEM en Condorcocha	2014	0.93

Techado de la Cancha de Clinker en la Planta UNACEM en Condorcocha	2018	0.95
Horno V Molino de Crudo en la Planta UNACEM en Condorcocha	2017	0.92
Nuevo Silo de Cemento Tipo 5 en la Planta UNACEM en Condorcocha	2015	0.94
Implementación de Nuevo Sistema Contra Incendio en la Planta UNACEM en Condorcocha	2019	0.92
Nuevo Filtro de Mangas en Molienda Combinada en la Planta UNACEM en Condorcocha	2018	0.95
Nuevo Enfriador de Clinker Horno III en la Planta UNACEM en Condorcocha	2019	0.98

Fuente: Elaboración propia

En base a los datos del cuadro anterior, se elabora el cuadro 14 con el cálculo de los estadísticos descriptivos siguientes:

Cuadro 14: Estadísticos descriptivos de los datos de índice del desempeño del costo de la construcción – post test

ÍTEM	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL	VALOR
1	Media	0.94
2	Desviación estándar	0.02
3	Coeficiente de variación	2.25
4	Primer cuartil (Q1)	0.92
5	Mediana	0.94
6	Tercer cuartil (Q3)	0.95
7	Rango	0.06
8	N para moda	2.0
9	Asimetría	0.92
10	Curtosis	0.80

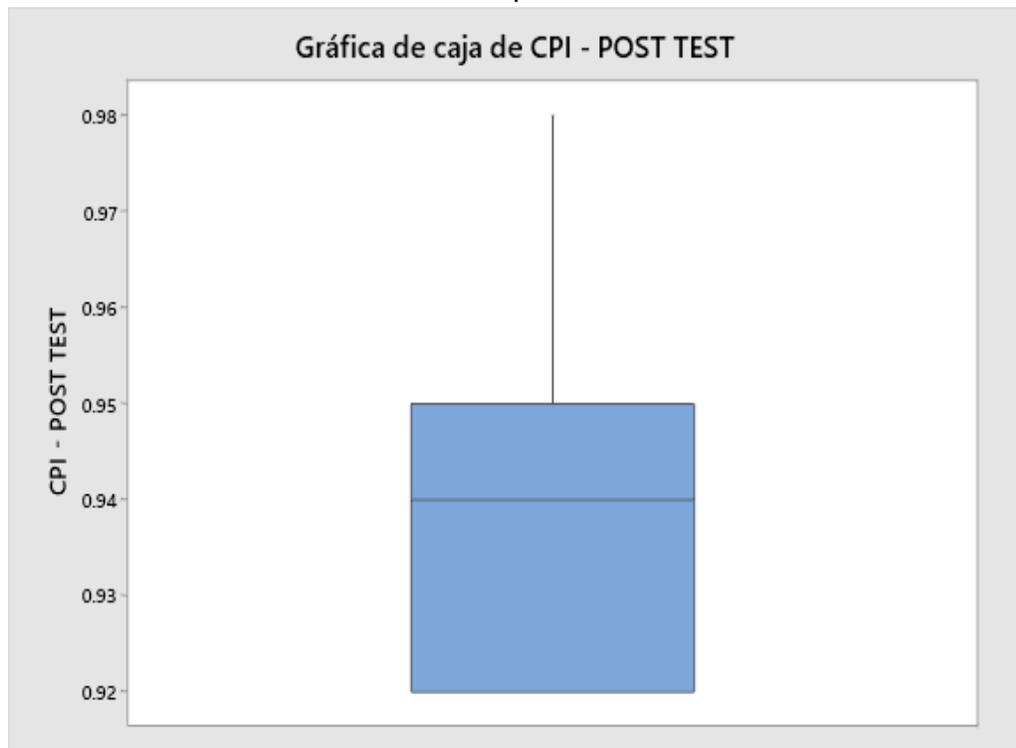
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describe la interpretación del resultado de cada uno de los estadísticos descriptivos:

- La media aritmética de 0.94 indica que el índice del desempeño del costo de las construcciones en UNACEM-Condorcocha, con la planificación mediante Last Planner System, es de 0.94.
- La desviación estándar de 0.02 representa el rango que fluctúan los índices del desempeño del costo de la construcción de un proyecto, las construcciones en UNACEM-Condorcocha, utilizando Last Planner System, operan con un CPI de 0.95 en el mejor escenario y un CPI de 0.92 en el escenario pesimista.
- El primer cuartil determina los valores del 25% de los datos, en donde el índice del desempeño del costo en que operan las construcciones es 0.92.
- La mediana determina los valores del 50% de los datos, en donde el índice del desempeño del costo en que operan las construcciones es 0.94.
- El tercer cuartil determinar los valores del 75% de los datos, en donde el índice del desempeño del costo en que operan las construcciones es 0.95.
- El grado de asimetría de la distribución con respecto a la media es de 0.92 por lo que la distribución está ligeramente sesgada hacia la izquierda.
- La curtosis de 0.80 indica una distribución leptocúrtica o que la curva es puntiaguda con respecto a la curva normal, debido a la dispersión de los datos.

En base a los datos obtenidos, los proyectos de construcción en UNACEM Condorcocha, realizados mediante la metodología Last Planner System, ha aumentado el índice del desempeño del costo de un 0.76 a 0.94, considerando que ha mejorado el índice del desempeño del costo de la construcción de 0.81 a 0.95, datos que se visualizan en el gráfico 20 y en donde el índice del desempeño del costo máximo es 0.95.

Gráfico 20: Esquema de caja de los datos de índice del desempeño del costo – post test



Fuente: Elaboración propia

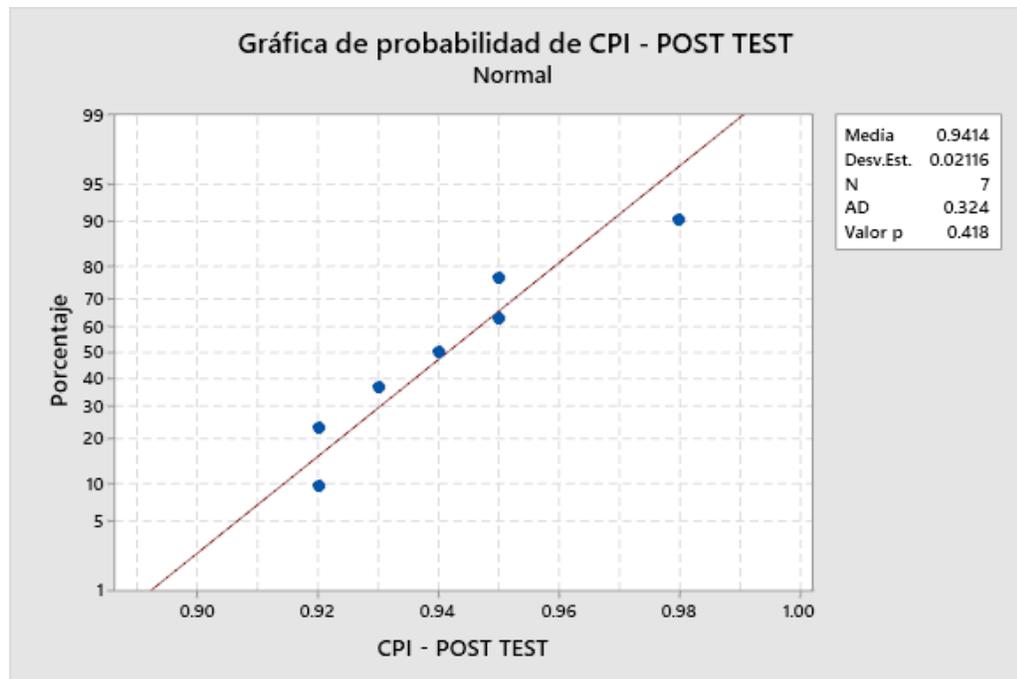
Los datos del cuadro 13 fueron procesados usando la prueba de normalidad de Anderson-Darling para comparar la función de distribución acumulada de los datos de la muestra con la distribución esperada si los datos fueran normales.

$H_0$ : Los datos siguen una distribución normal.

$H_1$ : Los datos no siguen una distribución normal.

En el gráfico 21 se visualiza el comportamiento de los datos y se obtiene un valor p igual a 0.418, que es mayor a 0.05, por lo que se acepta  $H_0$  concluyendo que los datos provienen distribución normal.

Gráfico 21: Prueba de normalidad de los datos de índice del desempeño del costo – post test



Fuente: Elaboración propia

## 5.2 Resultados inferenciales

### 5.2.1 Tiempo de demora para finalizar la construcción

La contrastación del indicador tiempo de demora para finalizar la construcción de un proyecto valida la hipótesis que supone que mediante la implementación del Last Planner System se logrará mejorar el cumplimiento del plazo estimado de la construcción en la Planta UNACEM-Condorcocha.

Habiendo realizado las pruebas pre y post test, se plantea la siguiente hipótesis:

$H_0$ : El tiempo de demora para finalizar la construcción pretest es igual al del post test.

$H_1$ : El tiempo de demora para finalizar la construcción pretest es mayor al del post test

Con un nivel de significancia igual a 5% ( $\alpha = 0.05$ ), se utiliza la prueba t-student para dos muestras.

En donde,

$\mu_1$ : Tiempo de demora para finalizar la construcción pretest

$\mu_2$ : Tiempo de demora para finalizar la construcción post test

Diferencia:  $\mu_1 - \mu_2$

Por lo que la hipótesis nula y alternativa se representan de la siguiente manera:

Hipótesis nula  $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna  $H_1: \mu_1 - \mu_2 > 0$

En el cuadro 15 se presentan los datos obtenidos luego del cálculo realizado.

Cuadro 15: Datos de la prueba de la contrastación de hipótesis secundaria 1 (tiempo de demora para finalizar la construcción)

Valor T	GL	Valor p
7.04	10	0.000

El valor de p es igual a 0.000, el cual es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se reemplaza por la hipótesis alternativa.

Con lo que se acepta que el tiempo de demora para finalizar la construcción pretest es mayor que el tiempo de demora para finalizar la construcción post test, por lo que se concluye que mediante la implementación del Last Planner System se logrará mejorar la

productividad de la planificación de la construcción en la Planta UNACEM-Condorcocha.

### 5.2.2 Cantidad de actividades programadas cumplidas

La contrastación del indicador porcentaje de plan cumplido de la construcción de un proyecto valida la hipótesis que supone que mediante la implementación del Last Planner System se logrará mejorar el cumplimiento de actividades programadas de la construcción en la Planta UNACEM-Condorcocha.

Habiendo realizado las pruebas pre y post test, se plantea la siguiente hipótesis:

$H_0$ : Cantidad de actividades programadas cumplidas de la construcción pretest es igual al del post test.

$H_1$ : Cantidad de actividades programadas cumplidas de la construcción pretest es menor al del post test

Con un nivel de significancia igual a 5% ( $\alpha = 0.05$ ), se utiliza la prueba t-student para dos muestras.

En donde,

$\mu_1$ : Porcentaje de plan cumplido de la construcción pretest

$\mu_2$ : Porcentaje de plan cumplido de la construcción post test

Diferencia:  $\mu_1 - \mu_2$

Por lo que la hipótesis nula y alternativa se representan de la siguiente manera:

Hipótesis nula  $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna  $H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$

En el cuadro 16 se presentan los datos obtenidos luego del cálculo realizado.

Cuadro 16: Datos de la prueba de la contrastación de hipótesis secundaria 2 (cantidad de actividades programadas cumplidas)

Valor T	GL	Valor p
-5.93	13	0.000

El valor de p es igual a 0.000, el cual es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se reemplaza por la hipótesis alternativa.

Con lo que se acepta que la cantidad de actividades programas cumplidas la construcción pretest es menor que la cantidad de actividades programas cumplidas post test, por lo que se concluye que mediante la implementación del Last Planner System se logrará mejorar la productividad de la planificación de la construcción en la Planta UNACEM-Condorcocha.

### 5.2.3 Rendimiento del presupuesto de la construcción

La contrastación del indicador índice del desempeño de costo de la construcción de un proyecto valida la hipótesis que supone que mediante la implementación del Last Planner System se logrará mejorar el rendimiento del presupuesto de la construcción en la Planta UNACEM-Condorcocha.

Habiendo realizado las pruebas pre y post test, se plantea la siguiente hipótesis:

$H_0$ : Rendimiento del presupuesto de la construcción pretest es igual al del post test.

