

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



**TESIS**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN VIRTUAL PARA REDUCIR LA  
VARIABILIDAD EN EL SUMINISTRO DE ACERO  
DIMENSIONADO EN UN PROYECTO DE EDIFICACIÓN  
MULTIFAMILIAR**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR**

**JOSE ANTONIO PINTADO CHUMPITAZ**

**ASESOR**

**Ing. LUIS ALFREDO COLONIO GARCÍA  
Lima - Perú**

**2024**

© 2024, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados  
**“El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o en parte,  
con fines estrictamente académicos.”**

Pintado Chumpitaz, Jose Antonio  
[jpintadoc@uni.pe](mailto:jpintadoc@uni.pe)  
987120989

#### DEDICATORIA:

A mi papá José y mamá Rosa, por permitirme las condiciones y brindar su apoyo incondicional para mejorar continuamente como persona y estudiar la carrera de Ingeniería Civil.

A todo aquel que busca la mejora continua en toda circunstancia de la vida y lucha por dejar un mundo mejor.

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres, José Pintado Sandoval y Rosa Chumpitaz Falcón por su apoyo incondicional desde niño, siempre brindándome lo mejor dentro de sus posibilidades e incentivándome a ser un excelente profesional y persona constantemente.

A mis hermanos Mauricio, Mathias y Machín por estar siempre conmigo, brindándome su respeto, confianza y cariño. Motivándome a ser un mejor ejemplo para ellos.

A mis amigos, conocidos desde la academia preuniversitaria y en la Universidad Nacional de Ingeniería, que impulsaron un entorno de sana competitividad y fomentaron en mí las ganas de salir adelante y siempre dar un esfuerzo extra. Los cuales siguen siendo como familia, ejemplos como personas y profesionales.

A todos los profesores de la UNI, que se esfuerzan por brindar lo mejor a sus alumnos. Al equipo Lean UNI, que me abrió las puertas a las bases de la filosofía Lean y permitió conocer al Dr. Jose Luis Salvatierra, gran ejemplo de ser humano, con una manera de enseñar a profundidad y de manera práctica de la mejora continua como estilo de vida. Al Ing. Andrews Erazo, quien motivó constantemente las charlas Lean y a culminar la elaboración de la tesis.

A la empresa TSC innovation de Aceros Arequipa, con Felipe Quiroz, Erika Valle, Alberto Ogata y Manuel Manrique, por brindarme la invaluable oportunidad de aprender y confiar en mí para asumir mayores responsabilidades en diversos proyectos, así como por apoyarme en la obtención de la certificación en la metodología VDC. A todo el equipo de la empresa, mi reconocimiento por su dedicación en el éxito de los proyectos, su respaldo en cada idea de mejora y su valiosa retroalimentación.

Finalmente, quiero extender un agradecimiento especial al Ingeniero Luis Colonio Garcia, por su generosidad al compartir su tiempo, disposición y valiosas ideas para enriquecer esta investigación.

## ÍNDICE

<b>Resumen</b>	5
<b>Abstract</b>	7
<b>Prólogo</b>	9
<b>Lista de cuadros</b>	10
<b>Lista de figuras</b>	12
<b>Lista de símbolos y de siglas</b>	16
<b>Capítulo I: Introducción</b>	17
1.1    Generalidades	17
1.2    Descripción del problema de investigación	17
1.3    Objetivos del estudio	19
1.3.1    Objetivo general	19
1.3.2    Objetivos específicos	19
1.4    Antecedentes investigativos	20
<b>Capítulo II: Marco teórico y conceptual</b>	23
2.1    Marco teórico	23
2.2    Marco conceptual	25
2.2.1    Diseño y Construcción Virtual (VDC)	25
2.2.2    Building Information Modeling (BIM)	26
2.2.3    Integrated Concurrent Engineering (ICE)	31
2.2.4    Project Production Management (PPM)	32
2.2.5    Lean	33
2.2.6    Push y Pull	35
2.2.7    Factores controlables	36
2.2.8    Métricas de producción	36
2.2.9    Objetivos del cliente y del proyecto	37
2.2.10    Objetivos del cliente, objetivos del proyecto, métricas de producción y factores controlables	37
2.2.11    Variabilidad	38
2.2.12    Buffers	38
2.2.13    Ingeniería de detalle	39
<b>Capítulo III: Diagnóstico de fuentes de variabilidad en proyectos de suministro de acero dimensionado</b>	43
3.1    Proceso tradicional con acero dimensionado	44
3.1.1    Cierre comercial	46

3.1.2	Sesión Kick Off o de inicio de proyecto .....	46
3.1.3	Revisión de información de proyecto.....	46
3.1.4	Asignación de modelado .....	47
3.1.5	Modelado y detallamiento .....	47
3.1.6	Envío de RFI's .....	48
3.1.7	Sesión ICE.....	48
3.1.8	Elaboración de planos.....	49
3.1.9	Revisión de planos.....	50
3.1.10	Plano y planilla aprobados .....	50
3.1.11	Envío a producción .....	50
3.1.12	Liberación comercial .....	51
3.1.13	Planificación y programación .....	51
3.1.14	Fabricación .....	51
3.1.15	Armado .....	52
3.1.16	Carga y transporte .....	52
3.1.17	Entrega de despachos a obra .....	53
3.1.18	Descarga y preparación .....	53
3.1.19	Instalación y/o montaje .....	53
3.1.20	Liberación y valorización .....	54
3.2	Diagnóstico fuentes de variabilidad .....	55
3.2.1	Caracterización del experto.....	55
3.2.2	Entrevista realizada.....	55
3.2.3	Resultados de la entrevista .....	57
3.3	Principales fuentes de variabilidad.....	61
3.3.1	Cambio de diseño del cliente (CL1) .....	61
3.3.2	Demora en respuesta/revisión del cliente (CL2).....	61
3.3.3	Información faltante/desactualizada del cliente (CL3) .....	61
3.3.4	Cambio de prioridades, o atraso del cliente (CL4).....	61
3.3.5	Bajo entendimiento del flujo de trabajo (CL5).....	62
3.3.6	Liberación comercial tardía (CL6) .....	62
3.3.7	Espacio del cliente en obra (CL7) .....	62
3.3.8	Problemas en planta (PL1).....	62
3.3.9	Lejanía de planta producción (PL2).....	62
3.3.10	Errores de fabricación/armado (ID1) .....	63
3.3.11	Errores de detallamiento (ID2) .....	63

3.3.12	Cambio de equipo de proyecto. (G1).....	63
3.3.13	Deficiente canal de comunicación y gestión de información (G2).....	63
3.3.14	Incumplimiento de compromisos (G3) .....	63
<b>Capítulo IV: Implementación de la metodología de Diseño y Construcción Virtual en un proyecto de edificación multifamiliar .....</b>		<b>65</b>
4.1	Descripción del proyecto .....	65
4.2	Marco VDC propuesto .....	67
4.2.1	Objetivo del cliente.....	67
4.2.2	Objetivo del proyecto .....	68
4.2.3	Componente ICE.....	68
4.2.4	Componente BIM .....	75
4.2.5	Componente PPM.....	81
<b>Capítulo V: Proceso óptimo en suministro de acero dimensionado en un proyecto de edificación multifamiliar .....</b>		<b>87</b>
5.1	Proceso optimizado de acero dimensionado con VDC .....	87
5.1.1	Cierre comercial.....	92
5.1.2	Sesión Kick Off o de inicio de proyecto .....	92
5.1.3	Revisión de información de proyecto.....	93
5.1.4	Asignación de modelado.....	94
5.1.5	Modelado y detallamiento .....	94
5.1.6	Envío de RFI's .....	96
5.1.7	Sesión ICE .....	97
5.1.8	Revisión de planos.....	98
5.1.9	Elaboración de planos.....	99
5.1.10	Modelo y planilla aprobados.....	99
5.1.11	Envío a producción .....	100
5.1.12	Liberación comercial .....	100
5.1.13	Planificación y programación .....	101
5.1.14	Flujo de contingencia en caso de emergencia.....	102
5.1.15	Fabricación .....	103
5.1.16	Armado .....	104
5.1.17	Carga y transporte .....	106
5.1.18	Entrega de despachos a obra .....	107
5.1.19	Descarga y preparación .....	107

5.1.20	Instalación y/o montaje .....	109
5.1.21	Liberación y valorización .....	110
5.2	Resumen de proceso optimizado de acero dimensionado con VDC.....	112
<b>Capítulo VI: Discusión de resultados .....</b>		<b>115</b>
6.1	Componente ICE .....	115
6.1.1	Métricas de producción .....	115
6.1.2	Factores controlables ICE .....	118
6.2	Componente BIM.....	120
6.2.1	Métricas de producción BIM.....	120
6.2.2	Factores controlables BIM.....	123
6.3	Componente PPM .....	124
6.3.1	Métricas de producción PPM .....	124
6.3.2	Factores controlables PPM .....	128
6.4	Reducción de variabilidad.....	131
<b>Conclusiones .....</b>		<b>134</b>
<b>Recomendaciones .....</b>		<b>136</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>		<b>137</b>
<b>Anexos .....</b>		<b>141</b>

## RESUMEN

El acero de refuerzo es uno de los insumos más importantes en la partida del casco estructural de una edificación de concreto armado. Asimismo, el uso de acero dimensionado ha mostrado beneficios a las obras debido al ahorro de merma y menor personal en campo necesario, además del aseguramiento de la calidad de los materiales y la mayor productividad en la ejecución de las actividades. Sin embargo, este servicio y producto útil para las obras está sujeto a variabilidad ya que depende de la interacción y entregables de los diferentes involucrados en el proceso, siendo requerida una mejor manera de gestionar los proyectos. Por otra parte, la gestión de la construcción ha generado nuevas formas de gestionar los proyectos con la finalidad de lograr los objetivos del proyecto y cliente en la ejecución global del mismo, siendo ya un deber incluir también a los proveedores a esta forma de trabajo.

Esta investigación mediante la aplicación de la metodología de Gestión de Proyectos: Virtual Design and Construction (Diseño y Construcción Virtual) permitirá plantear un marco de trabajo e indicadores a un proyecto de edificación multifamiliar con la finalidad de reducir las fuentes de variabilidad y optimizar el flujo de trabajo asegurando el suministro a tiempo, dejando las bases para su aplicación en otros tipos de proyectos de construcción y con diferente tipo de proveedores a fin de lograr una cadena de producción confiable y la mejora de la industria de la Construcción. Por ello, se plantearon en el trabajo de tesis los siguientes seis capítulos, detallados a continuación:

En el Capítulo I y II, se describen los antecedentes importantes y base teórica referente al uso de acero dimensionado, variabilidad, buffers así como la metodología VDC, su definición, componentes, aplicación y beneficios en los proyectos de construcción.

En el Capítulo III, se identificaron las fuentes de variabilidad y se describe el proceso para el servicio de acero dimensionado en un proyecto de edificación multifamiliar previo a la implementación de la metodología VDC. Se realizó un estudio exploratorio con personal responsable de la atención de acero dimensionado a diferentes proyectos de edificación multifamiliar, a los cuales se asignaron como expertos en base a su experiencia. Con la aplicación de entrevistas y encuestas se detectaron las principales fuentes de variabilidad que

afectan sus proyectos, logrando así identificar su nivel de impacto y frecuencia mediante una matriz de riesgos.

En el Capítulo IV, se plantea el marco de implementación de la metodología VDC propuesto junto con el equipo del proyecto y la etapa para la aplicación. Se define cada componente (BIM, ICE, PPM) y su importancia. Asimismo, se definen las métricas que permiten llevar un control del estatus del proyecto con la finalidad de tomar decisiones en base a ellas, para así asegurar el objetivo del proyecto y cliente.

En el Capítulo V, se describe el proceso optimizado para el servicio de acero dimensionado en un proyecto de edificación multifamiliar, tomando en cuenta las fuentes que producen variabilidad en el proceso y asignando los buffers que disminuyan sus posibles impactos.

En el Capítulo VI, se interpretan los resultados durante las 28 semanas de implementación de la metodología VDC, logrando así acercarse a los valores planteados como meta al inicio de la implementación. Asimismo, se evaluó por los mismos expertos del capítulo III el impacto y frecuencia de las fuentes de variabilidad para el flujo optimizado.

## ABSTRACT

Reinforcing rebar is one of the most important inputs in the departure of the structural shell of a reinforced concrete building. Likewise, the use of dimensioned rebar has shown benefits to the works due to the reduction of waste and less necessary personnel in the field, in addition to the assurance of the quality of the materials and the greater productivity in the execution of the activities. However, this useful service and product for the works is bound by variability since it depends on the interaction and deliverables of the different parties involved in the process, and for this a better way of managing the projects is required. On the other hand, construction management has generated new ways of managing projects in order to achieve the objectives of the project and client in its overall execution, and it is now a duty to also include suppliers in this way of working.

This research, through the application of the Virtual Design and Construction Project Management methodology, will make it possible to propose a framework and indicators for a multi-family building project in order to reduce the sources of variability and ensure supply on time, leaving the bases for its application in other types of construction projects and with different types of suppliers in order to achieve a reliable production chain and improve the Construction industry. For this reason, the following six chapters detailed below were raised in the thesis work:

In Chapter I and II, the important background and theoretical basis regarding the use of dimensioned rebar, variability and buffers are described, as well as the VDC methodology, its definition and components, application and benefits in construction projects.

In Chapter III, the sources of variability were identified and the process for the service of dimensioned rebar is described for a multi-family building project prior to implementation. An exploratory study was carried out with personnel responsible for the provision of dimensioned rebar to different multi-family building projects, who were assigned as experts based on their experience. With the application of interviews and surveys, the main sources of variability that affect them were detected, thus managing to identify their level of impact and frequency through a risk matrix.

In Chapter IV, the implementation framework of the proposed VDC methodology, made together with the project team, and the stage for the application is presented. Each component (BIM, ICE, PPM) and its importance are defined. Likewise, the metrics that allow to keep track of the status of the project are defined in order to make decisions based on them, and to ensure the client and project objectives.

In Chapter V, the optimized process for the dimensioned rebar service in a multi-family building project is described, taking into account the sources that produce variability in the process and assigning the buffers that reduce their possible impacts.

In Chapter VI, the results are interpreted during the 28 weeks of implementation of the VDC methodology, managing to approach the values set as a goal at the beginning of the implementation. Likewise, the impact and frequency of the sources of variability for the optimized flow were evaluated by the same experts from Chapter III.