$H_1$ : Rendimiento del presupuesto de la construcción pretest es menor al del post test

Con un nivel de significancia igual a 5% ( $\alpha = 0.05$ ), se utiliza la prueba t-student para dos muestras.

En donde,

$\mu_1$ : Índice del desempeño del costo de la construcción pretest

$\mu_2$ : Índice del desempeño del costo de la construcción post test

Diferencia:  $\mu_1 - \mu_2$

Por lo que la hipótesis nula y alternativa se representan de la siguiente manera:

Hipótesis nula  $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna  $H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$

En el cuadro 17 se presentan los datos obtenidos luego del cálculo realizado.

Cuadro 17: Datos de la prueba de la contrastación de hipótesis secundaria 3 (rendimiento del presupuesto de la construcción)

Valor T	GL	Valor p
-9.94	11	0.000

El valor de p es igual a 0.000, el cual es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se reemplaza por la hipótesis alternativa.

Con lo que se acepta que el rendimiento del presupuesto de la construcción la construcción pretest es menor que el rendimiento del presupuesto de la construcción post test, por lo que se concluye que mediante la implementación del Last Planner System se logrará mejorar la productividad de la planificación de la construcción en la Planta UNACEM-Condorcocha.

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1 Contrastación de la Hipótesis

De acuerdo con los resultados obtenidos de la investigación realizada, se puede confirmar que efectivamente, la variable Last Planner System ha tenido efectos sustancialmente positivos sobre la variable mejora de la productividad de las construcciones en la planta UNACEM-Condorcocha.

En este capítulo se discute sobre los resultados obtenidos sobre las variables estudiadas.

#### 6.1.1 Tiempo de demora para finalizar la construcción

Del análisis descriptivo se infiere la dependencia entre la aplicación de la metodología Last Planner System y el tiempo de demora para finalizar las construcciones en la planta UNACEM-Condorcocha. De las muestras analizadas en el Pretest y Post test se observa una mejoría en un hasta 29.2%, es decir, el tiempo de demora para finalizar las construcciones disminuyen con la metodología Last Planner System, haciendo más confiable al cronograma maestro.

Asimismo, de acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas pretest y post test y haciendo uso de la prueba t-student, se comprobó que la implementación de la metodología Last Planner System para mejorar la productividad de la construcción logró reducir el tiempo de demora para finalizar las construcciones en la planta UNACEM-Condorcocha, siendo el valor de  $p$  igual a 0.00, valor menor que el nivel de significancia igual a 0.05.

#### 6.1.2 Cantidad de actividades programadas cumplidas

Del análisis de resultados se concluye que la aplicación de la metodología Last Planner System tiene un impacto positivo en la cantidad de actividades programadas cumplidas de las construcciones en la planta UNACEM-Condorcocha. Con las muestras analizadas en el Pretest y Post test se observa una mejoría en un hasta 12.5%, es decir, la cantidad de

actividades programadas cumplidas de las construcciones aumentó significativamente con la metodología Last Planner System.

Asimismo, de acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas pretest y post test y haciendo uso de la prueba t-student, se comprobó que la implementación de la metodología Last Planner System para mejorar la productividad de la construcción logró aumentar la cantidad de actividades programadas cumplidas de las construcciones en la planta UNACEM-Condorcocha, siendo el valor de p igual a 0.00, valor menor que el nivel de significancia igual a 0.05.

### 6.1.3 Rendimiento del presupuesto de la construcción

Del análisis de resultados se concluye que la aplicación de la metodología Last Planner System tiene un impacto positivo en el rendimiento del presupuesto de las construcciones en la planta UNACEM-Condorcocha. De hecho, de acuerdo con las muestras analizadas en el Pretest y Post test se observa una mejoría en un hasta 20.0%, es decir, el rendimiento del presupuesto de las construcciones aumentó con la metodología Last Planner System, debido a una planificación más detallada reduciendo los adicionales de la construcción.

Asimismo, de acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas pretest y post test y haciendo uso de la prueba t-student, se comprobó que la implementación de la metodología Last Planner System para mejorar la productividad de la construcción logró aumentar el rendimiento del presupuesto de las construcciones en la planta UNACEM-Condorcocha, siendo el valor de p igual a 0.00, valor menor que el nivel de significancia igual a 0.05.

## 6.2 Contrastación de los resultados con estudios similares

De acuerdo con los resultados obtenidos de la investigación realizada, se puede inferir que, el Last Planner System influirá significativamente en la mejora de la productividad de la construcción del proyecto Nuevo enfriador de Clinker en la planta UNACEM-Condorcocha.

En este capítulo se efectúa una serie de discusiones sobre los resultados obtenidos por otros autores sobre las mismas casuísticas; así pues, se

realiza un comparativo de cada uno de estos procesos analizando las variables estudiadas.

#### 6.2.1 Tiempo de demora para finalizar la construcción

Los resultados de la presente investigación coinciden con la investigación realizada por Avalos Corpus (2021), donde presenta una serie de resultados donde aplicaron una serie de metodologías basadas en Last Planner System, lo que permitió mejoras considerables en la reducción de tiempos de construcción. Los ahorros de tiempo en los plazos de construcción reportados fueron de hasta el 20% menos que el caso de obras de construcción en los que no se había aplicado la metodología Last Planner.

También, Acosta & Tuesta (2016), en su tesis titulada Implementación del sistema Last Planner para la mejora de la productividad en la construcción de instituciones educativas públicas de nivel primario en zona de selva, presentan resultados similares en su trabajo de investigación. Los resultados encontrados por estos autores muestran que la aplicación del Last Planner System permite reducir los tiempos de construcción en alrededor 18%, específicamente en la construcción de instituciones educativas públicas de nivel primario en zona de selva, evitando sobrecostos por penalidades de retraso oscilantes entre 8 y 15%.

Alineado con los resultados presentados por Avalos Corpus (2021) y Acosta & Tuesta (2016), Amado & Alonso (2019) aplicaron la metodología Last Planner System en la construcción de edificios multifamiliares de gran altura en la ciudad de Lima. De acuerdo con los autores, la aplicación de la metodología Last Planner les permitió incrementar la efectividad de los procesos constructivos, logrando mayores metas en menores tiempos, esto a raíz del control minucioso de las actividades que no generan valor. De acuerdo con los autores se lograron reducciones de tiempo de hasta un 13% con respecto de proyectos de construcción en los que no se aplicó la metodología propuesta.

#### 6.2.2 Cantidad de actividades programadas cumplidas

Los resultados de la presente investigación guardan relación con lo que sostiene Tantavilca Galarza (2019) en su tesis titulada Control de la

productividad en una obra de saneamiento mediante la implementación del Last Planner en Pichari, Cuzco-Perú 2019, donde sostiene que el Last Planner System contribuye significativamente al control de la productividad, demostrándolo al obtener un porcentaje de plan cumplido (PPC) desde el 72.32% hasta 96.75%, llegando a tener un PPC acumulado de 86% hasta la semana 36, superando el PPC meta (85%).

También coincide con lo que refiere Acuña Gonzales (2019) en su tesis “Como mejorar la productividad durante la ejecución de una obra de saneamiento. Caso: obra de saneamiento Esquema Cajamarquilla” donde refiere: “la aplicación de las herramientas de Lean Construction permite un control adecuado generando una optimización en el rendimiento de la producción de la mano de obra”.

Por último, Guzman (2016) aplica la metodología Last Planner en la construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Lima. De acuerdo con el autor, la aplicación de la metodología Last Planner System le permitió incrementar la efectividad de los procesos constructivos (PPC), especialmente en lo que respecta a los tiempos de construcción, esto a raíz del control minucioso de las actividades que no generan valor. De acuerdo con estos reportes, el manejo del tiempo llega a ser tan bueno que no hubo reportes de atrasos con respecto a las obligaciones contractuales lo que se tradujo como cero costos por penalidades de obras.

### 6.2.3 Rendimiento del presupuesto de la construcción

Los resultados de la presente investigación guardan relación con lo que sostiene Mendoza Sánchez (2019) en su tesis titulada Implementación del Last Planner y la Metodología del Valor Ganado en proyectos civiles, construcción de puentes, red vial 5- Huacho, donde el autor señala que: “la aplicación de los indicadores del Last Planner y La Metodología del Valor Ganado influyen en el cumplimiento de los objetivos del proyecto porque al reducir la variabilidad se optimiza la productividad y eficiencia de uso de los recursos y la estabilización del flujo de trabajo”.

También, Tantavilca Galarza (2019) en su tesis titulada Control de la productividad en una obra de saneamiento mediante la implementación del Last Planner en Pichari, Cuzco-Perú 2019, nos señala que “La

implementación del Last Planner también contribuyó en el área de producción, en donde los indicadores del método de valor ganado EVM reflejaban semanalmente el avance de producción de obra, donde el AC acumulado al final de obra fue S/5,630,484.44 y el EV acumulado final fue S/5,867,600.01, esto claramente denota que se logró ventajas económicas en beneficio del proyecto, los valores de CPI= 1.04 y SPI= 0.97 indican un estado favorable del proyecto de acuerdo al presupuesto y plazo establecido”.

### 6.3 Responsabilidad ética

Respecto a la información utilizada en la presente investigación, se ha utilizado información disponible de la empresa UNACEM, también se cita textualmente las literaturas utilizadas, así como las fuentes de gráficos y tablas de datos. Asimismo, parte de la documentación es pertenecía intelectual del autor, así como grafios, tablas de datos, etc.

En relación con los principios éticos universales, por el análisis comparativo de los indicadores de participación de las construcciones en la planta UNACEM-Condorcocha, no son comprometidos, puesto que la presente investigación será de gran ayuda para demostrar las oportunidades de mejora a nivel de planificación de los proyectos de construcción en la planta UNACEM-Condorcocha.

Finalmente, para garantizar la integridad en la presente investigación, se cumplió con honestidad los estándares de ética de la Universidad Nacional del Callao, las cuales sostienen la correcta transparencia y veracidad de la información.

## CONCLUSIONES

- De acuerdo con los resultados obtenidos del presente trabajo de investigación, realizado a la planificación de las construcciones de la empresa UNACEM en su planta Condorcocha, se concluye que con la aplicación de la metodología Last Planner System mejora significativamente la productividad de la planificación de la construcción, haciéndola más confiables. De acuerdo con los datos analizados de los últimos 11 años, el Last Planner System ha permitido mejoras sustanciales en cuanto los indicadores, es decir, en cuanto al indicador tiempo de demora para finalizar la construcción se evidencia una reducción del 29.20% respecto a la planificación tradicional, el indicador porcentaje de plan cumplido durante la construcción tuvo una mejoría de hasta un 12.50% respecto a la planificación tradicional y en el último indicador índice del desempeño del costo durante la construcción se logró mejorar en un 20.00% respecto a la planificación tradicional.
- La implementación del Last Planner System contribuye a dar cumplimiento a los objetivos de tiempo productivo, plazos, margen de utilidad, eficiencia de mano de obra de un proyecto de edificación industrial.
- Los proyectos en donde se implementaron la metodología Last Planner System presentaron mejores resultados que los proyectos ejecutados por la misma empresa en donde no se implementó el Last Planner System.
- El Last Planner System actúa sobre la gestión de la organización, posibilitando un mayor flujo de comunicación y el establecimiento de redes de compromisos confiables que permitan alcanzar los objetivos de los proyectos ( Howell, Macomber, Koskela, & Draper, 2004). A partir de los resultados observados en los 7 proyectos anteriores, en donde el Last Planner System fue implementado, sobre los otros 10 proyectos que

utilizaron la planificación tradicional, la implementación del Last Planner System, como estrategia para mejorar la productividad de la planificación de la construcción del nuevo enfriador de Clinker en la planta de UNACEM-Condorcocha, presenta un alto potencial para el desarrollo y aplicación tanto para las empresas constructoras y/o montajistas como para UNACEM.

- La mejora de la productividad de la construcción, principalmente en las variables tiempo de demora para finalizar la construcción, cantidad de actividades programadas cumplidas y rendimiento del presupuesto, en los proyectos donde se aplicó Last Planner System, establecen condiciones favorables para la solicitud de ejecución de nuevos proyectos de construcción utilizando el Last Planner System, es decir, es factible emplear el Last Planner System en el proyecto de construcción nuevo enfriador de Clinker en la planta de UNACEM-Condorcocha.
- La metodología Last Planner System posee un gran número de herramientas que se pueden aplicar en el proyecto de construcción nuevo enfriador de Clinker en la planta de UNACEM-Condorcocha, sin embargo, para implementar con éxito esta metodología en proyectos que se construyen de manera tradicional, se deben aplicar las herramientas más usadas en el Last Planner System, tales como la planificación maestra, la planificación intermedia, la programación semanal y diaria, el análisis de restricciones, el porcentaje de plan cumplido, las causas de incumplimiento y la mejora continua. De este modo se logra reducir la incertidumbre, la cual es el factor más crítico para el cumplimiento del plazo y costo del proyecto.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se vayan dejando de lado los enfoques de la planificación tradicional y comenzar a aplicar los nuevos conocimientos del enfoque Last Planner System en las nuevas construcciones para disminuir la incertidumbre y aumentar la confiabilidad de los proyectos de construcción.
- Tener en cuenta que en el análisis de restricciones son variables, según al proyecto de construcción que se realice, por tal motivo es bueno tener un listado de restricciones más frecuentes.
- Para lograr un cambio positivo con el uso del Last Planner System en los nuevos proyectos de construcción en UNACEM (planta Condorcocha), se recomienda identificar y analizar los errores y problemas que se han cometido en proyectos anteriores.
- Con los resultados positivos obtenidos en el indicador tiempo de demora para finalizar la construcción, se observa que es posible culminar la construcción con un retraso mínimo. Por tal motivo se recomienda a la gerencia de proyectos la implementación de la metodología Last Planner en los proyectos de construcción, con la finalidad de mitigar los tiempos de demora para finalizar la construcción y así evitar las penalidades de construcción, teniendo en cuenta que el monto de penalidad es directamente proporcional a los días de atraso.
- Respecto a los resultados demostrados en el presente trabajo sobre el indicador cantidad de actividades programadas cumplidas, se observa el incremento sustancial del indicador. Por tal motivo se recomienda a la gerencia de proyectos la aplicación de las metodologías del Last Planner en

los proyectos de construcción, teniendo en cuenta que el monto de penalidad es directamente proporcional a los días de atraso.

- Con los resultados positivos obtenidos en el presente trabajo sobre el indicador rendimiento del presupuesto de la construcción, se observa el incremento del indicador. Por tal motivo se recomienda a la gerencia de proyectos la aplicación de las metodologías del Last Planner en los proyectos de construcción, teniendo en cuenta que el monto de penalidad es directamente proporcional a los días de atraso.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Angeli Gutiérrez, C. (2017). Implementación del sistema last planner en edificación en altura en una empresa constructora. (*Tesis de pregrado*). Universidad Andrés Bello, Santiago.
- Ayala Vilela, O. J., & Temoche Rosillo, V. e. (2017). Metodologías y herramientas de gestión para la mejora continua de la productividad en la construcción. *Trabajo de Suficiencia Profesional*. Universidad de Piura, Piura.
- Ballard, G. (2000). Phase scheduling. *LCI White Paper*, 7, 7-9.
- Ballard, G., & Howell, G. (1994). Implementing Lean Construction: Stabilizing work flow. *lean construction*, 2, 105-114.
- Campero Quezada, M., & Alarcón Cárdenas, L. (2008). *Administración de Proyectos Civiles (3° edición Ampliada)*. Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Campos Deza , C., & Guadaña Chacón, O. (2019). Implementación del sistema Last Planner en construcción de puentes metálicos. (*Tesis de maestría*). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima.
- García, R. (2005). *Estudio del trabajo. Ingeniería de métodos y Medición del trabajo*. México, D.F.: McGraw-Hill.
- Howell, G. A., Macomber, H., Koskela, L., & Draper, J. (2004). Leadership and Project Management: Time For a Shift from Fayol to Flores. 1-8.
- Kanawaty, G. (1996). *Introducción al Estudio del Trabajo - Cuarta Edición*. Ginebra: Organización Internacional del Trabajo.

- LCI Perú, L. C. (12 de 12 de 2019). *LCI Perú*. Obtenido de Lean Construction Institute Perú: <https://www.lciperu.org/projects>
- López, J. (2012). *Productividad*.
- Macomber, H., & Howell, G. (2003). Linguistic action: Contributing to the theory of lean construction. *In Proceedings of the 11th Annual Meeting of the International Group for Lean Construction*. Virginia.
- Miranda, F., Chamorro, A., & Rubio, S. (2007). *Introducción a la gestión de la calidad*. Madrid: Delta.
- Niebel, B., & Freivald, A. (2001). *Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo*. México, D.F.: Alfaomega.
- Niebel, B., & Freivalds, A. (2009). *Herramientas para la solución de problemas. Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*. México: McGraw-Hill.
- Nieto Morote, A. M., Ruz Vila, F., & Nieto Morote, C. (2009). *Estrategias para la Implementación del Sistema de Gestión last Planner*. Badajoz.
- OBS Business School. (27 de Agosto de 2020). *OBS Business School*. Obtenido de OBS Business School Web Site: <https://obsbusiness.school/int/blog-project-management/agile-project-management/cuales-son-las-metodologias-agiles-mas-utilizadas>
- Ogalla, F. (2005). *Sistema de Gestión - Una guía práctica*. Diaz De Santos.
- Orihuela, P., & Ulloa, K. (2011). La planificación de las Obras y el Sistema Last Planner. *Corporación Aceros Arequipa Construcción Integral Boletín N° 12*, 1-2.
- PMI, P. M. (2017). *Project Management Body of Knowledge*. Pennsylvania: Independent Publishers Group.
- Pons Achell, J. (2014). *Introducción a Lean Construction*. Madrid: Fundación laboral de la construcción.
- Porrás Díaz, H., Sánchez Rivera, O., & Galvis Guerra, J. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción. *Avances: Investigación en Ingeniería Volumen 11*, 35.

RAE, R. A. (12 de 12 de 2019). *Real Academia Española*. Obtenido de RAE:  
<https://dle.rae.es/>

Real Academia Española. (27 de Agosto de 2020). Obtenido de RAE Web Site:  
<https://dle.rae.es/eficiencia>

Real Academia Española. (27 de Agosto de 2020). Obtenido de RAE Web Site:  
<https://dle.rae.es/eficacia>

Serpell, A. (2002). *Administración de Operaciones de Construcción (2da Edición)*. Santiago: AlfaOmega – Ediciones Universidad Católica de Chile.

Serpell, A., & Alarcón, L. F. (2001). *Planificación y Control de Proyectos (Segunda Edición)*. Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.

Tantavilca, L. H. (2019). *Control de la productividad en una obra de saneamiento mediante la implementación del Last Planner en Pichari, Cuzco-Perú 2019*. Huancayo.

Vitteri Sarmiento, J. (2007). La variabilidad en los procesos de carguío y transporte. (*Tesis de maestría*). Universidad nacional de Ingeniería, Lima.

# ANEXOS

## Anexo 1: Matriz de consistencia

### IMPLEMENTACIÓN DEL LAST PLANNER SYSTEM PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE LA PLANIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO ENFRIADOR DE CLINKER EN LA PLANTA UNACEM-CONDORCOCHA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
<p><b>GENERAL:</b></p> <p>¿De qué manera influye el Last Planner System en la mejora de la productividad de la planificación de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha?</p> <p><b>ESPECÍFICOS:</b></p> <p>¿De qué manera influye el Last Planner System en el cumplimiento del plazo estimado de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha?</p> <p>¿De qué manera influye el Last Planner System en el cumplimiento de actividades programadas (Master Plan) de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha?</p> <p>¿De qué manera influye el Last Planner System en el control de los costos estimados de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha?</p>	<p><b>GENERAL:</b></p> <p>Determinar la Influencia del Last Planner System en la mejora de la productividad de la planificación de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha.</p> <p><b>ESPECÍFICOS:</b></p> <p>Determinar la Influencia del Last Planner System en el cumplimiento del plazo estimado de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha.</p> <p>Determinar la Influencia del Last Planner System en el cumplimiento de actividades programadas (Master Plan) de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha.</p> <p>Determinar la Influencia del Last Planner System en el control de los costos estimados de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha.</p>	<p><b>GENERAL:</b></p> <p>El Last Planner System influye significativamente en la mejora de la productividad de la planificación de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha.</p> <p><b>ESPECÍFICOS:</b></p> <p>Mediante la implementación del Last Planner System se mejorará el cumplimiento del plazo estimado de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha.</p> <p>El Last Planner System influye significativamente en el cumplimiento de actividades programadas (Master Plan) de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha.</p> <p>El Last Planner System influye en el control de los costos estimados de la construcción del proyecto Nuevo Enfriador de Clinker en la Planta UNACEM-Condorcocha.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p><b>LAST PLANNER SYSTEM</b></p> <p>Variable Dependiente</p> <p><b>MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD DE LA PLANIFICACIÓN</b></p> <p>Tiempo de demora para finalizar la construcción</p> <p>Cantidad de actividades programadas cumplidas</p> <p>Rendimiento del presupuesto de la construcción</p>	<p>Tiempo de demora</p> <p>Porcentaje de plan cumplido (PPC)</p> <p>Índice del desempeño del costo (CPI)</p>

Matriz de consistencia  
Fuente: Elaboración propia

## Anexo 2: Fichas de recolección de datos

Tipo de instrumento : Ficha de recolección de datos 01  
 Tipo de planificación : Tradicional  
 Indicador : Tiempo de demora para finalizar la construcción / Retraso  
 Fecha de creación : 11/10/2021  
 Toma de datos : Ricardo Price León

Proyectos ejecutados mediante planificación tradicional						
Ítem	Número de Proyecto	Nombre del Proyecto	Año	Tiempo (días calendario)		
				Línea base	Real	Retraso
1	2106	Molienda Combinada de Cemento 6	2009	411	539	128
2	2096	Nuevo Multisilo 20,000 Ton	2010	356	517	161
3	2104	Ampliación de la capacidad de Envase y Despacho Línea N°4	2011	315	421	106
4	2108	Ampliación de la capacidad del Despacho Línea N°4	2012	220	321	101
5	2112	Ampliación de la capacidad en 7000,000TM - Horno IV	2013	627	774	147
6	2078	Nueva Molienda de Carbón	2016	489	662	173
7	2137	Molino de Cemento 8	2016	419	677	258
8	2138	Nueva Línea de Embolsado 5	2017	265	414	149
9	2119	Central Hidroeléctrica Carpapata III	2015	598	753	155

Tipo de instrumento : Ficha de recolección de datos 02  
 Tipo de planificación : Last Planner System  
 Indicador : Tiempo de demora para finalizar la construcción / Retraso  
 Fecha de creación : 11/10/2021  
 Toma de datos : Ricardo Price León

Proyectos ejecutados mediante metodología Last Planner System						
Ítem	Número de Proyecto	Nombre del Proyecto	Año	Tiempo (días calendario)		
				Línea base	Real	Retraso
1	2101	Modernización del Sistema de Control del Horno III en la Planta UNACEM en Condorcocha	2014	144	184	40
2	2135	Techado de la Cancha de Clinker en la Planta UNACEM en Condorcocha	2018	309	339	30
3	2144	Horno V Molino de Crudo en la Planta UNACEM en Condorcocha	2017	290	349	59
4	2142	Nuevo Silo de Cemento Tipo 5 en la Planta UNACEM en Condorcocha	2015	177	213	36
5	2143	Implementación de Nuevo Sistema Contra Incendio en la Planta UNACEM en Condorcocha	2019	168	221	53
6	2162	Nuevo Filtro de Mangas en Molienda Combinada en la Planta UNACEM en Condorcocha	2018	128	157	29
7	2196	Nuevo Enfriador de Clinker Horno III en la Planta UNACEM en Condorcocha	2019	314	327	13

Tipo de instrumento : Ficha de recolección de datos 03  
 Tipo de planificación : Tradicional  
 Indicador : Porcentaje de plan cumplido  
 Fecha de creación : 11/10/2021  
 Toma de datos : Ricardo Price León

Proyectos ejecutados mediante planificación tradicional				
Ítem	Número de Proyecto	Nombre del Proyecto	Año	% promedio de Plan cumplido
1	2106	Molienda Combinada de Cemento 6	2009	80.22%
2	2096	Nuevo Multisilo 20,000 Ton	2010	87.47%
3	2104	Ampliación de la capacidad de Envase y Despacho Línea N°4	2011	81.20%
4	2108	Ampliación de la capacidad del Despacho Línea N°4	2012	79.90%
5	2112	Ampliación de la capacidad en 7000,000TM - Horno IV	2013	84.72%
6	2078	Nueva Molienda de Carbón	2016	85.41%
7	2137	Molino de Cemento 8	2016	76.98%
8	2138	Nueva Línea de Embolsado 5	2017	81.75%
9	2119	Central Hidroeléctrica Carpapata III	2015	78.36%