## PRÓLOGO

En la presente tesis, Jose Antonio Pintado Chumpitaz realiza un estudio sobre la problemática en el suministro de acero dimensionado durante la etapa de casco estructural de un proyecto de edificación multifamiliar, provocada por la alta variabilidad del proceso mismo generada por los distintos involucrados en la etapa de construcción, identificando mediante validación de expertos los principales factores con su respectivo impacto y frecuencia con la finalidad de reducir y mitigar sus efectos mediante la aplicación de la metodología de gestión de proyectos “Virtual Design & Construction” (Diseño y Construcción Virtual), la cual ha generado grandes aportes al sector construcción como parte de la aplicación del contratista general, y en este estudio se realiza desde el punto de vista del proveedor, donde existen pocas publicaciones, involucrando los componentes de la metodología VDC: la tecnología(BIM) , las personas (ICE) y los procesos (PPM) con el fin de generar un marco de trabajo alineado a los objetivos planteados mediante el empleo de métricas que permiten medir el estatus del proyecto y facilitar la toma de decisiones para liberar restricciones y así lograr la mejora continua y se asegure tanto el flujo continuo como el avance planificado en obra, involucrando a todos los actores clave del proceso.

El desarrollo de la implementación de esta nueva metodología de gestión de proyectos es el comienzo para poder implementarlo en más investigaciones de diferentes tipos de proyectos para así contar con un marco de trabajo optimizado que sea aplicable a todo proyecto de infraestructura, permita mejorar la productividad en obra, mitigar los problemas que puedan presentarse al emplear el acero dimensionado, así como a mejorar la confianza en la cadena de suministro con los diferentes proveedores.

Luis Alfredo Colonio García  
Asesor de la tesis

## LISTA DE CUADROS

Tabla 3-01: Tipos de expertos seleccionados.....	44
Tabla 3-02: Experiencia de los expertos entrevista fuentes de variabilidad en suministro de acero dimensionado a edific. multifamiliares.....	56
Tabla 3-03: Resultados 1ra ronda - entrevista. Fuentes de variabilidad detectadas.....	57
Tabla 3-04: Resultados 2da ronda de la encuesta. Fuentes de variabilidad – Frecuencia.....	58
Tabla 3-05: Resultados 2da ronda de la encuesta. Fuentes de variabilidad – Impacto.....	58
Tabla 3-06: Matriz de probabilidad e impacto de los riesgos.....	59
Tabla 3-07: Resultados matriz de riesgo - probabilidad e impacto.....	59
Tabla 3-08: Ranking de riesgos de las fuentes de variabilidad en el suministro de acero dimensionado. ....	60
Tabla 4-01: Cargos de integrantes del proyecto Condominio Esencial. ....	68
Tabla 4-02: Métrica de producción, asistencia de involucrados clave. ....	73
Tabla 4-03: Métrica de producción, cumplimiento de compromisos del acta.....	74
Tabla 4-04: Métrica de producción, solución de RFI's.....	74
Tabla 4-05: Factor controlable, control de actas de producción. ....	75
Tabla 4-06: Factor controlable, programación de sesiones ICE semanales con involucrados directos. ....	75
Tabla 4-07: Métrica de producción, producción desde modelo. ....	79
Tabla 4-08: Métrica de producción, criterios constructivos aprobados desde modelo.....	80
Tabla 4-09: Factor controlable, actualización de información de proyecto en el modelo.....	81
Tabla 4-10: Factor controlable, actualización de modelo en Trimble Connect. ....	81
Tabla 4-11: Métrica de producción, cumplimiento de entrega a tiempo.....	83
Tabla 4-12: Métrica de producción, cumplimiento de envío dentro del lead time a producción. ....	84
Tabla 4-13: Métrica de producción, horas hombre de retrabajos en campo y modelado.....	84
Tabla 4-14: Factor controlable, envío de reporte semanal de cumplimiento.....	85
Tabla 4-15: Factor controlable, actualización de información en línea. ....	85

Tabla 4-16: Resumen métricas de producción ICE, BIM y PPM. ....	86
Tabla 5-01: Matriz riesgo-Métrica-Estrategia parte 1. ....	88
Tabla 5-02: Matriz riesgo-Métrica-Estrategia parte 2. ....	89
Tabla 5-03: Matriz riesgo-Métrica-Estrategia parte 3. ....	90
Tabla 5-04: Cuadro resumen proceso tradicional vs optimizado – parte 1.....	112
Tabla 5-05: Cuadro resumen proceso tradicional vs optimizado – parte 2.....	113
Tabla 5-06: Cuadro resumen proceso tradicional vs optimizado – parte 3.....	114
Tabla 6-01: Resultados 2da ronda de la encuesta-Post implementación. Fuentes de variabilidad – Frecuencia. ....	131
Tabla 6-02: Resultados 2da ronda de la encuesta-post implementación. Fuentes de variabilidad – Impacto. ....	131
Tabla 6-03: Resultados matriz de riesgo - Probabilidad e impacto – Post implementación. ....	132
Tabla 6-04: Comparativo matriz de riesgo - Probabilidad e impacto – Pre y post implementación. ....	133

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-01: VDC como un conjunto integrado de elementos. ....	26
Figura 2-02: Detallamiento de acero de refuerzo en el software Tekla Structures. ....	30
Figura 2-03: Métricas conectando la producción con las metas del cliente. ....	38
Figura 2-04: Ejemplo de diferentes LOD en viga estructural prefabricada. ....	41
Figura 3-01: Secuencia de trabajo propuesto para la investigación. ....	43
Figura 3-02: Proceso Tradicional de Suministro de Acero de Refuerzo dimensionado para una edificación multifamiliar en Lima .....	45
Figura 3-03: Desglose de estructuras por fecha requerida y asignación de modelado a modelador .....	47
Figura 3-04: Modelado y detallado de concreto y armadura en Tekla Structures 2020 .....	48
Figura 3-05: Archivo en línea Log de consultas. ....	48
Figura 3-06: Sesión ICE.....	49
Figura 3-07: Plano de instalación de Viga del Piso 04 – Condominio Esencial Torre B. ....	49
Figura 3-08: Hoja de cálculo con data de fabricación extraída desde el modelo para envío a producción. ....	50
Figura 3-09: Fabricación industrial del acero dimensionado. ....	51
Figura 3-10: Armado en planta con personal calificado.....	52
Figura 3-11: Carga y transporte de acero dimensionado y prearmado en camión plataforma .....	52
Figura 3-12: Entrega de despachos a obra Condominio Esencial.....	53
Figura 3-13: Instalación de placa – empalme de zunchos.....	54
Figura 3-14: Instalación de acero dimensionado de vigas.....	54
Figura 4-01: Master Plan de ejecución casco estructural Condominio Esencial .....	65
Figura 4-02: Etapa de sótanos ( ½ Sótano* SE1 y ½ Sótano** SE2) .....	66
Figura 4-03: Etapa de torres ( A1, A2, B1, B2, C1, C2, D) .....	66
Figura 4-04: Imagen renderizada del proyecto Condominio Esencial.....	66
Figura 4-05: Marco VDC aplicado al proyecto Condominio Esencial.....	67
Figura 4-06: Definición visual de elementos a ejecutar por producto (acero dimensionado, acero prearmado, habilitado en obra). Imagen creada en Trimble Connect.....	69

Figura 4-07: Definición visual alcance a ejecutar por sector. ....	70
Figura 4-08: Compatibilización entre arquitectura, estructuras, instalaciones sanitarias en la plataforma colaborativa Trimble Connect .....	70
Figura 4-09: Vista de consideraciones constructivas planteadas en sesión ICE para producción. ....	71
Figura 4-10: Revisión de cronograma de suministro e instalación de acero de refuerzo en coordinación con los involucrados clave vía Google Meets. ....	71
Figura 4-11: Acta de reunión Condominio Esencial. ....	72
Figura 4-12: Planilla de fabricación generada a partir del modelo para el piso 18 y azotea.....	76
Figura 4-13: Modelo con atributos asociados al elemento y al proyecto. ....	77
Figura 4-14: BIM utilizado para compatibilizar especialidades (arquitectura, estructuras).....	77
Figura 4-15: Modelo etapa de sótanos visualizado por tipo de producto (acero dimensionado, acero prearmado, habilitado en obra). ....	78
Figura 4-16: Modelo etapa de torre B visualizado por niveles (izq.) y por tipos de estructuras (der.). ....	78
Figura 4-17: Criterio constructivo (Valor de recubrimiento) aprobado desde modelo en la plataforma colaborativa Trimble Connect.....	80
Figura 4-18: Modificación en el flujo para aprobación de elementos a fabricar para optimizar el proceso.....	82
Figura 4-19: Máquina dobladora empleada en caso de contingencia .....	82
Figura 4-20: Personal de instalación de acero laborando en actividades planificadas.....	83
Figura 5-01: Proceso optimizado de suministro de acero de refuerzo dimensionado para una edificación multifamiliar en Lima .....	91
Figura 5-02: Desglose de estructuras por fecha requerida y asignación de modelado a detallador. ....	94
Figura 5-03: Modelado y detallado de concreto y armadura en Tekla Structures 2020 del proyecto Esencial Torre B .....	95
Figura 5-04: Archivo en línea LogdeConsultas. ....	96
Figura 5-05: Alerta de envío de consultas vía E-mail. ....	97

Figura 5-06: Sesión ICE vía Google Meets para revisión de propuesta de prearmado.....	98
Figura 5-07: Sesión ICE para revisión de criterios y/o dimensiones.....	99
Figura 5-08: Proyección de entrega de material a obra.....	100
Figura 5-09: Demanda proyectada de toneladas en Etapa 3.....	101
Figura 5-10: Coordinación de alcance a ejecutar por producto (barras 9m, acero dimensionado, prearmado). .....	103
Figura 5-11: Habilitado en obra con dobladora empleado como contingencia ante emergencia. ....	103
Figura 5-12: Fabricación industrial del acero dimensionado. ....	104
Figura 5-13: Comparación entre elemento prearmado con elemento virtual de modelo BIM. ....	104
Figura 5-14: Checklist de Protocolo liberación de calidad para elementos prearmados. ....	105
Figura 5-15: Sección transversal de orden de carga en un camión.....	106
Figura 5-16: Elementos ordenados listos para descarga. ....	108
Figura 5-17: Plano con ubicación de elementos verticales a suministrar con información trazable. ....	108
Figura 5-18: Montaje de elementos verticales prearmados.....	109
Figura 5-19: Instalación de elementos prearmados de placa a 2 Niveles en condominio Esencial.....	110
Figura 5-20: Reporte en Data Studio (Resumen) de Proyecto Esencial Torre B. ....	111
Figura 5-21: Reporte en Data Studio (Hoja de Control de Avance de Producción) de Proyecto Esencial Torre B.....	111
Figura 6-01: Gráfico asistencia a sesiones ICE de involucrados claves.....	115
Figura 6-02: Gráfico Porcentaje de Actas Cerradas a Tiempo. ....	117
Figura 6-03: Gráfico Porcentaje RFI's liberados por semana.....	118
Figura 6-04: Gráfico Seguimiento semanal al Acta de Reunión. ....	119
Figura 6-05: Gráfico Sesiones ICE semanales programadas.....	120
Figura 6-06: Registro de Porcentaje de envío a Producción desde modelo. ....	121
Figura 6-07: Registro de Porcentaje criterios constructivos aprobados desde modelo. ....	122
Figura 6-08: Registro de Número de actualizaciones de información en modelo semanal. ....	123

Figura 6-09: Registro de Número de actualizaciones de modelo en Trimble Connect semanal.....	124
Figura 6-10: Registro de Porcentaje Cumplimiento de Entregas a Tiempo. ....	125
Figura 6-11: Registro de Porcentaje de despachos enviados dentro del lead time de producción.....	126
Figura 6-12: Registro de Horas Hombre de retrabajo en obra por semana. ....	128
Figura 6-13: Registro de Número de reportes de avance de proyecto enviados por semana. ....	128
Figura 6-14: Vista de Reporte semanal para etapa 2 del proyecto en ejecución, elaborado en Google Data Studio. ....	129
Figura 6-15: Vista de Reporte semanal para etapa 3 del proyecto en ejecución, elaborado en Google Data Studio. ....	129
Figura 6-16: Registro de Número de actualizaciones de información en línea por semana. ....	130
Figura 7-01: Formato de acta de reunión.....	142
Figura 7-02: Formato Checklist protocolo calidad de prearmados. ....	143
Figura 7-03: Hoja de cálculo de planilla de envío a producción.....	144
Figura 7-04: Plano de recepción de acero dimensionado para vigas. ....	145
Figura 7-05: Validación de experiencia de expertos.....	146
Figura 7-06: Identificación de fuentes de variabilidad de expertos. ....	147
Figura 7-07: Respuesta de encuesta fuentes de variabilidad - Frecuencia. ....	148
Figura 7-08: Respuesta de encuesta fuentes de variabilidad - Impacto. ....	149
Figura 7-09: Vista panorámica avance de ejecución de etapa 3 de Condominio Esencial. ....	150
Figura 7-10: Avance de inicio de ejecución de etapa 2 de Condominio Esencial. ....	151
Figura 7-11: Avance de ejecución de etapa 2 de Condominio Esencial. ....	151
Figura 7-12: Avance de ejecución de etapa 2 (Sótano 01) de Condominio Esencial. ....	152
Figura 7-13: Avance de ejecución de etapa 3 de Condominio Esencial. ....	152
Figura 7-14: Término de casco estructural de etapa 3 de Condominio Esencial. ....	153

## **LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS**

- RFI** : Request for information. (Solicitud de Información)
- VDC** : Virtual Design and Construction (Diseño y Construcción Virtual)
- BIM** : Building Information Modeling
- PPM** : Project Production Management
- ICE** : Integrated Concurrent Engineering
- AIA** : American Institute of Architects
- CNC** : Causas de No Cumplimiento
- JIT** : Just In Time o Justo a Tiempo
- LPS** : Last Planner® System
- PMI** : Project Management Institute
- PPC** : Porcentaje de Plan Completado
- IPD** : Integrated Project Delivery
- TI** : Tecnologías de la Información

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1 GENERALIDADES

El acero de refuerzo es uno de los principales insumos en los proyectos de construcción de concreto armado, llegando a alcanzar inclusive hasta un 16% del costo total del proyecto, resultando importante la optimización del mismo (Zheng, 2019). La ingeniería de detalle, es empleada en el acero de refuerzo con la finalidad de mejorar la programación de la etapa de estructuras, mediante la mejora de la gestión de la información que proviene de modelos BIM compatibilizados. Asimismo, se identifica que el flujo aún tiene gran cantidad de información por utilizar, existe variabilidad, esperas e inventarios que pueden ser optimizados (Briceño, 2019). Una alternativa a este punto es el uso de la metodología de Gestión de Proyectos: Virtual Design and Construction (Diseño y Construcción Virtual).