Tipo de instrumento : Ficha de recolección de datos 04  
 Tipo de planificación : Last Planner System  
 Indicador : Porcentaje de plan cumplido  
 Fecha de creación : 11/10/2021  
 Toma de datos : Ricardo Price León

Proyectos ejecutados mediante metodología Last Planner System				
Ítem	Número de Proyecto	Nombre del Proyecto	Año	% promedio de Plan cumplido
1	2101	Modernización del Sistema de Control del Horno III en la Planta UNACEM en Condorcocha	2014	89.90%
2	2135	Techado de la Cancha de Clinker en la Planta UNACEM en Condorcocha	2018	92.50%
3	2144	Horno V Molino de Crudo en la Planta UNACEM en Condorcocha	2017	90.87%
4	2142	Nuevo Silo de Cemento Tipo 5 en la Planta UNACEM en Condorcocha	2015	93.55%
5	2143	Implementación de Nuevo Sistema Contra Incendio en la Planta UNACEM en Condorcocha	2019	88.49%
6	2162	Nuevo Filtro de Mangas en Molienda Combinada en la Planta UNACEM en Condorcocha	2018	86.88%
7	2196	Nuevo Enfriador de Clinker Horno III en la Planta UNACEM en Condorcocha	2019	94.41%

Tipo de instrumento : Ficha de recolección de datos 05  
 Tipo de planificación : Tradicional  
 Indicador : Índice del desempeño del costo  
 Fecha de creación : 11/10/2021  
 Toma de datos : Ricardo Price León

Proyectos ejecutados mediante planificación tradicional				
Ítem	Número de Proyecto	Nombre del Proyecto	Año	Índice del desempeño del costo (CPI)
1	2106	Molienda Combinada de Cemento 6	2009	0.80
2	2096	Nuevo Multisilo 20,000 Ton	2010	0.76
3	2104	Ampliación de la capacidad de Envase y Despacho Línea N°4	2011	0.81
4	2108	Ampliación de la capacidad del Despacho Línea N°4	2012	0.82
5	2112	Ampliación de la capacidad en 7000,000TM - Horno IV	2013	0.77
6	2078	Nueva Molienda de Carbón	2016	0.72
7	2137	Molino de Cemento 8	2016	0.67
8	2138	Nueva Línea de Embolsado 5	2017	0.76
9	2119	Central Hidroeléctrica Carpapata III	2015	0.71

Tipo de instrumento : Ficha de recolección de datos 06  
 Tipo de planificación : Last Planner System  
 Indicador : Índice del desempeño del costo  
 Fecha de creación : 11/10/2021  
 Toma de datos : Ricardo Price León

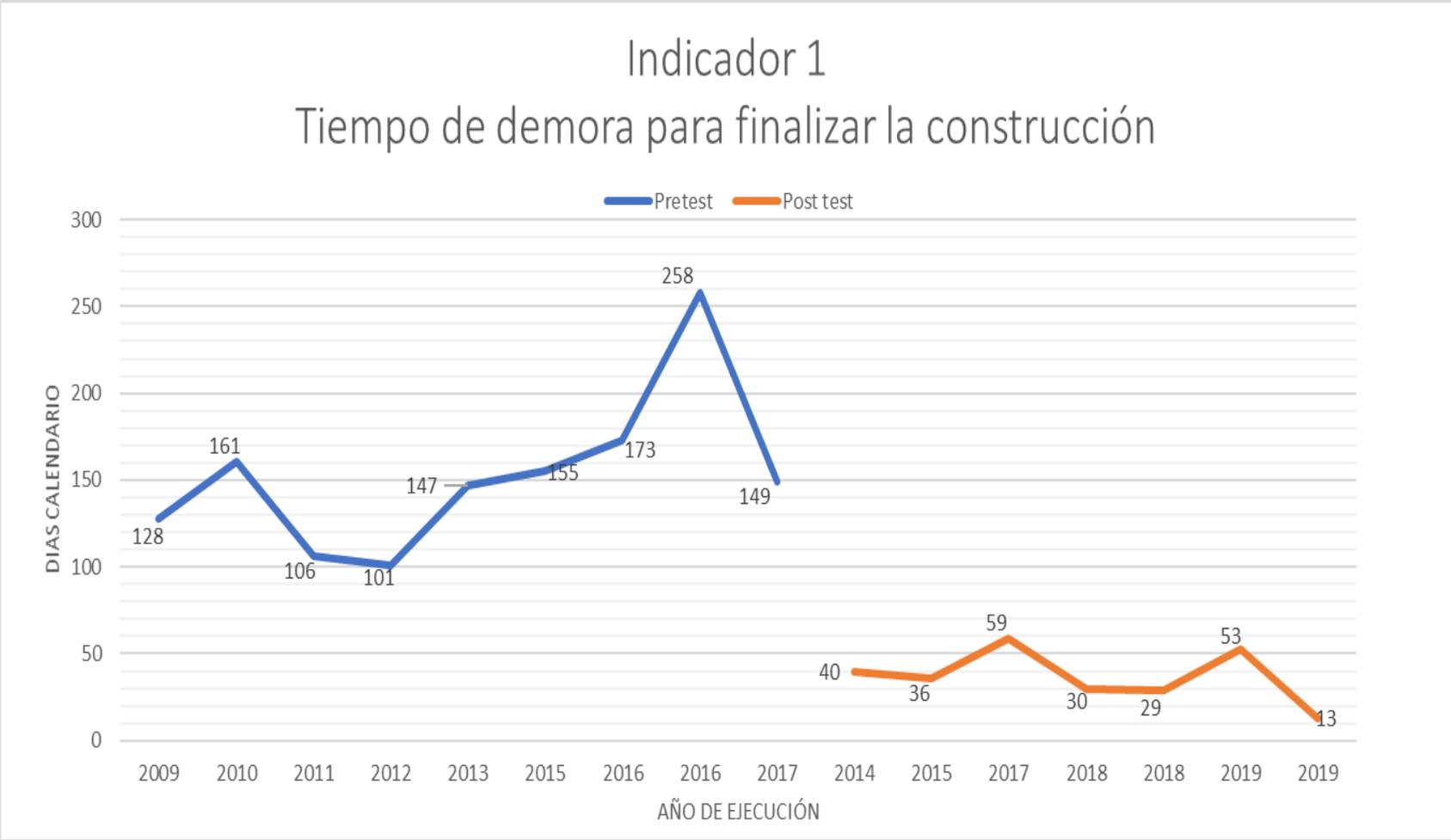
Proyectos ejecutados mediante metodología Last Planner System				
Ítem	Número de Proyecto	Nombre del Proyecto	Año	Índice del desempeño del costo (CPI)
1	2101	Modernización del Sistema de Control del Horno III en la Planta UNACEM en Condorcocha	2014	0.93
2	2135	Techado de la Cancha de Clinker en la Planta UNACEM en Condorcocha	2018	0.95
3	2144	Horno V Molino de Crudo en la Planta UNACEM en Condorcocha	2017	0.92
4	2142	Nuevo Silo de Cemento Tipo 5 en la Planta UNACEM en Condorcocha	2015	0.94
5	2143	Implementación de Nuevo Sistema Contra Incendio en la Planta UNACEM en Condorcocha	2019	0.92
6	2162	Nuevo Filtro de Mangas en Molienda Combinada en la Planta UNACEM en Condorcocha	2018	0.95
7	2196	Nuevo Enfriador de Clinker Horno III en la Planta UNACEM en Condorcocha	2019	0.98

### Anexo 3: Base de datos

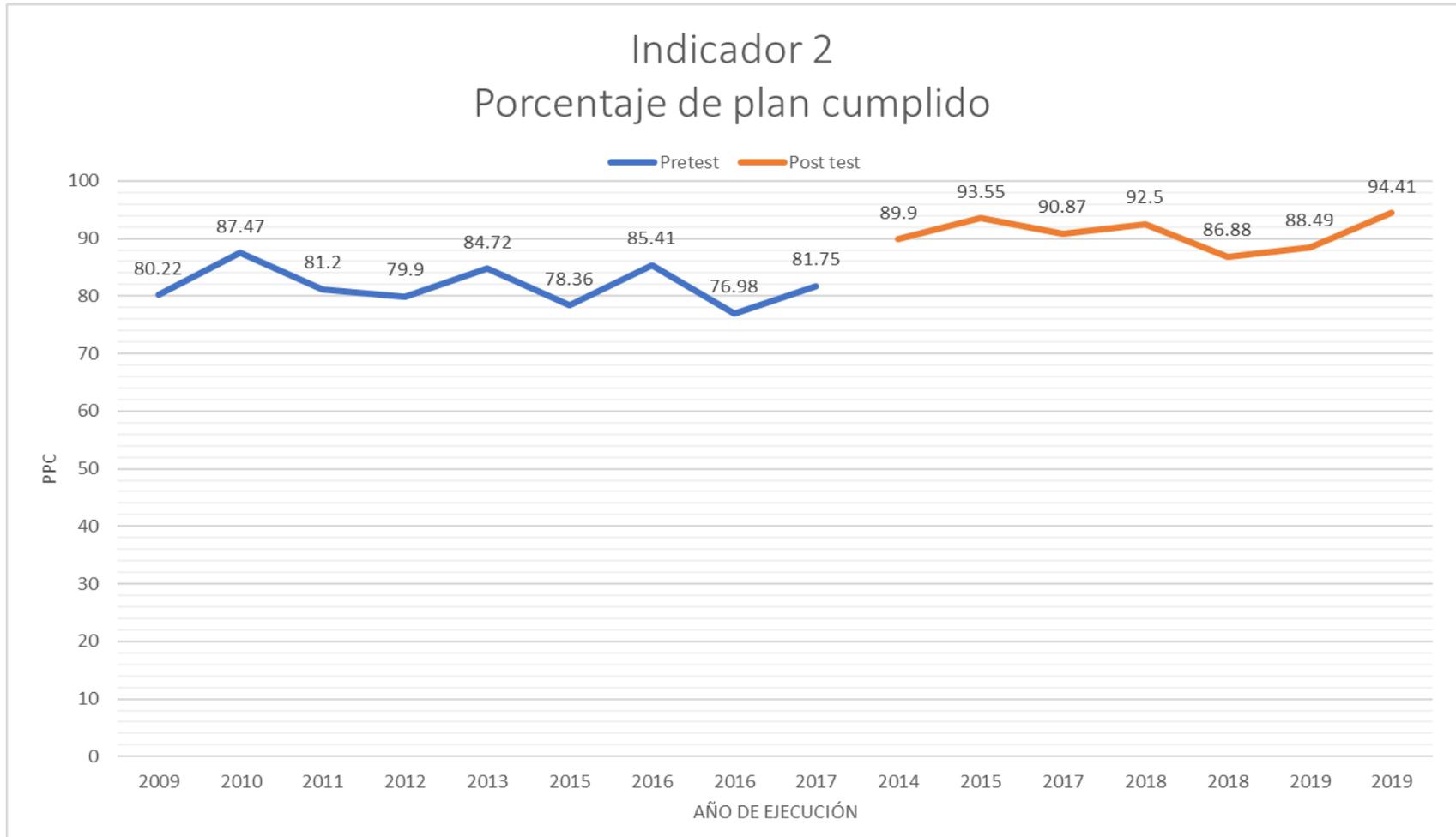
Ítem	Indicador 1		Indicador 2		Indicador 3	
	Tiempo de demora Pretest	Tiempo de demora Post test	Porcentaje de plan cumplido Pretest	Porcentaje de plan cumplido Post test	CPI Pretest	CPI Post test
1	128	40	80.22	89.9	0.80	0.93
2	161	30	87.47	92.5	0.76	0.95
3	106	59	81.2	90.87	0.81	0.92
4	101	36	79.9	93.55	0.82	0.94
5	147	53	84.72	88.49	0.77	0.92
6	173	29	85.41	86.88	0.72	0.95
7	258	13	76.98	94.41	0.67	0.98
8	149	-	81.75	-	0.76	-
9	155	-	78.36	-	0.71	-

**Anexo 4: Comportamiento de las medidas descriptivas**

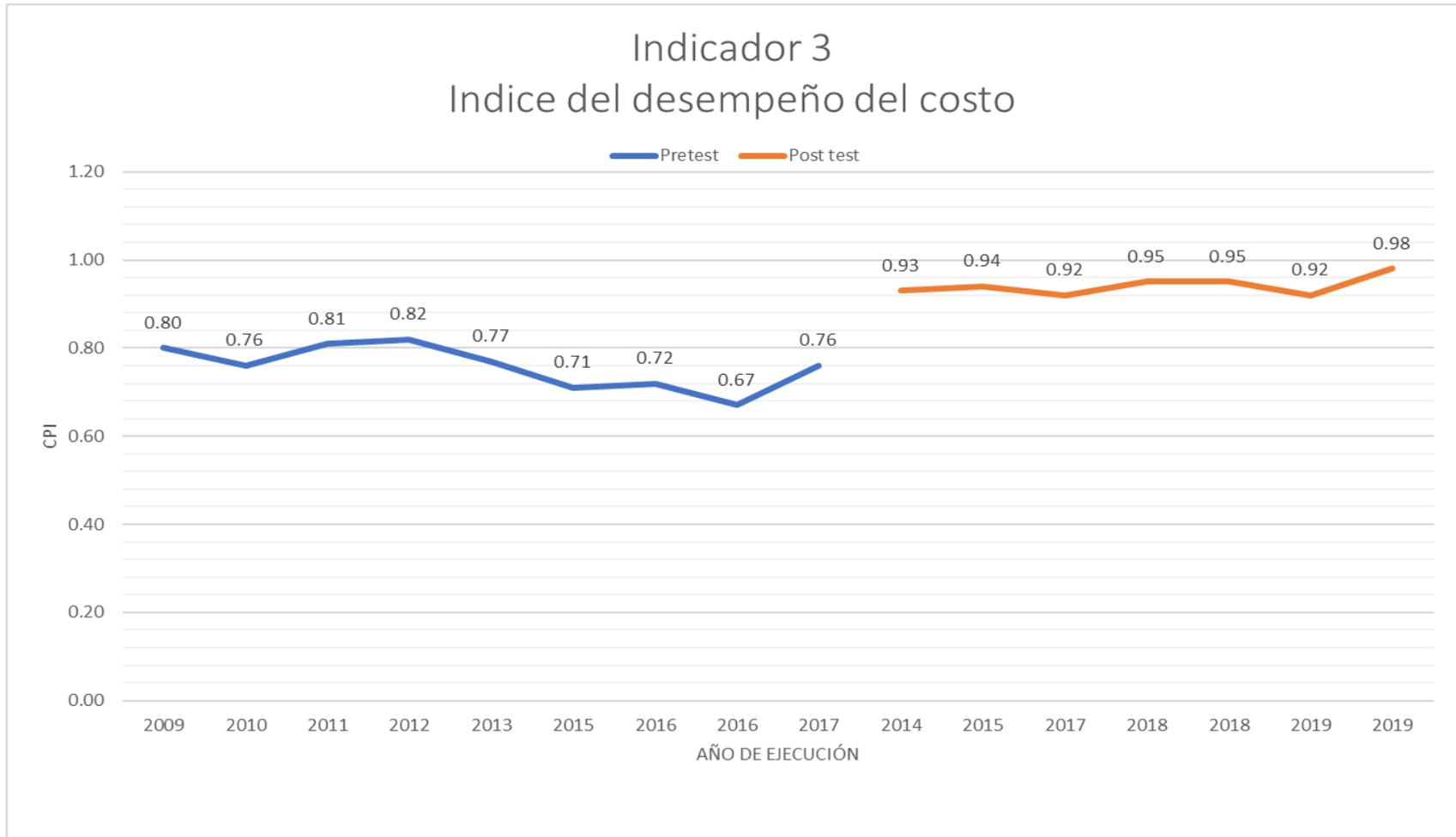
**Indicador 1:** Comportamiento de los datos asociados a la dimensión de demora para finalizar la construcción



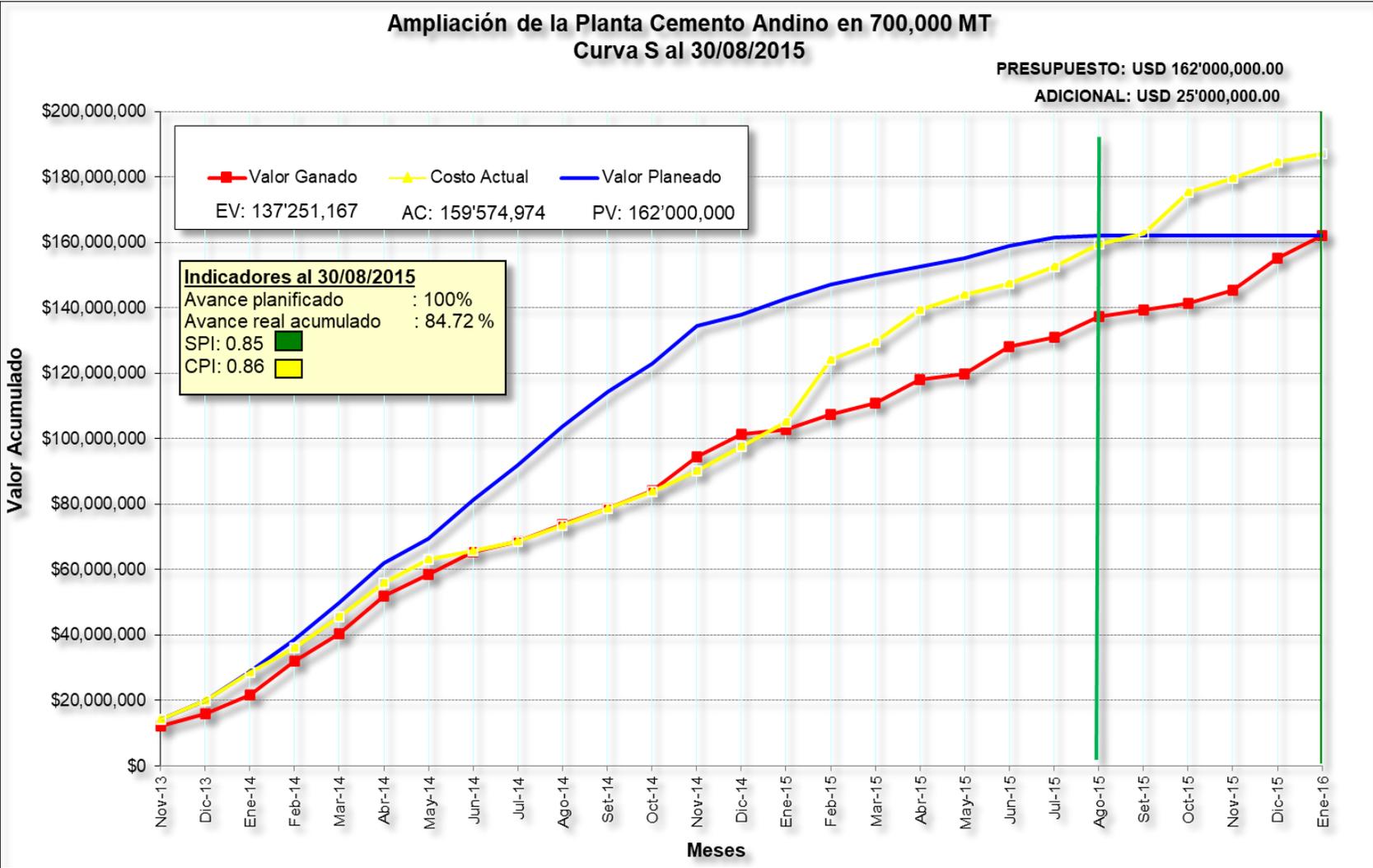
**Indicador 2:** Comportamiento de los datos asociados a la dimensión de porcentaje de plan cumplido



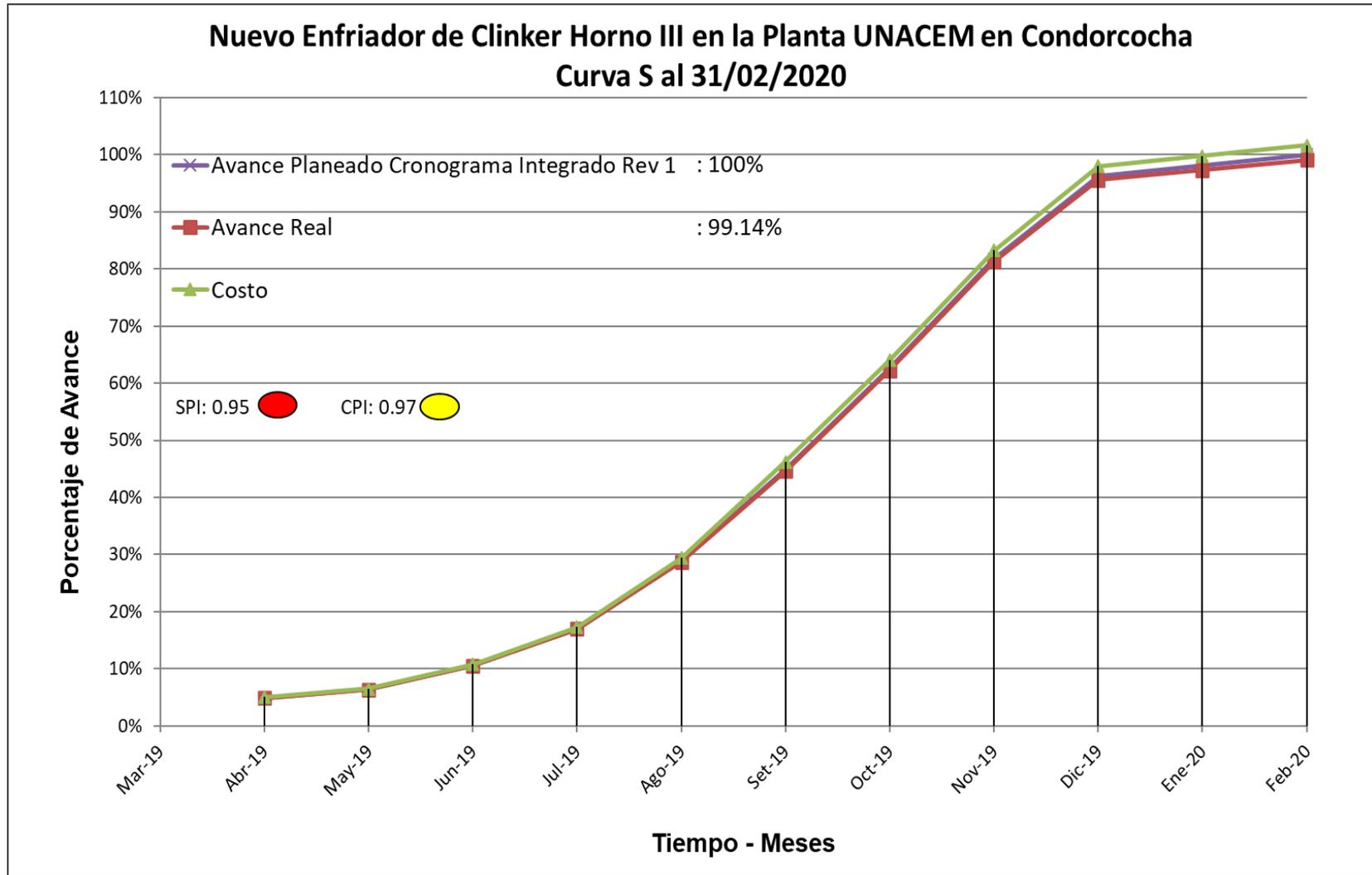
**Indicador 3:** Comportamiento de los datos asociados a la dimensión del índice de desempeño del costo



**Anexo 5: Curva S típica de un proyecto de construcción con planificación tradicional  
ejecutado en la planta de UNACEM-Condorcocha**