Richmoller et al (2018) muestran la sinergia de la aplicación del Diseño y Construcción Virtual con la gestión Lean en proyectos de construcción para generar construcciones de alto rendimiento. Además, en el Perú, diversas aplicaciones de VDC han aportado a la industria desde el punto de vista del contratista general, para liberar RFI's y reducir las No Conformidades o Solicitudes de Información en la etapa de planificación (Padilla y Quispe, 2017) y construcción, reduciendo así los plazos adicionales generados por incompatibilidades e indefiniciones (Corrales y Sarabia, 2020). Logrando inclusive reducir hasta un 80% la gestión de RFI's antes del inicio del proyecto (Chingay, 2015). Asimismo, la elección de las métricas correctas que sean aplicables a múltiples proyectos y su uso constante permiten lograr la mejora continua y objetivos del proyecto. (Belsvik et al., 2019)

### 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Actualmente en Perú existe una brecha de vivienda de 450 mil familias, es por ello que el Estado invertirá 376 millones en programas de vivienda (Andina, 2021). Si bien el sector inmobiliario peruano sufrió los efectos de la pandemia generándose un estancamiento en los procesos de compra-venta o alquiler en los primeros 3 meses, luego se recuperó. Según declaraciones de Guido Valdivia, director ejecutivo de Capeco, se esperaba un crecimiento del negocio

inmobiliario en el Perú sobre el 7% para el cierre del 2021. La demanda es casi 10 veces mayor a la oferta de viviendas, el teletrabajo, necesidad de espacios, mayor liquidez por liberación de CTS y AFP, las tasas inmobiliarias bajas y los descuentos ofrecidos por entidades son un gran aporte. Además, hay gran cantidad de políticas que facilitan la adquisición de viviendas tales como el Bono Familiar Habitacional, Bono MiVivienda, MiVivienda Verde y Techo Propio. (Postgrado UTP, 2021).

Respecto a las edificaciones, el crecimiento vertical de Lima salta a la vista. Según el último Informe de Coyuntura Inmobiliaria (Incoin) de Tinsa, el 43,9% de los proyectos inmobiliarios activos y en oferta tiene entre 6 y 10 pisos; mientras que el 20,9% tiene entre 1 y 5 pisos y el 18,9% tiene entre 16 y 20 pisos. Surco se ha convertido en una de las mejores opciones de inversión inmobiliaria para quienes buscan adquirir una vivienda en Lima Top. En 2021 se vendieron más de 2189 departamentos, con precios entre los S/. 348000 y S/. 463000 según expertos de V&V Grupo inmobiliario (El Comercio, 2021).

El acero es uno de los principales insumos en una construcción, el costo del acero de refuerzo representa una parte significativa del total presupuestado de un proyecto ya que representa, para una estructura regular de hormigón armado, aproximadamente el 16% del costo total del proyecto. Por lo tanto, hacer mejoras en prácticas de ingeniería y gestión será crucial para mejorar la rentabilidad en la construcción. Reducir las existencias de barras de refuerzo para que se ajusten a los requisitos específicos de los componentes estructurales diseñados en un proyecto de construcción da como resultado la reducción de pérdidas, que es el principal contribuyente a la generación de residuos de la construcción. (Zheng et al, 2019). De acuerdo al Estudio de Conectividad Aceros Arequipa (MCP Consultores, 2020), usando como referencia un proyecto de edificación multifamiliar de 20 pisos y 02 sótanos en Santa Beatriz, Lima-Perú el constructor percibe beneficios tanto económicos (ahorro de un 3.6% en la partida global de acero) como de productividad (mayor ritmo a su tren de trabajo reduciendo el tiempo de ciclos) mediante el uso de acero dimensionado; agregándole valor respecto al uso del acero tradicional, sin embargo se identifica la existencia de una divergencia y variabilidad entre las causas de no cumplimiento, errores o retrasos originados en su mayoría por el cliente debido a cambios, deficiencias en el proceso o falta de gestión de información que pueden ser mejorados con la

planificación colaborativa para así lograr asegurar la entrega del acero a tiempo y de calidad respecto al proceso actual.

Una metodología muy importante a utilizar es el Diseño y Construcción Virtual. Las empresas constructoras abordan la tecnología y la innovación de forma diversa, junto con los métodos por los que gestionan estos dos aspectos. Un enfoque es reaccionar ante toda la tecnología y emplear solo aquellas que tienen impactos observables en las ganancias de una empresa mientras otros adoptan un enfoque diferente, planifican beneficios a largo plazo y pueden parecer más arrogantes en su enfoque hacia la aceptación de la tecnología. A pesar de estos diferentes enfoques, la industria de la Construcción está experimentando una transición hacia un mayor uso de la tecnología y prácticas innovadoras. Es importante identificar el tipo de servicio VDC que ofrece una empresa para tomar las mejores decisiones entre elegir una empresa u otra. Las empresas constructoras que reconocen la necesidad de usar VDC, independientemente del nivel con el que deciden adoptarlo están inclinadas a tener éxito en sus proyectos. (Kim et al., 2019)

Debido a esto surge la siguiente pregunta:

¿De qué manera la implementación del Diseño y Construcción Virtual reducirá la variabilidad en el suministro de acero dimensionado en un proyecto de edificación multifamiliar?

### 1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

#### 1.3.1 *Objetivo general*

Implementar la metodología de Diseño y Construcción Virtual para reducir la variabilidad en el suministro de acero dimensionado-prearmado de una edificación multifamiliar en Lima.

#### 1.3.2 *Objetivos específicos*

- Identificar las fuentes de variabilidad en el suministro de acero dimensionado en un proyecto de edificación multifamiliar antes de la implementación de la metodología de Diseño y Construcción Virtual.

- Proponer el marco de la implementación del Diseño y Construcción Virtual en las métricas de producción para el suministro de acero dimensionado en un proyecto de edificación multifamiliar.
- Describir el proceso optimizado después de la aplicación del Diseño y Construcción Virtual en el suministro de acero dimensionado en un proyecto de edificación multifamiliar.
- Determinar el impacto de la implementación del Diseño y Construcción Virtual en las métricas de producción y en el riesgo de las fuentes de variabilidad para el suministro de acero dimensionado en un proyecto de edificación multifamiliar.

#### 1.4 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En la actualidad, nuevas metodologías están siendo empleadas en el rubro Construcción con grandes aportes, una de ellas el Diseño y Construcción Virtual el cual es ya aplicado en diversas partes del mundo. Es así que Lledó (2020) señala que en Estados Unidos la metodología que en estos últimos años está siendo un elemento emergente con fuerza es VDC (Diseño y Construcción Virtual por sus siglas en inglés). Esta puede impulsar a que la industria de la construcción avance en la implantación de métodos y herramientas que potencien la modernización y mejora en la productividad. En su tesis, planteó tres bloques principales: un análisis del flujo de la información en los proyectos de construcción, un análisis sobre la responsabilidad y necesidades de los distintos agentes respecto al flujo de información anterior, una propuesta mejorada del flujo de información y un estudio del encaje de la figura de los distintos roles de VDC en las distintas fases del proceso constructivo. Concluye que la gestión de la información de los proyectos de construcción a través de la metodología VDC es una de las mejores prácticas con grandes niveles de éxito. Además, si bien a nivel individual se pueden conseguir grandes aportes de productividad con VDC, el salto de calidad viene por un uso generalizado por todos los involucrados del sector construcción.

Además, Fischer et al. (2017) muestran cómo se desarrolla el Diseño y Construcción Virtual para conceptualizar y lograr mejoras en el producto final. En el proyecto Mission Bay Hospitals realizando capacitaciones previas a la

ejecución del proyecto a los miembros del proyecto sobre la metodología VDC junto con IPD (Integrated Project Delivery) se lograron grandes beneficios. El primer día se comprendieron las mejores prácticas de VDC y la importancia en la planificación. El segundo se centró en VDC y métricas, además de su importancia. En el tercer día la gente empezó a ver cómo VDC podría ayudarlos con la “planificación y control de la producción”. El cuarto día se centró en “ponerlo todo junto e implementar VDC”. Así fue que gracias a la experiencia de diseñadores y constructores trabajando en conjunto lograron implementar lo aprendido sobre VDC en las capacitaciones y aplicarlo al proyecto. Logrando beneficios considerables como la ejecución de todo el alcance requerido inicialmente, ahorros económicos considerando que la construcción del proyecto estaba conceptualizada en \$965 millones y se construyó por \$765 millones, mejoras en el diseño sin impacto en el presupuesto y el término de la obra en ocho días antes del cronograma.

En Perú también se han logrado beneficios con la aplicación de VDC, Corrales y Saravia (2020) demostraron que es posible disminuir los esfuerzos de la etapa de construcción ocupándose de ellos en la etapa de diseño, aplicando un modelo integrado con todas las especialidades para disminuir la variabilidad con un equipo integrado en sesiones ICE y de esta manera reducir el tiempo de ejecución de los proyectos con modelos liberados y libres de indefiniciones. Asimismo, Padilla y Quispe (2017) plantean el uso de VDC mediante sesiones colaborativas e integradas incluyendo a todos los miembros del equipo del Proyecto: Sub Contratistas, Contratista principal e incluso proveedores, logrando que cada una de las partes se involucren y trabajen desde la etapa de planeamiento de manera integrada. De esta manera, se minimizan los desperdicios, retrabajos e inconsistencias en el entregable final para el cliente, logrando una baja probabilidad de incurrir en gastos que no crean valor al entregable final. Pese a que la implementación ha generado beneficios tangibles como parte del Contratista principal, desde la perspectiva de los proveedores la implementación de VDC no ha sido estudiado y es lo que busca mostrar este estudio.

Valle (2015) aplicó el Modelamiento Virtual de la Construcción en el proyecto Centro de Información e Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (CIIFIC-UNI) en la etapa de pre-construcción.

El uso de BIM permitió el involucramiento de los especialistas y ejecutores empleando sesiones ICE que permitieron la visualización de los problemas y se puedan solucionar rápidamente en conjunto y mejorar la constructibilidad del proyecto validado por la experiencia de los miembros del equipo. Además, el modelamiento del acero de refuerzo permitió tener planos de instalación de manera rápida y validar la data para la fabricación de todos los elementos a utilizar, así como determinar cotas para su inspección y como punto adicional la optimización de las varillas de acero.

Erazo (2021) ante la problemática propia de los proyectos de construcción que es la alta incertidumbre y variabilidad, debido a dificultades en la comunicación entre proveedores, subcontratistas y el contratista general, poco compromiso de los subcontratistas, constantes cambios en la ingeniería del proyecto, poca colaboración entre subcontratistas, poco conocimiento de la metodología del sistema del último planificador. Es así que planteó un modelo de gestión de personas en la etapa de planificación y ejecución de una infraestructura deportiva, mediante la comunicación y reuniones, gestión visual, uso de TI (Tecnologías de la Información), planificación colaborativa, mejora de compromisos del equipo mediante la capacitación en Last Planner System.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

### 2.1 MARCO TEÓRICO

La gestión de la construcción bajo el enfoque tradicional, ha presentado muchas deficiencias. Una metodología que ha mejorado la gestión es el Diseño y Construcción Virtual (VDC), el cual se enfoca en el producto (gestionado con BIM los alcances y compatibilidades), los procesos (gestionada con PPM como sistemas de producción para optimizar costo, tiempo y alcance) y la organización (mediante sesiones ICE colaborativas con el equipo responsable). Se evidencia que con su uso y la elección de métricas y factores controlables se ha logrado mejorar la gestión del proyecto, alcanzando el objetivo del proyecto y cliente como en el caso de la remodelación de la Villa Deportiva Nacional en Lima-Perú, llevando a cabo su ejecución en un plazo de 18 meses, o en el Heathrow Express T5 mejorando la confiabilidad de la programación de vaciado de concreto (Huamaní, 2020). Así también, Galán (2017) aplicó VDC en la construcción de un edificio multifamiliar 7 Pisos logrando cumplir los objetivos tanto del cliente como del proyecto en alcance, plazo y costos (incluso logrando un ahorro de casi 80 mil soles), resaltando el uso de la metodología y la generación de valor. Padilla y Quispe (2017) resaltan la importancia que conlleva tener una buena planificación para minimizar los retrabajos e inconsistencia en el entregable final. Identificaron un uso de VDC en la etapa de planeamiento, en específico para reducir la cantidad de Solicitudes de Información que suelen presentarse durante la ejecución generando No Conformidades, lo cual repercute en gastos por actividades no contempladas en el presupuesto, específicamente en recursos, materiales, equipos, etc.

Huatuco (2017) planteó la utilización de buffers para reducir la variabilidad de los procesos constructivos en la construcción de una presa hidroenergética, acortando así la brecha entre el avance programado y el real. Concluyendo que, el buffer adecuado facilitará el desarrollo de la programación en la construcción de proyectos, optimizando la capacidad predictiva y el flujo de producción en campo de los proyectos.

Múltiples autores han realizado estudios para optimizar el uso del acero de refuerzo en obras, es así que Quiroz (2015) y Valle (2015) llevaron a cabo un modelamiento virtual de armaduras en concreto armado, en un software programado en lenguaje Visual Basic .NET para la optimización y automatización de procesos, para así lograr la productividad y calidad adecuada en la misma obra. Centrándose en optimizar el proceso de construcción, como: reducir la merma producida por cortes de barras, evaluación de opciones de prefabricación, propuesta de solución a incompatibilidades, herramientas para el metrado, etc. En conclusión, el método propuesto permitió analizar múltiples opciones de diseño y procesos constructivos, por lo que se logró tener una planificación más certera y cumplir con los objetivos del proyecto. Espinoza (2018) concluyó que, el uso de la tecnología BIM en los proyectos optimiza las actividades de habilitación e instalación de acero, así como la compatibilización de las obras de concreto armado en un 86%. Se muestra de esta manera la influencia de incorporar la optimización de barras acero de refuerzo y la aplicación del Diseño y Construcción Virtual.

Ballard (2003) identificó la existencia de una gran cantidad de retrasos en el flujo de información debido a transferencias de datos inexactas y largas demoras en la obtención de información requerida, generando desperdicios en toda la cadena. Observó una mejora en el proceso de cadena de suministro de acero dimensionado, evitando la malinterpretación, retrasos e interrupciones al flujo de información. Ballard Y Tommelein (2005) señalaron que el futuro perfecto en el suministro de acero de refuerzo será uno en el que las personas y las organizaciones cooperan, se centran en el rendimiento total del sistema y se recompensan por la innovación, generación de valor y aprenden en conjunto cómo entregar progresivamente mejores edificios a menor costo. Además, indican que la implementación del Lean Project Management puede influir positivamente en la mejora del flujo total evidenciando el desperdicio y maximizando el valor.

De lo anterior, se evidencia el uso de VDC para la mejora en las diferentes etapas de los proyectos de distintos tipos, además de la importancia que representa el acero de refuerzo y su optimización en un proyecto de edificación, es por ello que la presente tesis se enfoca en reducir las principales fuentes de

variabilidad que la afectan para así lograr un flujo continuo y el beneficio general de las obras de edificación multifamiliar que lo requieran.