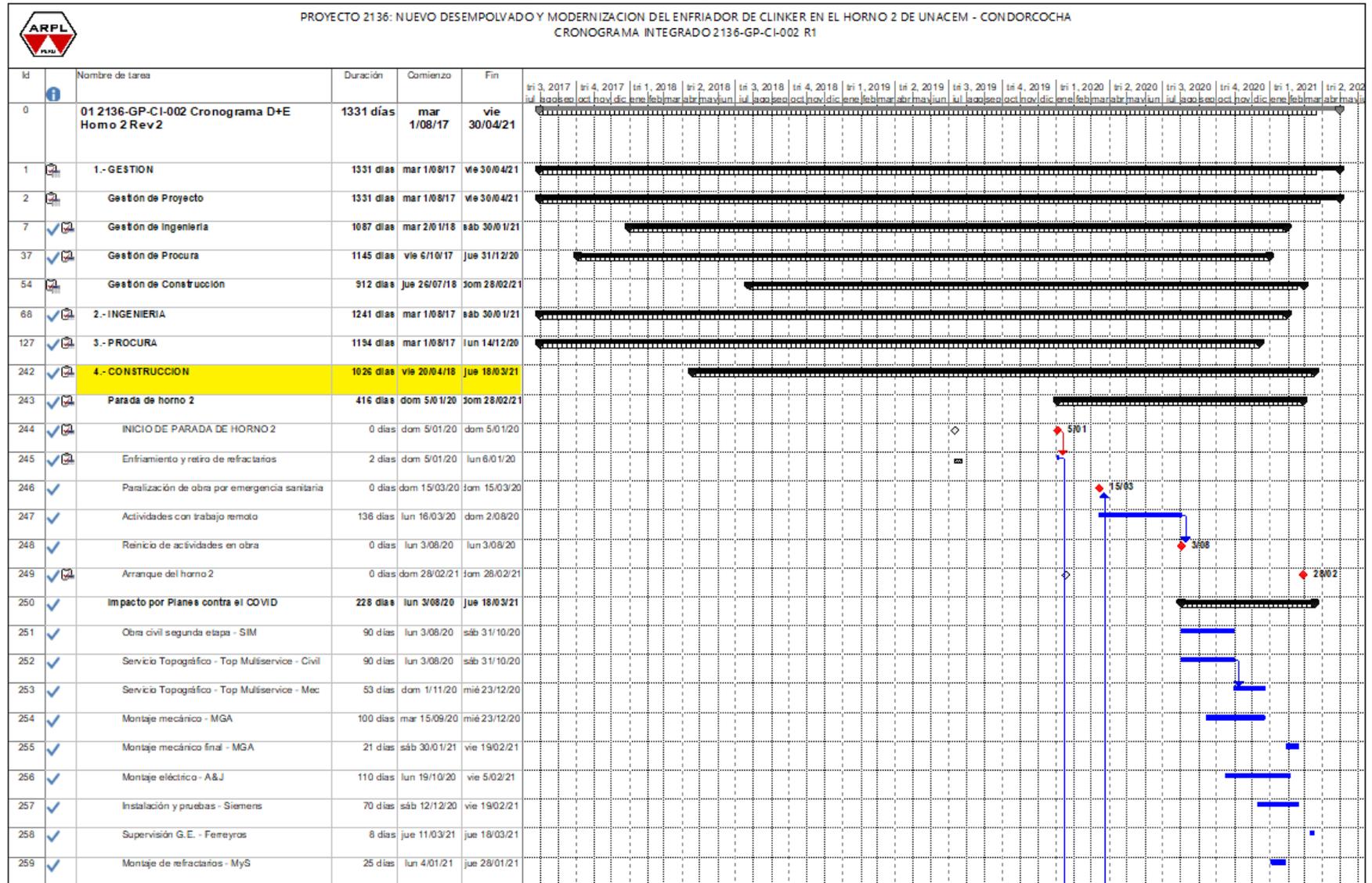


**Anexo 6: Curva S típica de un proyecto de construcción con metodología Last Planner System ejecutado en la planta de UNACEM-Condorcocha**



## Anexo 7: Planificación con metodología Last Planner System en la construcción del nuevo enfriador de Clinker en la planta de UNACEM-Condorcocha

### Cronograma de la etapa de construcción



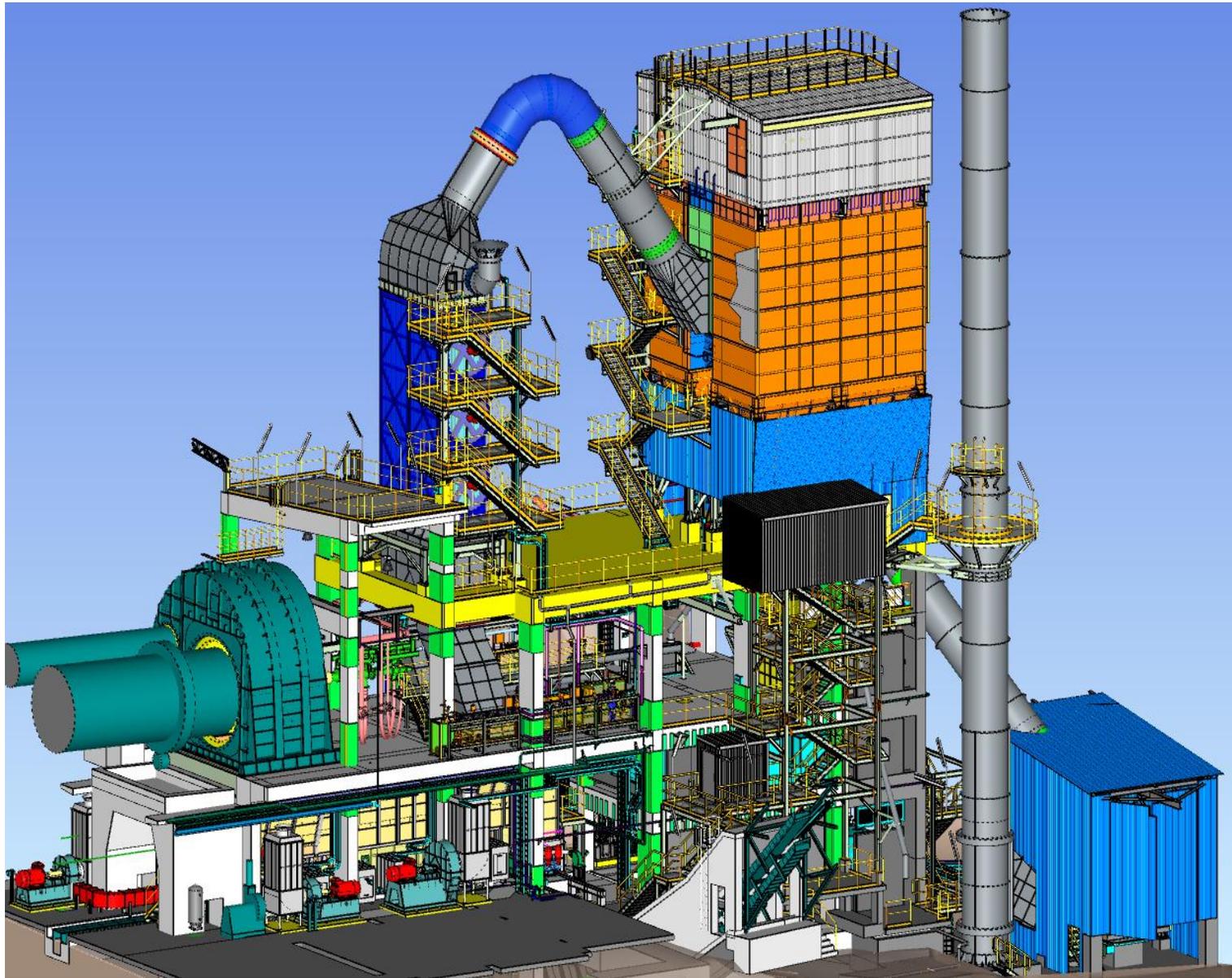








**Modelo 3D del proyecto Nuevo enfriador de Clinker Horno 2 en UNACEM – Condorcocha**



## Hoja de porcentaje de plan cumplido (PPC) de la semana del 27 de agosto 2020 de la disciplina civil

		PORCENTAJE DE PLAN DE CUMPLIMIENTO (PPC) SEMANA Nro. 10													
Item	Descripción	Und	Metrado Total	SEMANA 10							Cant. Prog.	Metrados Ejecutados en la Semana 10	Alcanzado	% Ejecutado en la Semana 10	CAUSAS DE NO CUMPLIMIENTO
				L 27-Aug	M 28-Aug	Mi 29-Aug	J 30-Aug	V 31-Aug	S 1-Sep	D 2-Sep					OBSERVACIONES
<b>REFORZAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL EDIFICIO PARA EL ENFRIADOR DEL HORNO 2 - SEGUNDA ETAPA</b>															
<b>3.00</b>	<b>DESEMPOLVADO HORNO 2</b>														
<b>4.04</b>	<b>TRITURADORA Y PLATAFORMA DE MANTENIMIENTO</b>														
<b>04.04.01</b>	<b>VIGA EN ZONA DE TRITURADORA</b>														
04.04.01.01	PERFORACIÓN Y ANCLAJE DE DOWELS Ø 1" EN VIGA	und	12.00		6.00	6.00						<b>12.00</b>	12.00	SÍ	100%
04.04.01.02	PERFORACION Y ANCLAJE DE DOWELS Ø 1/2" EN VIGA	und	16.00				4.00	4.00	4.00	4.00		<b>16.00</b>	16.00	SÍ	100%
04.04.01.03	ACERO DE REFUERZO fy=4,200 KG/CM2 P/VIGAS	kg	184.26	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00			<b>180.00</b>	180.00	SÍ	100%
04.04.01.04	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE VIGAS	m2	6.68						3.00	3.68		<b>6.68</b>	6.00	No	90%
04.04.01.05	EPÓXICO DE ADHERENCIA PARA UNIR CONCRETO NUEVO	m2	1.91	1.91								<b>1.91</b>	1.91	SÍ	100%
04.04.01.06	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CONCRETO f'c=280	m3	2.00			2.00						<b>2.00</b>	2.00	SÍ	100%
04.04.01.07	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE VIGAS	m2	6.68	3.00	3.68							<b>6.68</b>	6.68	SÍ	100%
04.04.01.08	SOLAQUEO DE ESTRUCTURA	m2	1.67		1.67							<b>1.67</b>	1.67	SÍ	100%
<b>04.04.02</b>	<b>REFORZAMIENTO DE LOSA PARA PLATAFORMA DE</b>														
04.04.02.01	PERFORACION DE ANCLAJE DE PERNO DE Ø 1" EN	und	16.00		4.00	4.00	4.00	4.00				<b>16.00</b>	16.00	SÍ	100%
04.04.02.02	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ANCLAJE DE PERNO DE Ø	und	16.00				4.00	4.00	4.00	4.00		<b>16.00</b>	16.00	SÍ	100%
04.04.02.03	ESCARIFICADO DE FONDO DE LOSA	m2	0.94	0.94								<b>0.94</b>	0.94	SÍ	100%
04.04.02.04	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE VIGA METÁLICA W12 x30,	kg	308.62				100.00	100.00	100.00	8.62		<b>308.62</b>	300.00	No	97%
<b>4.05</b>	<b>SALA HIDRAULICA</b>														
<b>04.05.01</b>	<b>BASE DE EQUIPO HIDRAULICO</b>														
04.05.01.01	ESCARIFICADO DE LOSA EXISTENTE	m2	4.37			1.00	1.00	1.00	1.00	0.37		<b>4.37</b>	4.37	SÍ	100%
04.05.01.08	SOLAQUEO DE ESTRUCTURA	m2	0.89	0.89								<b>0.89</b>	0.89	SÍ	100%
04.05.01.09	RESANE DE PISO CONCRETO f'c= 280 KG/CM2	m2	4.48			2.00	2.48					<b>4.48</b>	4.48	SÍ	100%
N° de Actividades Planificadas                    15 N° de Actividades Completadas (Sí)                13 N° de Actividades No Completadas                2 PPC de la Semana <b>86.67%</b> % Ejecutado de la Semana                            93%															

## Hoja de programación de actividades de la semana del 26 de abril 2021 de la disciplina mecánica

ACTIVIDADES	REAL ACUMULADO	DEL	MARZO							26-Abr	OBSERVACIONES/ RESTRICCIONES	ACCIONES CORRECTIVAS
		AL	L	M	M	J	V	S	D	2-May		
			26	27	28	29	30	1	2	METRADO		
<b>CULMINACIÓN DEL PROYECTO 2136-GP-CI-003 NUEVO DESEMPOLVADO Y MODERNIZACIÓN DE CLINKER H2</b>												
<b>ADICIONALES ENFRIADOR</b>												
Apoyo a ARPL en arranque de equipos (arranque en secuencia).	0%	PLAN	15%	15%	15%	15%	15%	15%	10%	100%		
		REAL								0%		
<b>ADICIONALES DESEMPOLVADO</b>												
Izaje de canastillas del nivel 12,500 hasta losas de preensamble.	0%	PLAN	100%							100%		
		REAL								0%		
Movilización de canastillas desde losas de preensamble hasta pacchon.	0%	PLAN	100%							100%		
		REAL								0%		
Instalacion de techo en filtro mangas nivel 12,500.	0%	PLAN	25%	25%	25%	25%				100%		
		REAL								0%		
Caseta proteccion para tanque pulmon en nivel 12,500.	0%	PLAN	20%	20%	20%	20%	20%			100%		
		REAL								0%		
Fabricación de chutes de descarga para heliciodales del nivel 12.500.	0%	PLAN	50%	50%						100%		
		REAL								0%		

## Hoja de porcentaje de plan cumplido (PPC) de la semana del 26 de abril 2021 de la disciplina mecánica

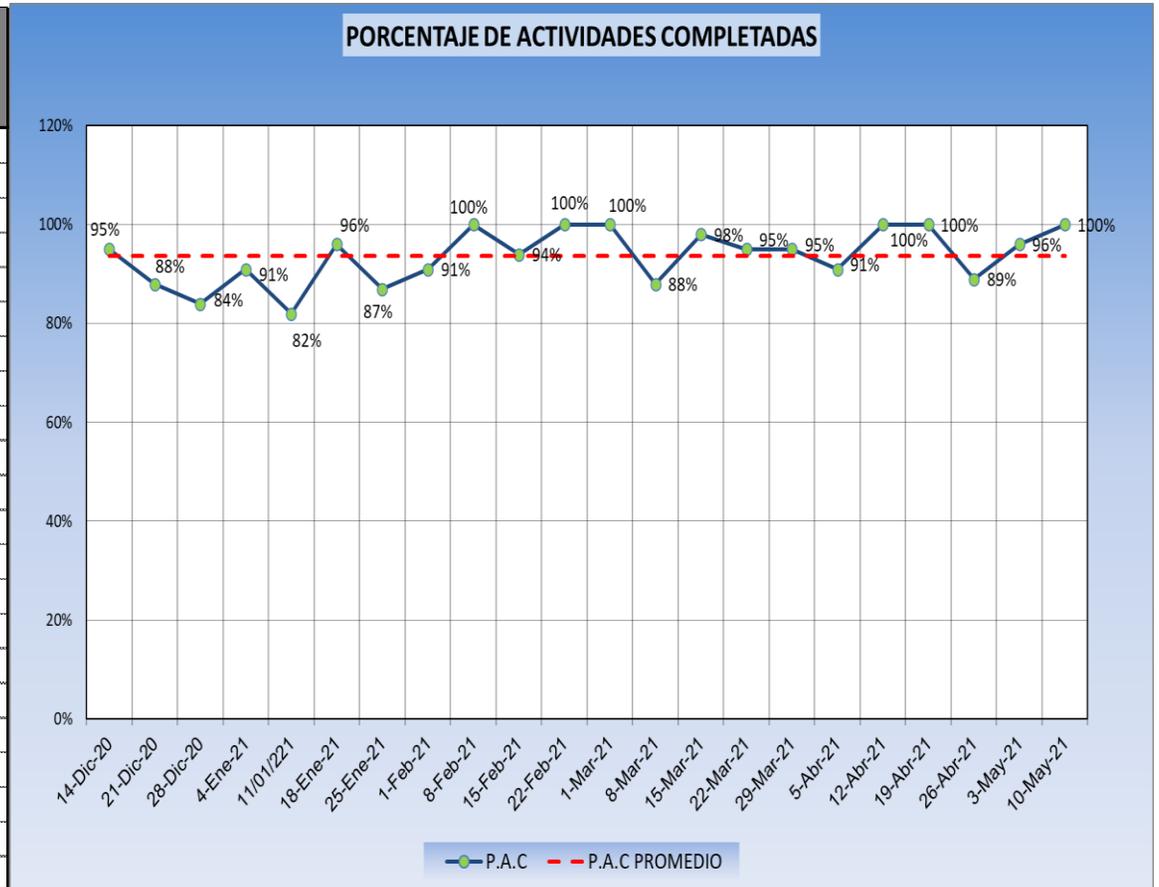
ACTIVIDADES	REAL ACUMULADO	DEL	MARZO							26-Abr	ACTIVIDADES CUMPLIDAS		OBSERVACIONES/ RESTRICCIONES	ACCIONES CORRECTIVAS		
		AL	L	M	M	J	V	S	D	2-May	SI	NO				
<b>CULMINACIÓN DEL PROYECTO 2136-GP-CI-003 NUEVO DESEMPOLVADO Y MODERNIZACIÓN DE CLINKER H2</b>																
<b>ADICIONALES ENFRIADOR</b>																
Apoyo a ARPL en arranque de equipos (Pruebas en secuencia).	100%	PLAN		25%	25%	25%	25%			100%						
		REAL		25%	25%	25%	25%			100%	x					
Apoyo a ARPL en arranque de equipos (Pruebas con carga).	100%	PLAN						50%	50%	100%			SOLO SE TIENE 1 GRUPO PARA PRUEBAS CON CARGA			
		REAL						50%	50%	100%	x					
<b>ADICIONALES DESEMPOLVADO</b>																
Izaje de canastillas del nivel 12,500 hasta losas de preensamble.	100%	PLAN	100%							100%						
		REAL	100%							100%	x					
Movilización de canastillas desde losas de preensamble hasta pacchon.	100%	PLAN	100%							100%						
		REAL	100%							100%	x					
Instalacion de techo en filtro mangas nivel 12,500.	100%	PLAN	25%	25%	25%	25%				100%						
		REAL	25%	25%	25%	25%				100%	x					
Caseta proteccion para tanque pulmon en nivel 12,500.	100%	PLAN	20%	20%	20%	20%	20%			100%						
		REAL	25%	25%	25%	25%				100%	x					
Fabricación de chutes de descarga para heliciodales del nivel 12.500.	100%	PLAN	50%	50%						100%						
		REAL	50%	50%						100%	x					
Reparación, armado y montaje de guillotina para heliciodales del 12,500.	100%	PLAN								0%						
		REAL			30%	40%	30%			100%						
Instalación de puerta en el banco de baterias.	100%	PLAN								0%						
		REAL				50%	50%			100%						
												<b>PPC</b>				
												<b>ENFRIADOR</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>100%</b>
												<b>DESEMPOLVADO</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>
												<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>100%</b>
												<b>ACTIVIDAD ES CUMPLIDAS</b>	<b>ACTIVIDAD ES NO CUMPLIDAS</b>	<b>TOTAL DE ACTIVIDADES PROGRAMADAS</b>		

## Hoja de porcentaje de plan cumplido (PPC) de la semana del 26 de abril 2021 de la disciplina eléctrica y control

ACTIVIDADES	Progr. sem 24	SEM MES DIA FECHA	Semana 28							% PROG. SEM. / % REAL SEM.	PAC		CLASIFICACIÓN Causa de No Cumplimiento (CNC)		COMENTARIOS	% PROG. ACUM. / % REAL ACUM.
			Marzo								87.50%		SI	NO		
			L	M	M	J	V	S	D		7	1				
			26	27	28	29	30	1	2							
<b>NUEVO DESEMPOLVADO Y MODERNIZACION DEL ENFRIADOR DE CLINKER H2 - A&amp;J</b>																
<b>Tendido de cables</b>																
Instalacion de sellos ROXTEC	0.00%	Progr.		3.00%	3.00%	3.00%	3.00%			12.00%		X			Se requiere rediseño de sellos roxtec ante nueva	100.00%
		Real	2.00%							2.00%						90.00%
<b>PRUEBAS 2136</b>																
<b>DESEMPOLVADO</b>																
<b>SECUENCIA</b>																
Desempolvado - arranque en secuencia	0.00%	Progr.	25.00%	25.00%	25.00%					75.00%	X					100.00%
		Real	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	15.00%	75.00%						100.00%
<b>TRABAJOS DE CONTINGENCIA</b>																
Montaje de bandejas en zona del Enfriador lado Horno 1 y Horno 3 en ruta de cables existentes	0.00%	Progr.		15.00%	15.00%	15.00%	10.00%			55.00%	X					100.00%
		Real		15.00%	15.00%	15.00%	10.00%			55.00%						100.00%
Hermetización de pases de cables en zona del Enfriador y Desempolvado	0.00%	Progr.	5.00%	5.00%						10.00%	X					100.00%
		Real	4.00%	3.00%	3.00%					10.00%						100.00%
Levantamiento de observaciones según recorrido de obra del 24.04.2021	0.00%	Progr.	20.00%	20.00%	20.00%	20.00%	20.00%			100.00%	X					803.21%
		Real	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%	10.00%	100.00%						200.00%
Montaje de bandejas en Sala Hidráulica	0.00%	Progr.				34.00%	33.00%	33.00%		100.00%	X					0.00%
		Real								100.00%						100.00%
Peinado de cables en Sala Hidráulica	0.00%	Progr.								0.00%	X					100.00%
		Real						20.00%	20.00%	40.00%						140.00%
Montaje de bandejas en zona exterior a Ventilador FM	0.00%	Progr.								0.00%	X					0.00%
		Real							20.00%	20.00%						20.00%
	0.00%	Progr.								0.00%						0.00%
		Real								0.00%						0.00%

## Tendencia del porcentaje de plan cumplido (PPC) de la instalación de la disciplina eléctrica y control

FECHA DE CORTE	P.A.C	ACTIVIDADES NO COMPLETADAS	P.A.C PROMEDIO
14-Dic-20	95%	5%	94%
21-Dic-20	88%	12%	94%
28-Dic-20	84%	16%	94%
4-Ene-21	91%	9%	94%
11/01/221	82%	18%	94%
18-Ene-21	96%	4%	94%
25-Ene-21	87%	13%	94%
1-Feb-21	91%	9%	94%
8-Feb-21	100%	0%	94%
15-Feb-21	94%	6%	94%
22-Feb-21	100%	0%	94%
1-Mar-21	100%	0%	94%
8-Mar-21	88%	12%	94%
15-Mar-21	98%	2%	94%
22-Mar-21	95%	5%	94%
29-Mar-21	95%	5%	94%
5-Abr-21	91%	9%	94%
12-Abr-21	100%	0%	94%
19-Abr-21	100%	0%	94%
26-Abr-21	89%	11%	94%
3-May-21	96%	4%	94%
10-May-21	100%	0%	94%



PPC o PAC Promedio de la instalación eléctrica y control = 94%

Presentación de informe de avance al 31/03/2021 al directorio de UNACEM



## NUEVO DESEMPOLVADO Y MODERNIZACIÓN DEL ENFRIADOR DE CLINKER DEL HORNO 2 EN UNACEM CONDORCOCHA



AVANCE DEL PROYECTO 2136 AL 31/03/2021



## INFORMACIÓN GENERAL

OBJETIVO	ACTUAL	DESEADO
Temperatura aire secundario	900 °C	1000 °C
Temperatura clinker a la salida	> 200 °C	80 °C + T <sub>ambiente</sub>
Consumo energía (piroproceso)	845 kcal/kg <sub>clk</sub>	830 kcal/kg <sub>clk</sub>
Concentración de polvo	> 200 mg/m <sup>3</sup>	< 20 mg/Nm <sup>3</sup>

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS	VALOR / UNIDAD
Enfriador de clinker	Área de placas	34 m <sup>2</sup>
	Eficiencia térmica	79.9 %
Intercambiador de calor gas - aire	Área de transferencia	1548 m <sup>2</sup>
	Temperatura de salida	200 °C
Filtro de mangas	Relación aire-tela	0.77 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /min
	Material de mangas	Aramida
	Cantidad de mangas	1120
	Dimensiones de manga	Ø127 x 7000 mm
	Caudal normal	51003 Nm <sup>3</sup> /h
	Caudal upset (diseño)	66896 Nm <sup>3</sup> /h
	Dimensiones (sin tolvas)	8600 x 9200 x 7900 mm

### PRESUPUESTO DE INVERSIÓN

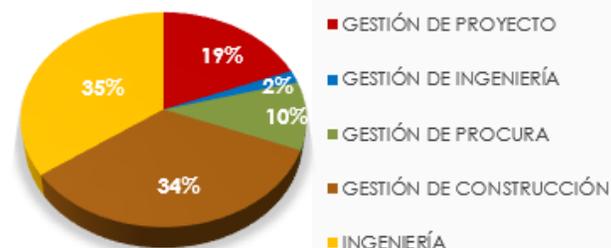
Gerencia	US\$	1'788,360
Ingeniería	US\$	1'146,024
Procura	US\$	6'205,959
Construcción	US\$	7'328,100
Puesta en Marcha	US\$	180,000
<b>Total directo</b>	<b>US\$</b>	<b>16'648,443</b>
Contingencia	US\$	1'664,844