## 2.2 MARCO CONCEPTUAL

### 2.2.1 *Diseño y Construcción Virtual (VDC)*

Fischer et al. (2017) definen Virtual Design and Construction (Diseño y Construcción Virtual), según investigaciones realizadas durante las últimas dos décadas en el Centro de Ingeniería de Instalaciones Integradas (CIFE) de la Universidad de Stanford, “como el uso de modelos de desempeño multidisciplinarios de proyectos de diseño y/o construcción, incluidos sus productos (instalaciones), organizaciones y procesos de trabajo bajo los objetivos del negocio”. (Fischer et al., 2017, p. 262)

Fischer y Kunz (2012) afirman que VDC reúne los principios de gestión de producción y BIM dentro de un equipo colaborativo para desarrollar modelos de producto, organización, y procesos para predecir el rendimiento de la construcción y el proyecto en términos de costo, calidad, programación, uso de energía, costo del ciclo de vida, etc. No solo optimizando el resultado de la construcción, sino también los procesos que permiten la construcción.

#### 2.2.1.1 *Propósitos del uso del VDC*

Chingay (2015) señala que el propósito de VDC es definir y establecer objetivos comunes en un proyecto, así como maximizar la reducción de pérdidas (uso de recursos de tiempo, capacidad e inventarios que no agregan valor) en todas las etapas del proyecto, hasta su entrega final, para contribuir a la disminución del presupuesto y mejora en el cronograma asegurando estándares de calidad, seguridad, medio ambiente. Además, VDC ofrece oportunidades estratégicas, incrementando la ventaja competitiva para la transformación de procesos y organizaciones.

El objetivo de VDC es el uso de modelos virtuales de producto, organización y procesos para simular la complejidad de la ejecución de los proyectos de construcción, anticiparse a las restricciones que se puedan presentar, con la finalidad de analizar los riesgos y atacarlos en un mundo virtual antes que cualquiera de los trabajos de construcción en el mundo real. (Ballard et al., 2006)

### 2.2.1.2 Marco VDC

Según Rischmoller et al. (2018) el marco VDC se compone de los siguientes elementos principales y se logra el mayor beneficio cuando son integrados:

- 1) Building Information Modeling (BIM), para gestionar la evolución del producto final a través del Modelado de la Información del Proyecto
- 2) Project Production Management (PPM), Gestionar Procesos y Producción
- 3) Integrated Concurrent Engineering (ICE), Gestionar la organización e interacción de trabajo colaborativo entre equipos multidisciplinarios.
- 4) Client Goals and Project Objectives, los objetivos del proyecto deben ser soporte de los objetivos del cliente.
- 5) Gestionar la ejecución del proyecto por objetivos (cliente y proyecto) a través del uso continuo de indicadores de rendimiento (Métricas de Producción)

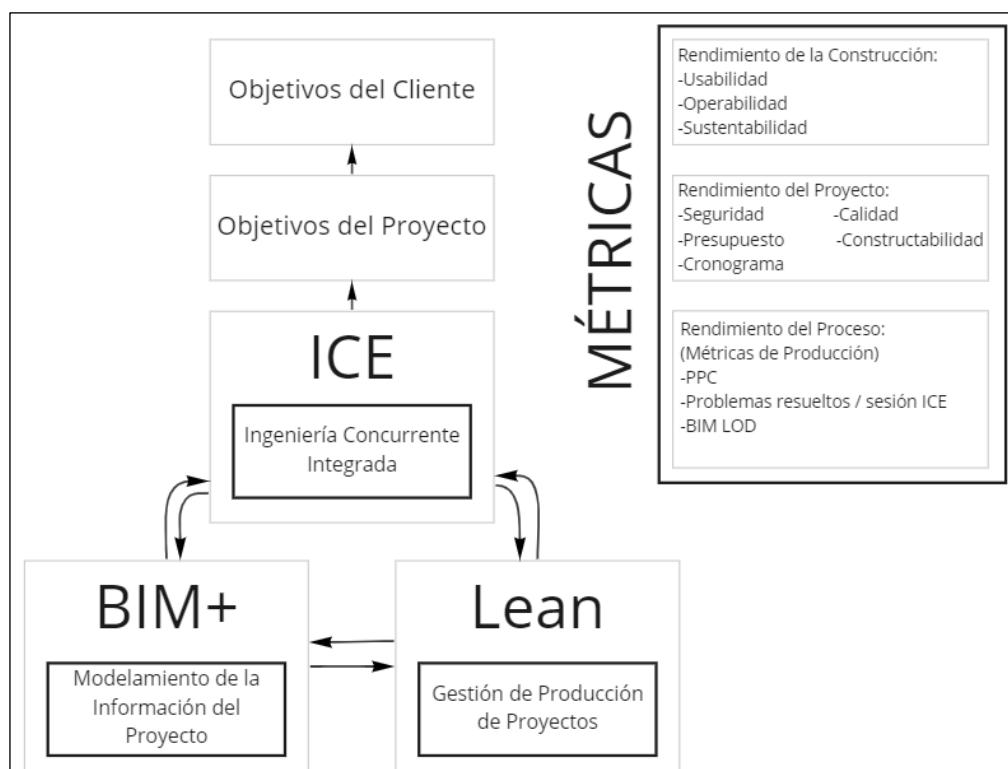


Figura 2-01: VDC como un conjunto integrado de elementos. Adaptado de Rischmoller et al. (2018)

### 2.2.2 Building Information Modeling (BIM)

Eastman (2011, p.1) señala:

“BIM es uno de los desarrollos más prometedores en la industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC por sus siglas en inglés)

permitiendo que uno o más modelos virtuales precisos de un edificio sean construidos digitalmente. Da soporte al diseño a través de todas las fases, permitiendo un mejor análisis y control frente a los procesos manuales. De tal manera que al estar terminados, contienen la geometría precisa y datos necesarios para respaldar las actividades de construcción, fabricación y procura a través de las cuales la construcción se realiza. Por lo tanto, BIM puede ser definido como un conjunto de herramientas, procesos y tecnologías que están facilitadas por una documentación digital e inteligible en un computador sobre el proyecto, su rendimiento, planificación, construcción y posterior operación. El resultado de una actividad BIM es un modelo de información del proyecto.”

Asimismo, BIM se puede traducir como: “Modelo de la Información de la Edificación”. El modelado tiene como objetivo reunir toda la información (representado tradicionalmente por planos y especificaciones técnicas en documentos separados) de un proyecto en una sola base de datos de información completamente integrada e interoperable para que sea aprovechada por cada integrante del equipo de diseño, construcción y al final por los propietarios para su operación y mantenimiento a lo largo del ciclo de vida de la edificación, esta información será utilizada dependiendo del usuario. (Alcántara, 2013)

BIM responde a preguntas como anticipar cómo se verá una edificación antes de ser construida, cómo el equipo del proyecto se asegura que la construcción se va a comportar de acuerdo a la finalidad de uso antes de ser construidas; y la respuesta es diseñando, construyendo y operando un edificio virtualmente a través del uso de Building Information Modeling (BIM). El cual puede representar la información del diseño como se vería en la construcción finalizada, entendiendo profundamente y reduciendo posibles errores de interpretación a través de la simulación del comportamiento de la edificación, BIM permite la exploración y optimización a través en múltiples dimensiones como costo, calidad y cronograma. Esto resulta en mejor predicción de rendimiento, para lo cual es vital permitir la colaboración productiva entre las múltiples disciplinas y crear un flujo de trabajo óptimo. (Fischer et al., 2017)

### 2.2.2.1 Beneficios de BIM

De acuerdo a la Guía Nacional BIM (Guía Nacional BIM, 2021), el objetivo de BIM es asegurar la eficiente gestión de información, aplicando correctamente requisitos de nomenclaturas, cantidad, calidad, accesibilidad, transparencia y seguridad de la información para el momento correcto, de tal manera que permita la toma de mejores decisiones durante ciclo de inversión. A continuación se describen los principales beneficios:

1. Transformación Digital: Permite dejar a un lado la documentación en físico y avanzar hacia el intercambio de información digital en tiempo real, logrando transparencia, trazabilidad, mejora en el control de calidad y rapidez de procesamiento e intercambio de información auditável.
2. Integración: Toda la información de distintas especialidades puede optimizar el diseño y la planificación de la ejecución de la obra, reduciendo drásticamente el riesgo de retrasos.
3. Calidad: Mejora su control, posibilitando el análisis y control de los estándares de calidad, además de la verificación de normas aplicables. Asimismo, asegura la identificación de interferencias e incompatibilidades, mejorando los expedientes técnicos mediante trabajo colaborativo, reduciendo variaciones durante la ejecución o cambios después de la misma.
4. Eficiencia: Permite la reducción de presupuesto y cronograma en el desarrollo de las inversiones, utilizando racionalmente recursos destinados a su operación y mantenimiento. Además, permite brindar de una manera más sencilla la información a ejecutar. Simplificando y visualizando la intención del diseño, resaltando riesgos potenciales y medidas que minimizan impactos negativos o interrupciones. Mejorando la comunicación a los stakeholders del proyecto.
5. Diseño para fabricación y ensamblaje: Los elementos constructivos que integrarán la obra se toman en cuenta y se analizan desde el diseño hasta su control de calidad. Además, se tiene en consideración el montaje en sitio de construcción para asegurar el producto instalado.
6. Supervisión del avance de obra: Teniendo toda la información del proyecto y agregar el tiempo de ejecución, garantiza la evaluación de la constructibilidad y la planificación del flujo de trabajo, permitiendo una

visualización y comunicación más sencilla de acuerdo a aspectos secuenciales, específicos y temporales del avance de la obra.

7. Rendimiento de activos: Permite incorporar la información del fabricante en el diseño para optimizar el uso de materiales o simular diferentes condiciones para el mejor rendimiento de activos durante la etapa de operación de la inversión.
8. Impacto en el medio ambiente: Se producen menos residuos de construcción, mejorando el proceso de diseño y ejecución de obra. Además, se puede optimizar la utilización de recursos mediante simulaciones como el uso de energía o emisiones de carbono.
9. Transparencia: De todo lo mencionado anteriormente, contribuye a una mejor toma de decisiones en todas las fases del ciclo de inversión. Mediante la adopción de procesos consistentes para crear, compartir y gestionar la información de la inversión.

Alcantara (2013) también señala la existencia de beneficios tanto en la etapa de diseño como de construcción:

En la etapa de diseño:

- Cumplimiento de expectativas y requerimientos del cliente, además de lista de metrados.
- Generación de planos del proyecto con vistas 3D isométricas y realistas, para fines comerciales del edificio.
- Aprovechamiento de espacios y usos de los ambientes.
- Proveer información para el cálculo estructural de la edificación.

En la etapa de construcción:

- Revisión visual del diseño del proyecto y detección de interferencias físicas entre especialidades. Así como la representación del avance por los propietarios.
- Obtener reporte de cantidades (metrados) e interconectar data de diseño con proveedores (detalles para fabricación de acero estructural y prefabricación de instalaciones a partir del modelo).
- Simulación de procesos constructivos BIM 4D.

#### 2.2.2.2 *Tekla Structures*

Existen diversos softwares BIM en el mundo, los cuales se adecuan a las necesidades de los usuarios y a las industrias que las utilizan. En Perú, el

software más utilizado es Revit (entre sus variantes Architecture, Structure, MEP), siendo el más usado en el modelado de acero de refuerzo el software Tekla Structures de Trimble Inc debido a su ventaja en la construcción (este permite a los contratistas gestionar el riesgo y planificar un proceso de construcción exitoso modelando antes de construir desarrollando cálculos rápidos y precisos para la elaboración de presupuestos, cronogramas, estimación de recursos, entre otros) y fabricación (se presenta como una solución a los fabricantes de concreto prefabricado, varillas de acero de refuerzo y estructuras metálicas, permitiendo detallar todo tipo de estructuras contribuyendo a la fabricación para posteriormente facilitar su instalación). Tekla Structures permite modelar cualquier tipo de estructura y material, incluyendo varios en el mismo modelo. Para el caso de estructuras metálicas y de acero de refuerzo cubre las etapas desde la conceptualización del diseño hasta el detalle, fabricación y construcción. Permite así, poder extraer planos de detalle del modelo y a su vez actualizar el modelo con planos 2D. Su mayor ventaja es que permite obtener listado de cantidad de elementos por material existentes en el proyecto, así como detalles de los distintos elementos dentro del modelo. (Lezama, 2019)

Valle (2015) utilizó el software Tekla Structures en el proyecto del CCIIIFC para modelar a partir de los planos 2D y lograr la visualización del proyecto, realizar la integración interdisciplinaria, así como para la obtención de entregables finales como la planilla de doblez de barras de acero de refuerzo (cantidades y dimensiones de acuerdo a los atributos) y los planos de fabricación.

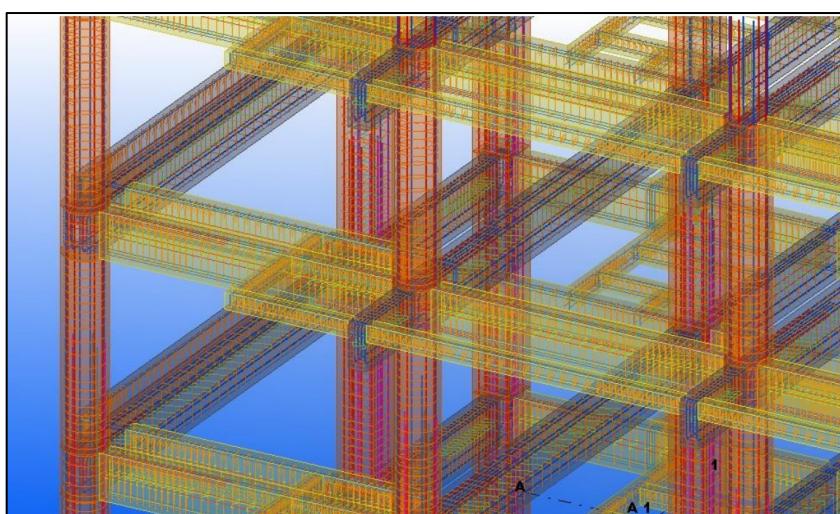


Figura 2-02: Detallamiento de acero de refuerzo en el software Tekla Structures. Fuente: Valle (2015)

### 2.2.3 *Integrated Concurrent Engineering (ICE)*

Fischer et. al. (2017) definen Integrated Concurrent Engineering o ICE (Ingeniería Concurrente Integrada por sus siglas en español) como el trabajo en un mismo espacio físico al menos durante un tiempo significativo para toma de decisiones importantes, utilizando prácticas específicas de trabajo colaborativo que se denominan técnicas de gestión de la producción, de tal manera que se logre una organización y procesos integrados. ICE, es un método donde los equipos de múltiples disciplinas se juntan para una intensa sesión de trabajo combinado, usando información integrada para resolver juntos los problemas complejos. Un equipo trabajando en el mismo lugar puede colaborar de una manera fluida y eficiente, con acceso a la información actualizada y con entendimiento de la implicancia de métricas resultantes. Al trabajar juntos, diseñando y construyendo virtualmente y simulando pruebas de soluciones, los equipos crean una red de conocimiento en el que cada miembro entiende a dónde ir por información en lugar de trabajar de manera independiente en “silos”. Lo que puede resumirse como una metodología de desarrollo efectivo y confiable, donde se reúnen todos los involucrados del proyecto con el fin de resolver problemas en el momento de la ejecución de la obra. Soportado por la tecnología para crear y evaluar múltiples modelos virtuales para facilitar el entendimiento del proyecto a construir. Mejorando el enfoque de solución de los problemas y volviendo efectiva la comunicación entre los implicados, promoviendo la búsqueda y optimización de los recursos con los que se plantea contar durante la ejecución del proyecto. (Padilla y Quispe, 2017)

Asimismo, ICE rompe con el enfoque de trabajar de manera aislada y hacer reuniones informativas. Se combina análisis de ingeniería, comunicación de equipo y toma de decisiones. Esto aumenta la retroalimentación dentro del equipo de diseño, acortando las iteraciones de diseño y reduciendo el esfuerzo. La productividad de ICE se basa en un ciclo de convergencia en sesiones de trabajo colaborativo para compartir información, alinear entendimientos y coordinar acciones, seguido de divergencia para estudios y pruebas adicionales, que se repiten hasta encontrar soluciones a los problemas de ingeniería. Mientras que las reuniones tradicionales a menudo adolecen de agendas de reuniones vagas, preparación deficiente de los participantes, registro poco claro de las decisiones tomadas y trabajo de seguimiento casual, las sesiones de ICE contrarrestan estos desafíos, con una agenda clara con objetivos explícitos,

participantes bien preparados y una resolución activa de problemas. (Rischmoller et al., 2018)

#### *2.2.3.1 Request for Information (RFI)*

Según el Diccionario de Ingeniería (2012), se define RFI (Solicitud de Información por sus siglas en español) como:

“RFI es el proceso o protocolo formal mediante el cual, se solicita información de aclaración a planos, especificaciones u otro para llevar a cabo sin errores parte de un proyecto, generalmente, la solicitud RFI se lleva a cabo según un formato especificado a través de un Transmittal.”

Definición que se complementa con lo expuesto por Padilla y Quispe (2017), quienes señalan que los RFI son el proceso mediante el cual, se pide responder a consultas referente a especificaciones, solución de incompatibilidades, inconvenientes técnicos y otros para lograr llevar a cabo el proyecto sin incurrir en mayores costos de construcción. Es una solicitud formal a una respuesta por parte de los diseñadores, proyectistas o clientes que tienen impacto en el plazo o costo del proyecto.

#### *2.2.4 Project Production Management (PPM)*

El Project Production Institute (2022) simplifica la definición de PPM (Gestión de la Producción de Proyectos) como:

El desarrollo y la aplicación de teorías, principios y métodos de producción modernos para comprender, controlar y mejorar la entrega de proyectos. Esto incluye la aplicación de Ciencias de Operaciones, tecnologías digitales y autónomas.

Rischmoller et. al. (2018) define PPM como simplemente la aplicación de la ciencia de las operaciones a los proyectos, viéndolos como sistemas de producción temporales, centrándose en la organización y el control de actividades laborales en un proyecto. Asimismo, PPM proporciona una teoría cuantitativa y predictiva más profunda sobre los límites alcanzables y el diseño de las actividades del trabajo validada por la práctica en varios entornos. La capacidad para modelar y simular actividades de trabajo para establecer límites de lo que es o no teóricamente alcanzable, así como la capacidad de inferir criterios de diseño para optimizar parámetros clave como producción, trabajo en

progreso, tiempo de ciclo y el uso del liderazgo de capacidad directamente a una mejora en el costo, plazo y el desempeño del alcance de los proyectos.

Adicionalmente complementando la definición previa, Huamaní (2020, p.106) menciona que PPM permite predecir límites en la ejecución del proyecto para un sistema de producción determinado e identificar con precisión dónde se pueden asignar buffers para optimizar los parámetros clave mencionados anteriormente.

### 2.2.5 Lean

Erazo (2021) resume los ocho tipos de desperdicios o pérdidas asociadas a la filosofía JIT (Just in Time) o Justo a Tiempo empleadas en el Sistema de Producción Toyota definidas por Shingo y Ohno: sobreproducción, esperas, transportes, sobre procesamiento, inventarios, movimientos, defectos y el último añadido por Liker (2004), pérdida del talento humano. Asimismo, se recalcó la importancia del Control de Calidad Total (CCT) o Jidoka, en el cual se involucra al obrero (línea de producción) en el aseguramiento de la calidad generando un control más proactivo que reactivo. El gran desarrollo hecho por la industria japonesa llamó la atención de investigadores del MIT (Massachusetts Institute of Technology), acuñando el concepto “Lean” en el libro “La máquina que cambió al mundo” de Womack, Roos y Jones (1990).

“Lean production es ‘lean’ porque usa menos de todo comparado con la producción en masa: mitad de recurso humano en fábrica, mitad del espacio de fabricación, mitad de herramientas invertidas, mitad de horas invertidas de ingeniería para desarrollar un nuevo producto en la mitad de tiempo”, fue la definición mostrada en el libro “La máquina que cambió al mundo” de Womack et al. (1990). Posteriormente en 1996, sintetizan los siguientes cinco principios de su libro Lean Thinking:

- Especificar el concepto de valor, entender el concepto de valor para el cliente.
- Identificar el flujo de valor para cada producto.
- Hacer que los flujos no tengan interrupciones.
- Accionar el sistema de manera pull.
- Perseguir la perfección a través de una cultura de mejora continua.

Koskela (2000) señala que los principales principios para dar flujo continuo a los procesos en el diseño de sistemas productivos son:

- Reducir las actividades que no generan valor (desperdicios).
- Reducir el tiempo de entrega.
- Reducir la variabilidad.
- Simplificar el número de pasos del proceso.
- Incrementar la flexibilidad del proceso.
- Incrementar la transparencia del proceso.

#### 2.2.5.1 *Lean Construction*

Padilla y Quispe (2017) resumen Lean como la filosofía orientada hacia la correcta administración en construcción y cuyo objetivo principal es la reducción o eliminación de todas las actividades que no generan valor al proyecto y optimizar aquellas que sí, brindando herramientas en la etapa de ejecución y al sistema de producción. La idea de usar Lean en los proyectos de construcción es acelerar las actividades de los proyectos, sin dejar de lado la calidad ni la seguridad, eliminando todo lo que no resulte necesario en el proceso de desarrollo y ejecución.

Erazo (2021), después de una basta revisión de definiciones desde el origen con Koskela (1992), define Lean Construction como “La aplicación de una nueva forma de gestión de la construcción, que busca entregarle mayor cantidad de valor al cliente y reducir las pérdidas. Esto involucra todo el ciclo de vida de los proyectos de construcción”.

#### 2.2.5.2 *Principios Lean Construction*

Erazo (2021) resume los principios Lean Construction en los siguientes 11 puntos:

- Reducir la participación de las actividades que no agregan valor: Se busca identificar las actividades que agregan y no agregan valor, y reducirlas sistemáticamente.
- Aumentar el valor del producto a través de la consideración sistemática de requerimientos del cliente: Identificar claramente las necesidades de los clientes internos y externos. Esto debe ser considerado por el proyecto, mediante el mapeo de procesos e identificando los clientes y sus requisitos.
- Reducir la variabilidad de los procesos: Es el principal enemigo de la producción y debe reducirse.

- Reducir los tiempos de ciclo: Relacionado con el JIT, el tiempo de ciclo puede definirse como la suma de distintos tiempos (transporte, espera, procesamiento e inspección), en el que se busca reducir el tiempo de procesamiento y el tiempo de las actividades que no agregan valor.
- Simplificar, minimizar el número de etapas, partes y relaciones: Reducir la cantidad de pasos, dejar solo las que generan valor.
- Incrementar la flexibilidad de los resultados: Generar la posibilidad de mejorar los resultados, sin aumentar el costo de los mismos.
- Aumentar la transparencia de los procesos: Permite identificar los errores en el sistema de producción, al mismo tiempo que mejora la disponibilidad de información necesaria para la ejecución de tareas, facilitando el trabajo.
- Focalizar el control en el proceso completo: Buscar optimizar el desempeño global y no solo alguna actividad específica.
- Incorporar el mejoramiento continuo en el proceso: Incrementar el valor y reducir las pérdidas constantemente debe ser desarrollado continuamente.
- Balancear la mejora de flujos con la mejora de la conversión: La mejora del flujo conlleva a una mejora de la conversión y viceversa.
- Usar benchmarking: Aprendizaje de prácticas adoptadas por otras empresas líderes en algún aspecto de la producción.

#### 2.2.6 *Push y Pull*

Ballard (1999) define un sistema “Pull” como aquellos que liberan materiales o información en un sistema en función de su estado (la cantidad de trabajo en proceso, la calidad de las asignaciones disponibles, etc.), además de las fechas límite. Por el contrario, el sistema “Push” libera materiales o información en el sistema “en función de las fechas de vencimiento pre asignadas” únicamente. El trabajo “Push” se basa en un plan. Ballard luego refina el concepto “Pull” en la construcción para que sea “en última instancia, derivada de las fechas de finalización objetivo, que se aplica específicamente al cliente interno de cada proceso”. Los argumentos sobre “Pull” se enfatizan como parte del plan Lookahead (“jalando” el trabajo de las unidades de producción aguas arriba). Ballard argumenta que el análisis de restricciones en el plan Lookahead utiliza un mecanismo “Pull”, en contraste con la programación de construcción

tradicional (por ejemplo, el método de ruta crítica -CPM) que se basa en mecanismos de “Push”.

Kalsaas et al. (2015) hace una revisión de la literatura a la fecha y sugiere que es beneficioso utilizar soluciones “Pull” cuando se cumplen los siguientes criterios: Baja variación de la demanda; Corto tiempo de cambio; Tamaño de lote pequeño; Pequeños lotes de transporte; Patrones de flujo simples; cuellos de botella equilibrados; Altos niveles de tiempo operativo del equipo; Alto grado de flexibilidad laboral; Alta fiabilidad de entrega; Alta calidad de producción; y Alto desempeño de los proveedores; mientras que se recomienda el sistema “Push” para criterios opuestos a los mencionados.

#### *2.2.7 Factores Controlables*

Los factores controlables son las acciones que un equipo se compromete a administrar y controlar para lograr los resultados que se han comprometido a entregar. Los factores controlables son la clave para producir valor porque convierten las posibilidades de la visión creativa y la estrategia en acción. Un factor controlable vincula inextricablemente una acción que el equipo elige realizar con la medición del desempeño de la acción. Los principales factores controlables son las acciones que un equipo puede tomar, en particular, cómo se organiza (organización integrada y colaboración), cómo se gestiona los procesos y la producción (procesos integrados y gestión de la producción), y cómo representa la información de diseño y construcción y utiliza tecnología (información integrada y visualización/simulación). (Fischer et al., 2017)

Algunos ejemplos de Factores Controlables son:

- Uso LOD de BIM por disciplina.
- Alcance del proyecto coordinado con un modelo 3D.
- Participación en sesiones.
- Uso de modelo 3D y 4D para identificación de restricciones.

#### *2.2.8 Métricas de producción*

Las métricas de producción son aquellas que el equipo del proyecto usa para medir y monitorear el trabajo con el fin de alcanzar y gestionar la producción generalmente diaria, semanal o mensual. (Kunz y Fischer, 2020)

A través de las mediciones, podemos tener control sobre cómo poder alcanzar los objetivos del proyecto. Para ello, el equipo del proyecto debe trasladar los

objetivos del cliente en métricas de rendimiento de usabilidad, operación y sustentabilidad junto con las de seguridad, calidad, cronograma y costo para medir la constructabilidad. De acuerdo al tipo de objetivo es que se usan las métricas correspondientes, algunos objetivos pueden ser medidos y otros pueden ser evaluados. Establecer las métricas son la prioridad una vez que se hayan definido los objetivos del proyecto y del proceso de trabajo. (Rischmoller et al., 2018)

Según Belsvik et al. (2019), las principales métricas aplicables para todo proyecto VDC son:

- Porcentaje de Plan Completo (PPC).
- # de Tareas Anticipadas y # de Tareas Listas para Ejecutar.
- # de Incompatibilidades detectadas con el modelo BIM.
- Evaluación de las reuniones y # de Análisis de Causa Raíz de los problemas.
- Latencia de Decisiones.

### 2.2.9 *Objetivos del Cliente y del Proyecto*

Muchos dueños de proyectos desean optimizar el uso y la sustentabilidad a la vez que reducen el costo de operación y mantenimiento con el costo de la construcción. Sin embargo, la práctica tradicional se enfoca principalmente en el diseño de la construcción para lograr el menor costo y la entrega más rápida. Los objetivos del cliente y del proyecto no se encuentran alineados. El propósito con VDC es resolver los problemas del negocio. Los objetivos del proyecto deben dar soporte a los objetivos del cliente. De esta manera, si la sustentabilidad y costo del tiempo de ciclo son metas del cliente, el equipo del proyecto no debe dejarlo de lado. En el marco VDC simplificado se requiere que los miembros del proyecto determinen sus objetivos de tal manera que estén alineados a objetivos del cliente como usabilidad, constructabilidad, operación y sustentabilidad conocido como High-Performing Building. (Rischmoller, et al. 2018)

### 2.2.10 *Objetivos del Cliente, Objetivos del Proyecto, Métricas de Producción y Factores Controlables*

El equipo del proyecto integrado traduce las metas del cliente en objetivos del proyecto. Para lograr el objetivo del proyecto, se requiere convertir a métricas

que guíen el camino. Para cumplir estas métricas de producción el equipo debe decidir qué acciones tomar, es decir, elegir correctamente los factores controlables de mayor impacto. (Fischer et al., 2017)

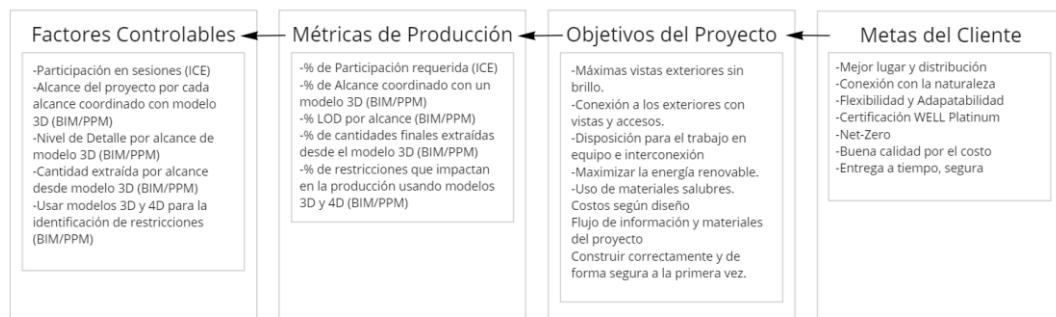


Figura 2-03: Métricas conectando la producción con las metas del cliente. Fuente Adaptado de Fischer et al. (2017) Integrating Project Delivery

### 2.2.11 Variabilidad

En construcción se puede definir la variabilidad como la ocurrencia de eventos que dificultan que las actividades de la construcción se ejecuten de forma predecible, dificultando el cumplimiento de los objetivos del proyecto. (Erazo, 2021). En general, la variabilidad afecta los índices de producción y puede disminuir la productividad general de un proyecto (Alarcon y Ashley, 1999). Algunos de los efectos asociados a la variabilidad es el impacto en la tasa de producción, la cual disminuye la productividad del proyecto generando barreras para cumplirlos. Thomas et al. (2002). Además, la variabilidad en los proyectos de construcción generalmente se refleja en plazos más largos y mayores costos. En general, la variabilidad no agrega valor al proyecto y a menudo afecta la calidad. (Gonzales y Alarcón, 2003). Un medio para mitigar los efectos de la variabilidad es a través de la aplicación de contingencias o buffers (Ballard, 1993).