### MONTOS

Total gastado	US\$	12'921,104
Estimado para concluir	US\$	3'370,000

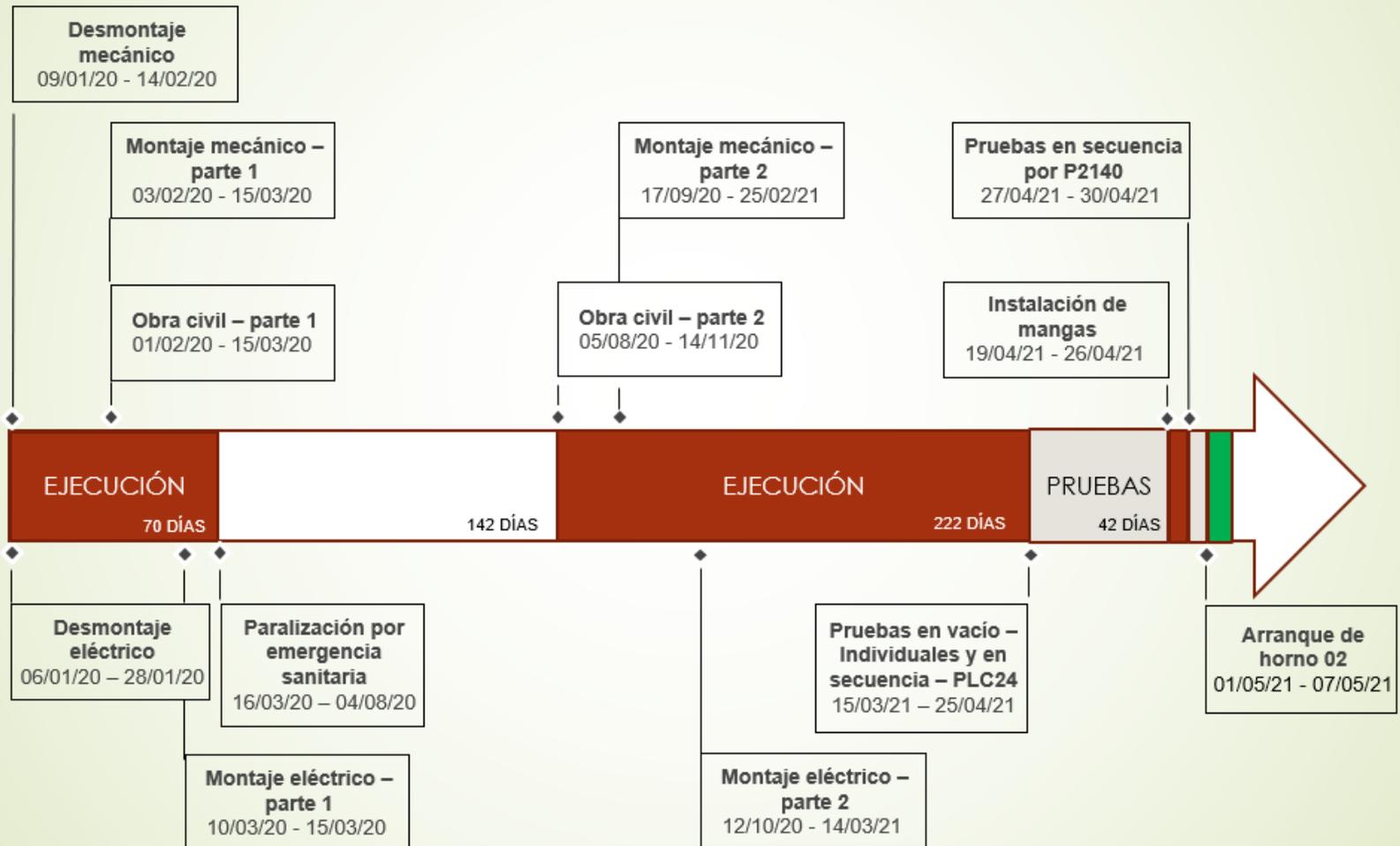
### HONORARIOS ARPL US\$ 2'746,512

#### DISTRIBUCIÓN DE HONORARIOS



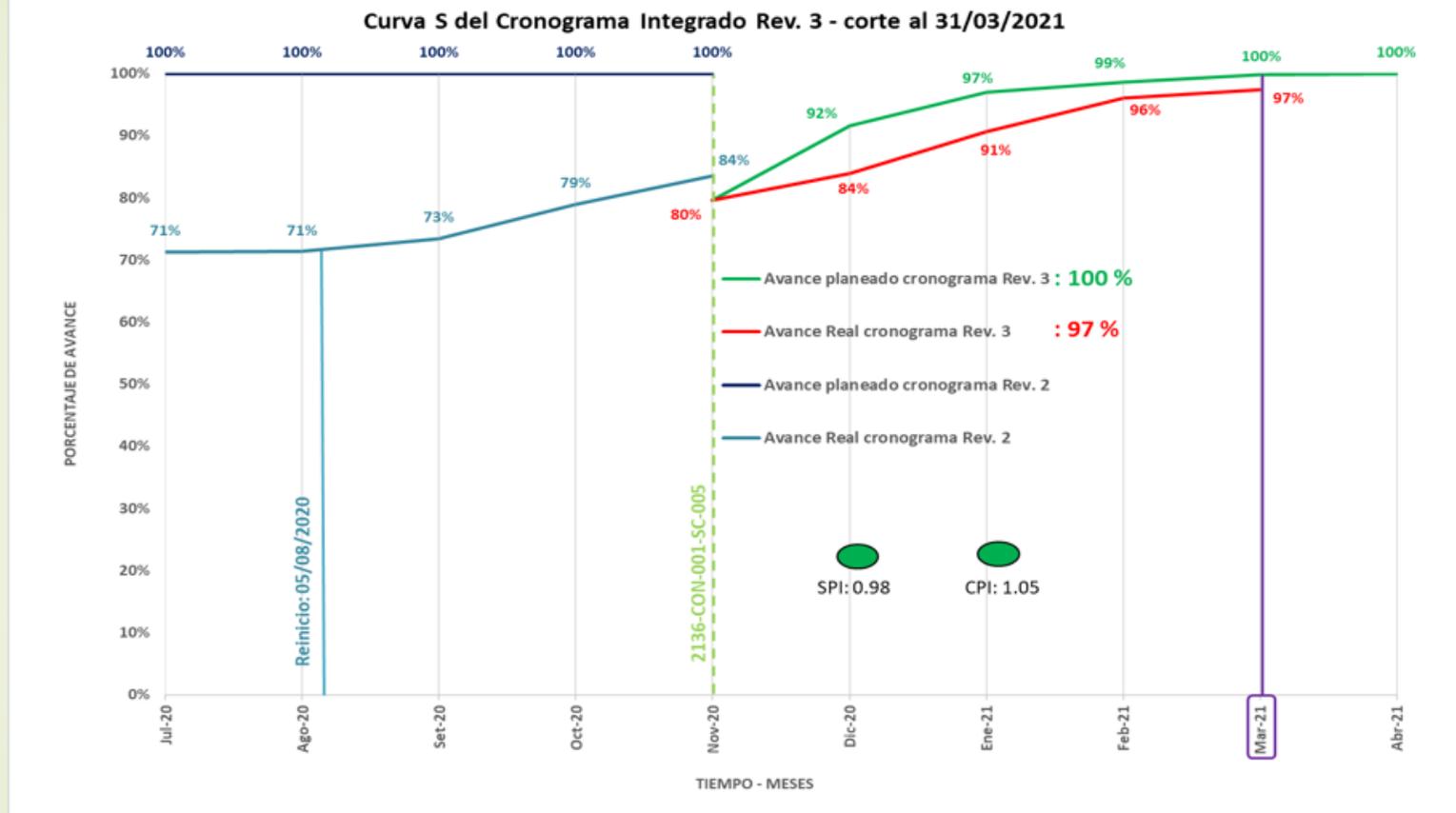


## LÍNEA DE TIEMPO





## AVANCE E INDICADORES DEL PROYECTO



SPI = 0.98 se debe a:

- Retraso en el montaje eléctrico.
- Inicio tardío de las pruebas individuales.
- Inicio tardío de las pruebas en secuencia.

CPI = 1.05 se debe a:

- Restan pagos por construcción y por procura.
- Pendientes los pagos por pruebas.



## PRUEBAS – DESEMPOLVADO - FOTOGRAFÍAS

1. Revisión del tablero de control del filtro de mangas.
2. Prueba de ventilador axial en el intercambiador de calor.
3. Arranque de compresores.
4. Prueba de compuerta para recuperación de polvo.
5. Filtro de mangas.



1



2



3



4



5



## PRUEBAS – DESEMPOLVADO - FOTOGRAFÍAS

1. Revisión del tablero de control del filtro de mangas.
2. Prueba de ventilador axial en el intercambiador de calor.
3. Arranque de compresores.
4. Prueba de compuerta para recuperación de polvo.
5. Filtro de mangas.

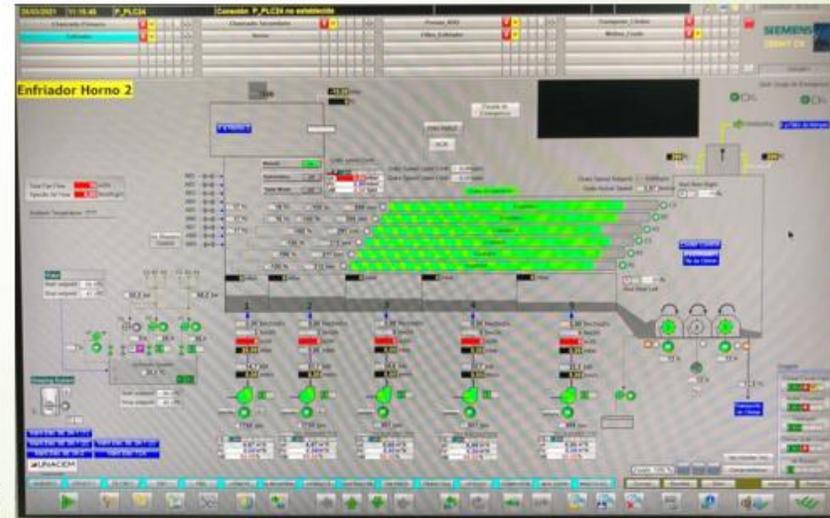




## PRUEBAS – ENFRIADOR DE CLINKER - FOTOGRAFÍAS



1. Calibración de sensores en las cámaras.
2. Prueba individual de ventilador centrífugo.
3. Prueba individual de parrillas.
4. Pantalla de control.





## RIESGOS Y RESPUESTAS

ACTIVIDAD	RIESGO	EVENTO	CONSECUENCIA	RESPUESTA
Ejecución de trabajos por parte de los contratistas, supervisión y cliente.	Personal contagiado de Covid 19.	<ul style="list-style-type: none"> <li>No respetar las medidas de prevención.</li> <li>Contagio por personal externo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cuarentena o retiro de personal.</li> <li>Retraso en pruebas.</li> <li>Extensión de plazo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Planes de prevención.</b></li> <li><b>Personal acuartelado.</b></li> <li><b>Aforo limitado.</b></li> </ul>
Pruebas en secuencia en vacío.	Retraso de la prueba en secuencia del sistema de emergencia.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presencia tardía de personal del proveedor del grupo electrógeno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Retraso en pruebas.</li> <li>Extensión de plazo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Seguimiento al proveedor.</b></li> <li><b>Reprogramación de actividades.</b></li> </ul>
Pruebas individuales en vacío.	Mayor tiempo para pruebas de equipos existentes (transporte de clinker y de finos).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fallas en equipos que estuvieron parados un año.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Retraso en pruebas.</li> <li>Extensión de plazo.</li> <li>Incremento de costo para pruebas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Mayor cantidad de personal por parte del cliente.</b></li> </ul>
Funcionamiento del enfriador de clinker.	Mayor tiempo para puesta en servicio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se logra funcionamiento estable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inicio de producción tardío.</li> <li>Incremento de costo de puesta en servicio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Check list para prueba en secuencia.</b></li> <li><b>Presencia de técnico del proveedor.</b></li> </ul>
Funcionamiento del sistema para desempolvado.	Mayor tiempo para puesta en servicio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se logra funcionamiento estable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inicio de producción tardío.</li> <li>Incremento de costo de puesta en servicio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Check list para prueba en secuencia.</b></li> <li><b>Presencia de técnico del proveedor.</b></li> </ul>