### 2.2.12 Buffers

Un modo de hacerle frente a la variabilidad en un proyecto de construcción es mediante el uso de Buffers, los cuales permiten dar mayor independencia a los procesos, mejorando el desempeño general de la cadena de producción. (Alarcón y Gonzales, 2003).

El Project Production Institute define buffer (PPI, 2022) como:

“Un medio o dispositivo que se utiliza como amortiguador contra el impacto de las fluctuaciones en la actividad comercial o financiera.”

Los buffers se clasifican de la siguiente manera:

- Contingencias. Referido a cantidades en tiempo (cronograma) o costo (presupuesto), que permitan dirigir futuros imprevistos en los proyectos de construcción. (Alarcon y Gonzalez, 2003)
- Inventarios. Son stocks de elementos en exceso, stocks de seguridad, WIP, e inventario de bienes terminados (Horman, 2000). Los inventarios de materiales permiten amortiguar el impacto negativo en la entrega de material de un proveedor externo, pero en muchos casos presenta cierta rigidez para su manipulación, pues dependen de las políticas financieras de abastecimiento, almacenamiento, y de utilización de materiales de un proyectos, trabajando en muchos proyectos con materiales ajustados. (Alarcón y Gonzalez, 2003)
- Tiempo (Incluyendo el flujo de trabajo). Entendido como colas, lotes, pausas deliberadas de producción, flujos reguladores y holguras en la programación (Horman, 2000)
- Capacidad Operacional. Se entiende como la utilización flexible de mano de obra, de plantas y equipos de modo que se ajusten a la demanda actual. (Horman, 2000). Implica, por ejemplo, tener mano de obra que se ajuste a los requerimientos variables de producción (cantidad flexible de mano de obra).
- Planes. Representado fundamentalmente por el inventario de Trabajo Ejecutable (ITE) propuesto en el Último Planificador (Ballard y Howell, 1995).

#### 2.2.13 Ingeniería de Detalle

Dentro de un proyecto, se cuenta con tres fases de ingeniería, las cuales tienen su ubicación en el tiempo de acuerdo a cómo el proyecto se desarrolla. Estas son: la ingeniería conceptual (Basada en estudio de viabilidad, permite identificar si el proyecto es viable técnica y económico, en definición de los requerimientos del mismo); la ingeniería básica (revisión detallada de la ingeniería conceptual y los requerimientos del cliente, las especificaciones básicas, cálculo de diseño de especialidades, el cronograma y el costo final estimado); y finalmente la ingeniería de detalle (Visualización de manera tangible

y real del proyecto, se desglosan los detalles del proyecto en planos por especialidad, además del establecimiento de los sistemas constructivos para cumplir con el cronograma y costo estimado). Es en la última etapa donde se generan los planos 2D del proyecto, siendo no siempre suficientes para una clara ejecución. Es ahí donde BIM retoma importancia, ya que presenta la información del proyecto o elemento constructivo con su respectivo Nivel de Desarrollo ( LOD por sus siglas en inglés Level Of Detailing). (Lezama, 2019)

#### *2.2.13.1 LOD (Level Of Development)*

El nivel de desarrollo del modelo (Level of Development, LOD) es el grado en el que se ha pensado el modelo respecto a su geometría, y la información adjunta, como datos mínimos dimensionales, espaciales, cuantitativos, cualitativos y otros incluídos: el grado en que los miembros del equipo del proyecto pueden confiar en la información obtenida desde el modelo 3D. (BIMForum, 2020).

Por ello, para el American Institute of Architects (AIA, 2013) se establecieron cinco niveles de desarrollo LOD, y uno añadido por el BIMForum (BIMForum, 2020) que son: LOD100 (indica un símbolo u otra representación gráfica que represente visualmente el objeto, por ejemplo costo/m<sup>2</sup> asociado a losas de piso), LOD200 (indicado en el modelo con las cantidades, dimensiones, formas, ubicación, peso, orientación, etc. del objeto de forma aproximada, se asocia con la etapa de diseño, por ejemplo , un artefacto de iluminación genérico con tamaño forma y ubicación aproximada), LOD300 (representado gráficamente dentro del modelo como un sistema, objeto o ensamblaje específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación, por ejemplo, el diseño detallado de un troffer 2x4, con tamaño / forma / ubicación específicos). LOD350 (añadido por el BIMForum, se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema, objeto o ensamblaje específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación, orientación e interfaces con otros sistemas de construcción, por ejemplo el modelo real de un Lightolier DPA2G12LS232, tamaño/forma/ubicación específicos), LOD400 (personaliza el objeto y permite tener la información que permite su puesta en obra, su representación es usada para la etapa de la construcción, por ejemplo como el LOD 350, más detalles especiales de montaje, como en un plafón decorativo) y LOD500 (representa en totalidad el objeto puesto en obra, como verificación del cumplimiento de las especificaciones del elemento).

El nivel de detalle a aplicar en un modelo depende de la especialidad que lo utilice, por ejemplo, para un arquitecto va a ser importante tener la información de un muro para comparar materiales, mientras que para un constructor tener la secuencia de ejecución será la prioridad. (Eastman, 2011, p. 219)

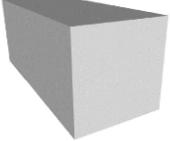
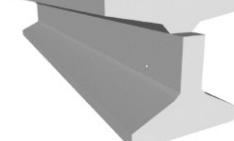
LOD200	LOD300	LOD350	LOD400
			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de sistema de concreto estructural.</li> <li>• Geometría aproximada de elementos estructurales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño, ubicación, orientación del elemento principal correcta.</li> <li>• Concreto definido según especificaciones (resistencia, arrastre, tamaño de agregados, etc.)</li> <li>• Todas las superficies que requieren inclinación excepto los afectados por la selección del fabricante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Refuerzo modelado.</li> <li>• Ubicación de refuerzos y cordones de postensados</li> <li>• Ubicación de juntas, de empalmes. Programación de secuencia.</li> <li>• Empotramiento y varillas de anclaje</li> <li>• Perfil de postensado y torones modelados</li> <li>• Penetraciones para elementos como MEP</li> <li>• Encofrado o apuntalamiento permanente modelado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todo el refuerzo incluyendo los elementos postensados detallados y modelados.</li> </ul>

Figura 2-04: Ejemplo de diferentes LOD en viga estructural prefabricada. Adaptado de BIMForum (2020)

### 2.2.13.2 Ingeniería de detalle en Acero de Refuerzo

El acero de refuerzo no puede considerarse un elemento independiente ya que siempre pertenece a un elemento mayor, en este caso de concreto armado de distintas estructuras. Se puede decir que empieza con un LOD 100 al conceptualizarlo y llega a un LOD 400, que es cuando el acero se define completamente dentro del concreto para permitir su construcción. Conociéndose el tipo de varilla a utilizar, el diámetro, la cantidad, cuantía, dimensiones, ubicación, compatibilidad para mostrar exactamente cómo se instalará. (Lezama, 2019)

### 2.2.13.3 Acero de Refuerzo Dimensionado

El acero dimensionado o fierro habilitado es una solución integral para el suministro de acero de refuerzo que introduce la ingeniería de detalle en el desarrollo de un proyecto de construcción. A partir de la asesoría en constructibilidad, el diseño de piezas y la coordinación del cronograma de entrega del acero. El diseño de las piezas de acero dimensionado se coordina a partir de los planos estructurales proporcionados por los ingenieros de obra. De esa forma, se busca que las piezas sean compatibles, o de lo contrario, se hacen los cambios requeridos. Se busca aportar eficiencia al proceso constructivo, otorgando un valor agregado para los clientes constructores: mayor productividad proponiendo mejoras de constructibilidad, reduciendo la mano de obra de habilitado e instalación, ahorro de recursos eliminando desperdicios, reducción de inventario con flexibilidad de entregas a tiempo, reducción de accidentes y calidad certificada. (Aceros Arequipa, 2022; Sider Perú, 2022)

## CAPÍTULO III: DIAGNÓSTICO DE FUENTES DE VARIABILIDAD EN PROYECTOS DE SUMINISTRO DE ACERO DIMENSIONADO

En este capítulo, se identificarán las fuentes de variabilidad existentes en el suministro de acero dimensionado en un proyecto de edificación multifamiliar. Para ello, se mapea inicialmente el proceso tradicional de trabajo con acero dimensionado previo a la implementación, se identifican y validan las fuentes de variabilidad a través de un método exploratorio mediante encuestas a expertos, logrando obtener para el final del capítulo las principales fuentes que afectan al proceso de suministro de acero dimensionado en edificaciones multifamiliares. Con la información obtenida de este capítulo, en el siguiente se procede con el marco de implementación de la metodología de Diseño y Construcción Virtual y la posterior optimización del flujo de trabajo.



Figura 3-01: Secuencia de trabajo propuesto para la investigación. Fuente: Elaboración propia.

Para el diagnóstico de fuentes de variabilidad, se siguieron los siguientes pasos:

- a. Elección de la problemática a tratar. Luego de la revisión literaria, se identificó que el suministro de acero es un área de estudio en otros países. Es así que Ballard (2003) menciona que el suministro de acero es afectado por diversas fuentes que generan variabilidad, sin embargo en nuestro país no hay estudios que la identifiquen.
- b. Elección de la metodología. Debido a la poca literatura referente a la variabilidad en el suministro de acero dimensionado se optó por realizar un estudio exploratorio. Para ello, se optó por elaborar una encuesta a expertos en base a su experiencia. Se aplicaron los siguientes pasos:
  - i) Elección de expertos. Dado que, los proyectos de edificación multifamiliar en la etapa del casco estructural tienen como plazo de ejecución entre 5-9 meses, y cada coordinador de

proyecto participa en 4-8 proyectos en simultáneo en distintas etapas. Cada experto ha participado en por lo menos 10-20 proyectos de edificación multifamiliar, viendo variedad de casos y evidenciando la problemática de la variabilidad.

Tabla 3-01: Tipos de Expertos seleccionados Fuente: Elaboración propia

EXPERTOS	CANTIDAD
Coordinadores de Obra Acero Dimensionado	6
Supervisores de Instalación Acero Dimensionado	2

ii) Primera ronda de evaluación.

En la primera ronda de evaluación, se valida la experiencia del experto, y se determina el set de puntos a evaluar posteriormente, referente a las principales fuentes de variabilidad detectadas.

iii) Segunda ronda de evaluación.

En la segunda ronda, cada experto puntúa las fuentes de variabilidad según una escala de Likert (del 1 al 5). Con el puntaje obtenido respecto a la frecuencia e impacto, se genera la matriz de riesgos, donde aquellas fuentes que sean consideradas altas y moderadas serán atacadas en la implementación.

### 3.1 PROCESO TRADICIONAL CON ACERO DIMENSIONADO

La Figura 3-02 muestra el flujo de trabajo previo a la implementación, que empieza con el cierre comercial del proyecto y una sesión Kick Off o de Inicio de Proyecto y como entrada recurrente la información disponible del proyecto para la realización de la ingeniería de detalle para el acero de refuerzo, pasando por el detallamiento realizado con modelado y compatibilización, elaboración de planos, envío a producción, planificación, programación, fabricación, armado, carga, transporte y descarga, hasta cumplir con la instalación y liberación del entregable requerido de acuerdo a la programación del Cliente Constructor.

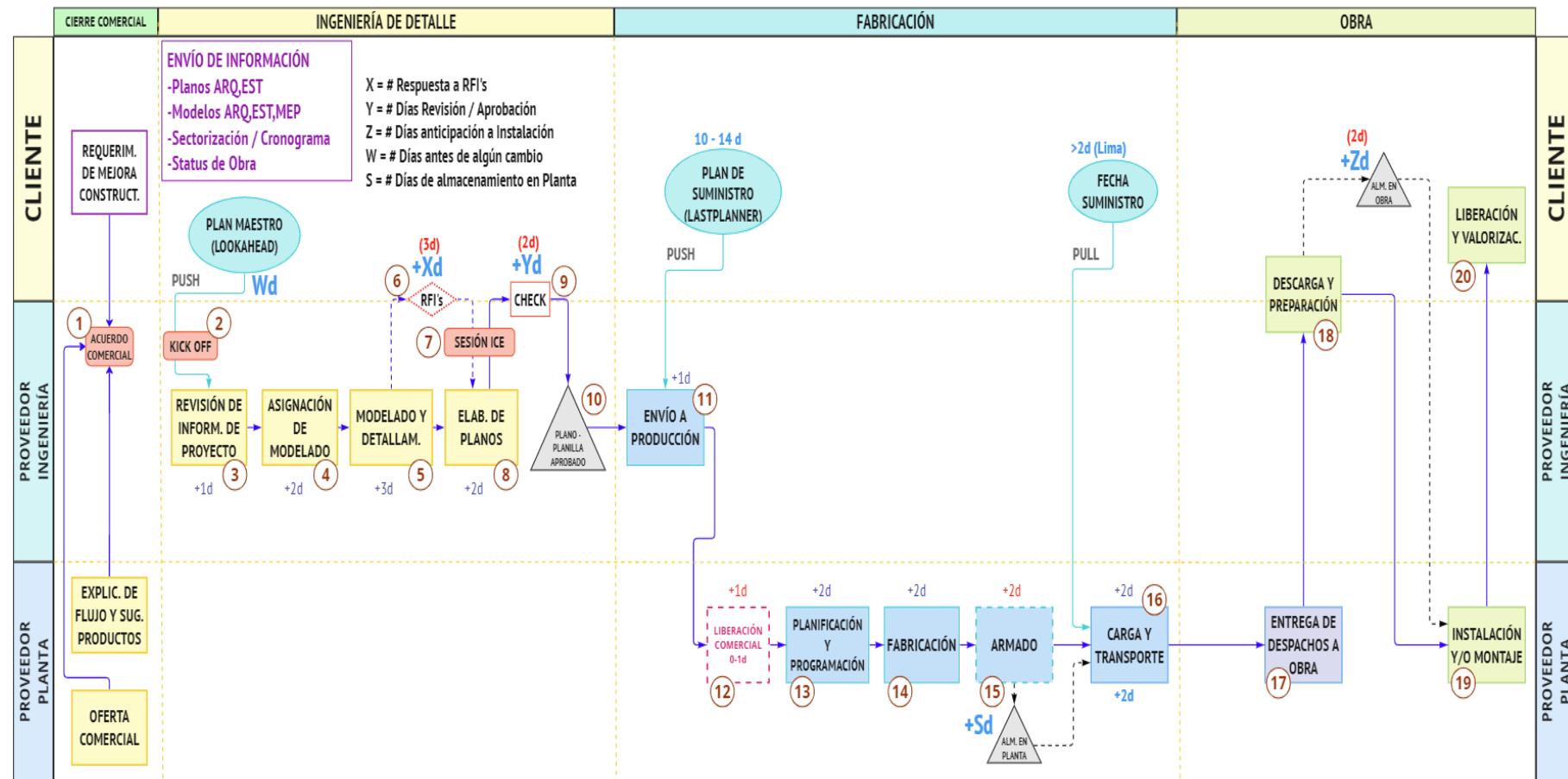


Figura 3-02: Proceso Tradicional de Suministro de Acero de Refuerzo dimensionado para una edificación multifamiliar en Lima. Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.1 *Cierre comercial*

Etapa en la que se coordina entre el área comercial del cliente y del proveedor el producto a contratar de acuerdo con el plan de ejecución de la obra, además de analizar la demanda requerida y el precio a considerar. Posterior a ello, el cliente evalúa y acepta la cotización de acuerdo con su análisis. Seguido, se cierra comercialmente el proyecto con la aprobación y envío de la Orden de Compra y se procede a asignar un responsable del proyecto por parte del proveedor, el cual será el encargado de todas las coordinaciones de ingeniería hasta cumplir con la entrega a tiempo del acero dimensionado.

### 3.1.2 *Sesión Kick Off o de Inicio de Proyecto*

Sesión Virtual o presencial en la que se presentan todos los miembros que participarán en el proyecto (Gerente de proyecto, ing. Residente, ing. Producción, Ing. Planificación, Ing. Oficina Técnica, Ing. Calidad, Ing. Seguridad, responsable logístico del cliente, supervisor de instalación, responsable del proyecto, jefe de ventas y otro que desee participar), donde se definen las responsabilidades de cada uno, se explica el flujo de trabajo del servicio, se gestiona la información requerida para el inicio del detallamiento, se programa una capacitación en la plataforma colaborativa Trimble Connect, en los formatos del proyecto y se definen las consideraciones generales (producto a utilizar, envío de cronograma, actualización de planos, capacidad de espacio en obra, horario de entrega, disponibilidad de grúa, etc.) que influyen en todo el proyecto.

### 3.1.3 *Revisión de información de Proyecto*

Tiene como entrada la información del proyecto; planos de arquitectura y estructuras, modelos de especialidades complementarios, sectorización y secuencia, cronograma brindados por el cliente constructor. El responsable del proyecto por parte del proveedor analiza la información y determina la falta de algún plano/consideración importante, también determina la lista de alcances a ejecutar según las fechas proyectadas. Además, junto con los coordinadores de modelado, se plantea la mejor opción a suministrar, ya sea acero habilitado en obra, acero dimensionado o prearmado.

### 3.1.4 Asignación de modelado

Ya analizadas las estructuras a ejecutar, y de acuerdo a las fechas requeridas, teniendo en cuenta el tiempo para asegurar el proceso (lead time), el producto a suministrar y con la adecuada gestión de información del proyecto, se procede a realizar el desglose de las estructuras del proyecto a nivel de entregables (Por ejemplo: la cimentación, la cisterna, elementos verticales de uno o dos niveles, el techo de un nivel, etc.) según atributos definidos por el cliente (Etapa, Sector, Nivel, Estructura, etc.), para que el equipo de coordinadores de modelado lo asigne según disponibilidad de recursos.



Figura 3-03: Desglose de estructuras por fecha requerida y asignación de modelado a modelador  
Fuente: TSC innovation.

### 3.1.5 Modelado y detallamiento

Tiene como entrada la información gestionada por el responsable del proyecto. Con la cual inicia la etapa de revisión de las mismas, donde se generan las primeras consultas o RFI's (por falta de información, incompatibilidades) y se plantean opciones de mejora de constructibilidad (uso de prearmados, pesos máximos, ubicación de empalmes, uso de conectores o anclajes mecánicos, etc.) dependiendo de las condiciones de obra (capacidad y alcance de grúa, interferencia con redes eléctricas, etc.). Esta etapa tiene como salida un modelo con las EETT configuradas, modelado parcial de concreto y acero con RFI's pendientes por modificar en el modelo en el software Tekla Structures. El modelo parcial se exporta en formato IFC y se publica en la plataforma Trimble Connect. Luego de resueltos los RFI's en las sesiones ICE o tener respuestas en el archivo Log de Consultas, se realizan los cambios necesarios.

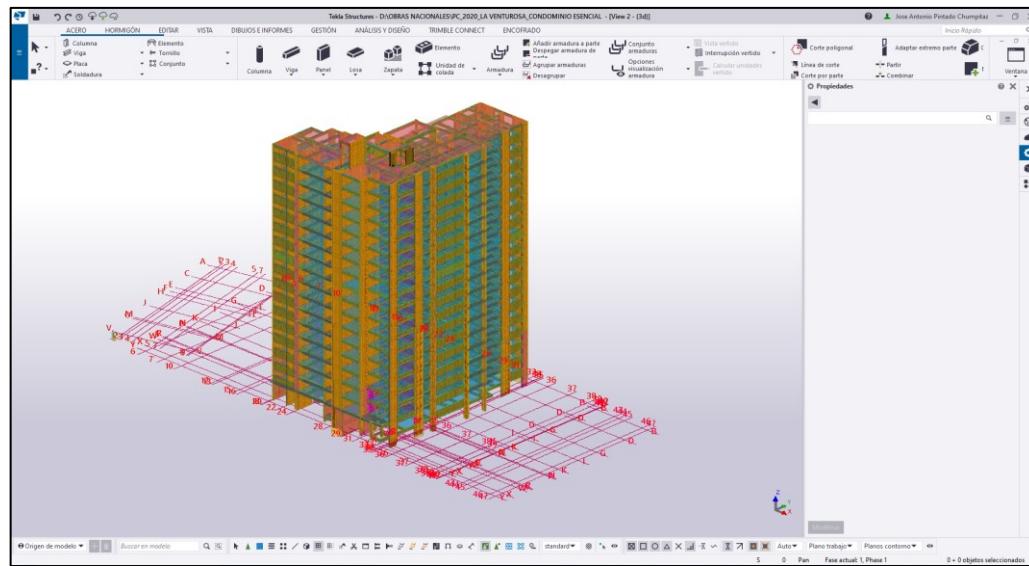


Figura 3-04 : Modelado y detallado de concreto y armadura en Tekla Structures 2020 Fuente: Elaboración propia

### 3.1.6 Envío de RFI's

Archivo en línea (Google Sheets) llamado Log de Consultas con la consulta o RFI realizado, indicando el tipo (información faltante, Incompatibilidad, Interferencia, Mejora) con la información desglosada para ser fácilmente ubicable, realizado por el modelador asignado. Este último crea la consulta, la cual es analizada también por el responsable del proyecto quien genera la alerta como “Nueva” para que el cliente constructor tenga conocimiento de la solicitud. En este archivo se registra la fecha de emisión y respuesta para medir la latencia de respuesta.



Figura 3-05 : Archivo en línea Log de Consultas. Fuente: TSC innovation

### 3.1.7 Sesión ICE

Reunión Integrada entre todos los miembros del proyecto, para explicar y resolver los RFI's, aprobar opciones de mejora o liberar restricciones, con una agenda preestablecida y compromisos por cumplirse. En caso de quedar pendiente alguna respuesta, se establece la fecha límite para responder sin

afectar el flujo de trabajo. Esta sesión de coordinación tiene un acta respectiva para evaluar su cumplimiento.

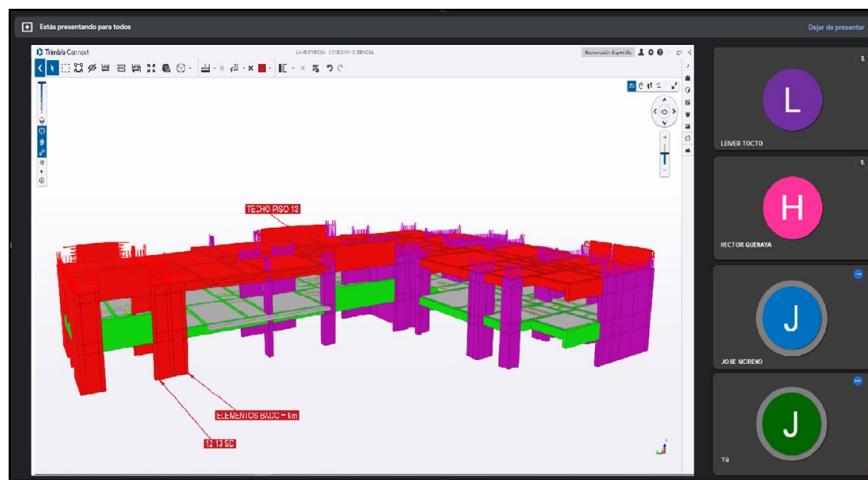


Figura 3-06 : Sesión ICE. Fuente: Elaboración Propia

### 3.1.8 *Elaboración de Planos*

Con el modelo libre de RFI's, se genera la planilla de fabricación y los planos de instalación correspondientes al modelo realizado. Este contiene toda la información de las estructuras asignadas con su respectiva planilla de piezas (marca, forma, diámetro, dimensiones, cantidad, peso) y la información del entregable (Nombre, etapa, nivel, sector, estructura).

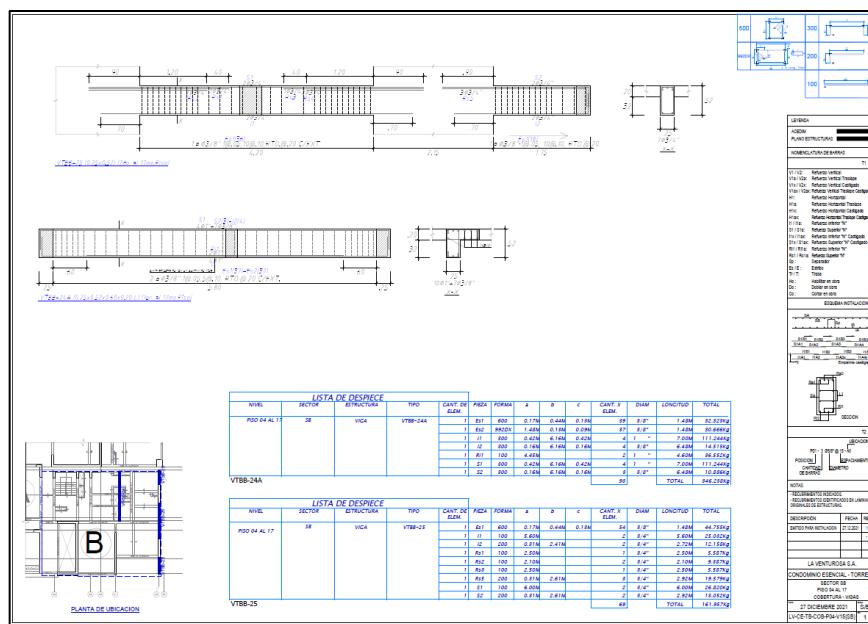


Figura 3-07 : Plano de instalación de Viga del Piso 04 – Condominio Esencial Torre B. Fuente: TSC Innovation

### 3.1.9 Revisión de Planos

El cliente constructor revisa el plano, verificando si su metrado elaborado corresponde a la información de los planos, revisa la aplicación de las EETT (resistencia del concreto, valores de ganchos, longitud y ubicación de empalme, recubrimientos y diámetros de barras, sectorización, peso máximo del elemento, constructabilidad, etc.). En caso exista alguna observación, se levanta corrigiendo el modelado y se genera la planilla de fabricación con los últimos cambios.

### 3.1.10 Plano y Planilla Aprobados

Se genera un backlog de detallamiento (una bolsa de planilla de fabricación ya lista para enviar a producción de acuerdo a los lead time y a las prioridades y fechas requeridas del cliente).

### 3.1.11 Envío a Producción

De acuerdo al Plan de Suministro del cliente, y respetando los lead time, se envía a producción los elementos, asignándoles su número de despacho correspondiente, el cual sirve como dato desde el momento de envío a producción hasta la valorización. Además, esta información retorna al modelo para su trazabilidad.

DET	ENTREGAD	ÁREA	ETAPA	NIVEL	SECTOR	APLICACIÓN	ESTRUCTURA	TIPO	CANT. DE ELEM	PIEZA	FORMA	RADIO	a	b	c	d	CANT. X ELEM	CANT TOTAL	DIM	LONGITUD	TOTAL
A Pequeño																					
1	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.4000
2	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	23.2200
3	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	25.2440
4	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
5	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
6	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
7	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
8	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
9	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
10	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
11	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
12	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
13	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
14	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
15	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
16	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
17	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
18	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
19	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
20	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
21	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
22	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
23	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
24	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
25	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
26	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
27	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
28	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
29	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
30	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
31	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
32	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
33	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
34	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
35	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
36	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
37	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
38	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
39	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
40	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
41	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
42	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
43	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
44	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
45	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
46	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
47	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
48	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
49	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
50	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
51	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex4	600	0.0200M	4.010	0.1751	0.1000	35	35	34"	6.4000	16.3520
52	4454	22p	EDF010	TORRE	PSD10-H	20	PORTANTE	HUESO	1	1	Ex5</										

### 3.1.12 *Liberación Comercial*

Ya cargados los despachos al sistema, si la obra tiene saldo o línea de crédito disponible se realizará la liberación comercial de forma automática, caso contrario, el sistema envía la alerta al Jefe de Ventas del proyecto para que gestione la liberación interna (ampliación de línea de crédito, actualización de cotización, registro de producto, etc.) o externa con el cliente (revisión de facturas vencidas, actualización de orden de compra, etc.).

### 3.1.13 *Planificación y Programación*

Con los despachos ya aprobados, el equipo de Planificación analiza la demanda de fabricación de todas las obras, priorizando las que tengan fecha de entrega próxima de acuerdo a la capacidad máxima de Planta, planteando la fecha tentativa necesaria. Posterior a la planificación, el equipo de planta recibe la lista de prioridades y programa la fabricación y armado de los despachos de acuerdo a la disponibilidad de máquinas, personal, capacidad y optimizando sus recursos.

### 3.1.14 *Fabricación*

En la etapa de fabricación, se ingresa al sistema las piezas a fabricar por diámetro, se imprimen las etiquetas con la información de las piezas, se producen en las máquinas de acuerdo al diámetro (diámetros hasta 5/8" se fabrican a partir de rollos laminados y diámetros a partir de 3/4" a partir de optimización de barras de 12-13-14-15 metros laminados), se empaquetan y agrupan de acuerdo a las formas similares.



Figura 3-09 : Fabricación industrial del acero dimensionado. Fuente: Aceros Arequipa

### 3.1.15 Armado

En el caso de solicitar el producto como prearmado, el acero fabricado se transfiere al área de Preambado, donde el supervisor del área analiza los planos enviados al cliente por el área de ingeniería de detalle y procede con el armado respectivo de acuerdo a la planificación y programación para asegurar los recursos necesarios.



Figura 3-10 : Armado en planta con personal calificado. Fuente: Aceros Arequipa

### 3.1.16 Carga y Transporte

El área de Planificación, con los despachos ya fabricados o a punto de fabricarse o armarse, procede a solicitar la unidad o unidades que transportarán el material de acuerdo a los requerimientos físicos de los despachos solicitados (largo máximo 9m o 12m, capacidad máxima 15 o 30 tn, solicitud de carga ancha, etc.). Este material se carga, se controla por la balanza, se procede con el trámite documentario de facturas, y sale con dirección a la obra con una duración aproximada de 5h desde Pisco a Lima.

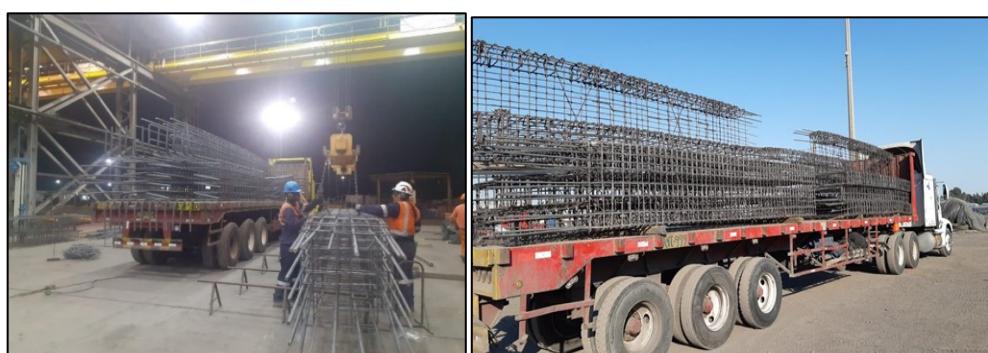


Figura 3-11 : Carga y transporte de acero dimensionado y prearmado en camión plataforma  
Fuente: Aceros Arequipa

### 3.1.17 Entrega de despachos a obra

Según la salida del material de la Planta de Producción, se confirma el rango de llegada del material. De acuerdo al horario asignado para la disponibilidad de descarga del cliente constructor, se coordina la hora exacta de la descarga del material con el área logística del fabricante proveedor.



Figura 3-12 : Entrega de despachos a obra Condominio Esencial. Fuente: Elaboración propia

### 3.1.18 Descarga y preparación

Con la zona ya establecida para el almacenaje del material en obra, se procede con su descarga con torre grúa o con grúa propia de la unidad dependiendo de las condiciones de la obra. (En su mayoría para edificaciones de Lima se utiliza la torre grúa propia de la obra). Además, durante la descarga en la zona especificada se ordena de tal manera que sea fácilmente ubicable para su posterior uso.

### 3.1.19 Instalación y/o montaje

El equipo de obra procede a ubicar el material en la zona respectiva de instalación y separar el material de acuerdo a todas las estructuras requeridas según el sector de avance del día para instalar de acuerdo al plan semanal del cliente con los planos correspondientes. Los elementos prearmados se instalan sin uso de andamios y se arriostran con algunas barras de  $\frac{3}{4}$ " como "vientos" para mantener fija su posición.



Figura 3-13 : Instalación de placa – empalme de zunchos. Fuente: Aceros Arequipa



Figura 3-14 : Instalación de acero dimensionado de vigas. Fuente: Aceros Arequipa

### 3.1.20 Liberación y Valorización

El área de calidad del cliente constructor supervisa la calidad de la instalación en obra junto con los planos del proyecto (cuantías, empalmes, diámetros, cantidades, etc.) y libera la partida correspondiente a la instalación del día. Posterior a la instalación, el área de producción valida semanalmente el tonelaje instalado para la valorización respectiva del equipo de instalación.

### 3.2 DIAGNÓSTICO FUENTES DE VARIABILIDAD

Debido a la poca literatura referente a fuentes de variabilidad en proyectos de acero dimensionado en el Perú, se optó por la realización de un estudio exploratorio (Sampieri et al, 2003), mediante la realización de encuestas a expertos que han participado en proyectos de edificación multifamiliar que trabajaron con acero dimensionado (en obra y como proveedores) cuyo fin fue detectar y validar tanto el impacto como la frecuencia de las principales fuentes de variabilidad, para así establecer su riesgo en el suministro de acero dimensionado de los proyectos de edificación multifamiliar y mitigar sus impactos mediante la aplicación de la metodología VDC (Diseño y Construcción Virtual).

#### 3.2.1 *Caracterización del Experto*

- Grado de Instrucción mínima: Técnico en Construcción Civil / Ingeniero Civil.
- Experiencia en proyectos con acero dimensionado: mayor a 10 años
- Experiencia en proyectos de acero dimensionado en edificaciones multifamiliares: mayor a 5 años
- Magnitud de obra vista en SÓTANOS: mayor o igual a 03 sótanos
- Magnitud de obra vista en TORRE: mayor a 11 pisos

#### 3.2.2 *Entrevista realizada*

Para la entrevista inicial, se realizó el cuestionario final a 8 personas que cumplieron con la caracterización del experto principalmente en Experiencia. Diversos estudios aceptan esta cantidad como aceptable al estar entre 6 y 15 para el tamaño de la muestra (Araya y Vasquez, 2022). En una primera ronda, se determinaron los criterios a utilizar en base a respuestas abiertas mediante una entrevista realizada a los expertos (Ver Tabla 3-02), los cuales se agruparon y ordenaron de acuerdo a la respuesta similar, siendo las principales fuentes de variabilidad relacionadas al cliente, planta, ingeniería de detalle, y generales. (Ver Tabla 3-03).

Tabla 3-02: Experiencia de los Expertos entrevista Fuentes de Variabilidad en suministro de acero dimensionado a Edific. Multifamiliares. Fuente: Elaboración Propia.

1.- Experto	EXPERTO 1	EXPERTO 2	EXPERTO 3	EXPERTO 4	EXPERTO 5	EXPERTO 6	EXPERTO 7	EXPERTO 8
2.- Grado de Instrucción	Ingeniero Civil	Ingeniero Civil	Ingeniero Civil	Ingeniero Civil	Ingeniero Civil	Ingeniero Civil	Técnico Civil	Ingeniero Civil
3.- ¿Cuántos años de Experiencia en el Sector Construcción tiene? (años)	15	15	20	22	14	12	20	10
4.- ¿Cuántos años de experiencia tiene trabajando con acero dimensionado en proyectos de construcción?	más de 10 años	más de 10 años	más de 10 años	más de 10 años	más de 10 años	más de 10 años	más de 10 años	más de 10 años
5.- ¿En qué tipos de proyectos ha participado? (Puede marcar más de 1)	Edificaciones comerciales; Edificaciones multifamiliares; Obras civiles (Transporte, Hidráulicas, etc.); Obras civiles mineras	Edificaciones comerciales; Edificaciones multifamiliares; Obras civiles mineras	Edificaciones comerciales; Edificaciones multifamiliares; Obras civiles (Transporte, Hidráulicas, etc.); Obras civiles mineras	Edificaciones comerciales; Edificaciones multifamiliares; Obras civiles (Transporte, Hidráulicas, etc.); Obras civiles mineras	Edificaciones comerciales; Edificaciones multifamiliares; Obras civiles (Transporte, Hidráulicas, etc.); Obras civiles mineras	Edificaciones comerciales; Edificaciones multifamiliares; Obras civiles (Transporte, Hidráulicas, etc.); Obras civiles mineras	Edificaciones comerciales; Edificaciones multifamiliares; Obras civiles (Transporte, Hidráulicas, etc.); Obras civiles mineras	Edificaciones comerciales; Edificaciones multifamiliares; Obras civiles (Transporte, Hidráulicas, etc.); Obras civiles mineras
6.- ¿Cuántos años de experiencia tiene trabajando en proyectos de edificación multifamiliar con acero dimensionado?	más de 5 años	más de 5 años	más de 5 años	más de 5 años	más de 5 años	más de 5 años	más de 5 años	más de 5 años
7.- Respecto a proyectos de edificación multifamiliar ¿En qué tipos de magnitud de obra ha participado? SÓTANOS (Puede marcar más de 1)	Semisótano - 01Sótano; 02 Sótanos - 03 Sótanos; 04 Sótanos - 06 Sótanos; más de 07 Sótanos	Semisótano - 01Sótano; 02 Sótanos - 03 Sótanos; 04 Sótanos - 06 Sótanos; más de 07 Sótanos	Semisótano - 01Sótano; 02 Sótanos - 03 Sótanos; 04 Sótanos - 06 Sótanos; más de 07 Sótanos	Semisótano - 01Sótano; 02 Sótanos - 03 Sótanos; 04 Sótanos - 06 Sótanos; más de 07 Sótanos	Semisótano - 01Sótano; 02 Sótanos - 03 Sótanos; 04 Sótanos - 06 Sótanos; más de 07 Sótanos	Semisótano - 01Sótano; 02 Sótanos - 03 Sótanos; 04 Sótanos - 06 Sótanos; más de 07 Sótanos	Semisótano - 01Sótano; 02 Sótanos - 03 Sótanos; 04 Sótanos - 06 Sótanos; más de 07 Sótanos	Semisótano - 01Sótano; 02 Sótanos - 03 Sótanos; 04 Sótanos - 06 Sótanos; más de 07 Sótanos
8.- Respecto a proyectos de edificación multifamiliar ¿En qué tipos de magnitud de obra ha participado? TORRE (Puede marcar más de 1)	Entre 1-5 pisos; Entre 6 - 10 pisos; Entre 11 - 20 pisos; Mayor a 21 Pisos	Entre 1-5 pisos; Entre 6 - 10 pisos; Entre 11 - 20 pisos; Mayor a 21 Pisos	Entre 1-5 pisos; Entre 6 - 10 pisos; Entre 11 - 20 pisos; Mayor a 21 Pisos	Entre 1-5 pisos; Entre 6 - 10 pisos; Entre 11 - 20 pisos; Mayor a 21 Pisos	Entre 1-5 pisos; Entre 6 - 10 pisos; Entre 11 - 20 pisos; Mayor a 21 Pisos	Entre 1-5 pisos; Entre 6 - 10 pisos; Entre 11 - 20 pisos; Mayor a 21 Pisos	Entre 1-5 pisos; Entre 6 - 10 pisos; Entre 11 - 20 pisos; Mayor a 21 Pisos	Entre 1-5 pisos; Entre 6 - 10 pisos; Entre 11 - 20 pisos; Mayor a 21 Pisos
9.- Mencione proyectos de edificación multifamiliar en el cual haya participado y la magnitud de esta.	Edificio Vistamar (Miraflores) 6S+20P Edificio Vivero (Jesús María) 6S+20P	Edif. LIT ONE (Miraflores) 8S+17P Edificio Tempo – (La Victoria) - 5S+38P	Edificio Ichma (San Isidro) 10S+20P Edificio Modern (Barranco) 5S+21P	1. Edificación (Lince) 3S+18P, 2. Edificación (San Miguel) 3S+20P,	C.I.T. ULIMA. (Surco) 3S+6P EDIF. NOVARA (Miraflores) 3S+20P	Multifamiliar Los Laureles II (Jesús María) 3S+18P Multifamiliar Los Laureles I (Jesús María) 3S+18P	Studio 4 (Barranco) 4S+21P	1. Casa para Monterrico 2S+12P 2. Edificio Switch-Surquillo 5S+22P
10.- ¿Considera que el proceso estándar de trabajo para suministrar acero dimensionado es afectado por factores que producen variabilidad?	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

### 3.2.3 Resultados de la entrevista

En la primera ronda, los 8 expertos considerados cumplieron con la categorización solicitada. Todos tienen más de 10 años de experiencia en proyectos trabajando con acero dimensionado y 5 años de experiencia en edificaciones multifamiliares. Asimismo, todos presentan experiencia en proyectos de por lo menos hasta 06 sótanos y hasta 20 pisos. Todos respondieron que sí consideran que existe variabilidad en el proceso de suministro de acero dimensionado. (Ver Tabla 3-02). Con estos, se determinaron los criterios a utilizar en base a respuestas abiertas mediante una entrevista realizada, se ordenaron y agruparon de acuerdo a la similitud, siendo las principales fuentes a evaluar las siguientes:

Tabla 3-03: Resultados 1ra ronda - Entrevista. Fuentes de Variabilidad detectadas. Fuente:  
Elaboración propia

CÓDIGO	CRITERIOS
CL1	[(CL) Cambio de diseño]
CL2	[(CL) Demora en respuesta/revisión]
CL3	[(CL) Información faltante/desactualizada]
CL4	[(CL) Cambio de prioridades o atraso del cliente (Deficiente Planificación, Actividades NO planificadas)]
CL5	[(CL) Bajo entendimiento del flujo de trabajo]
CL6	[(CL) Liberación comercial tardía (Línea insuficiente, facturas vencidas, etc.)]
CL7	[(CL) Espacio en Obra]
PL1	[(PL) Problemas en Planta (Proyección, Inform. faltante, Postergaciones)]
PL2	[(PL) Lejanía de Planta Producción]
ID1	[(ID) Errores de Fabricación / Armado]
ID2	[(ID) Errores de detallamiento (Reprocesos, Experiencia, Criterios)]
G1	[(G) Cambio de equipo de proyecto]
G2	[(G) Deficiente canal de comunicación y gestión de información]
G3	[(G) Incumplimiento de compromisos]

A partir de los resultados de la primera ronda de la entrevista, se realizó la segunda parte como encuesta en la cual se evaluaron las diversas fuentes en base a la escala de Likert (del 1 al 5). (Ver Tabla 3-04 y Tabla 3-05)

Tabla 3-04: Resultados 2da ronda de la encuesta. Fuentes de Variabilidad – Frecuencia. Fuente:  
Elaboración propia

CÓDIGO	EXP 1	EXP 2	EXP 3	EXP 4	EXP 5	EXP 6	EXP 7	EXP 8	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	RANKING BASADO EN PROMEDIO
<b>CL1</b>	4	5	3	4	3	4	5	4	4.0	0.76	2
<b>CL2</b>	4	5	3	3	3	5	3	4	3.8	0.89	3
<b>CL3</b>	3	5	3	3	3	2	2	3	3.0	0.93	4
<b>CL4</b>	3	3	3	3	3	2	3	3	2.9	0.35	7
<b>CL5</b>	2	3	2	2	3	3	2	3	2.5	0.53	11
<b>CL6</b>	4	5	5	5	5	5	4	5	4.8	0.46	1
<b>CL7</b>	3	3	3	3	3	2	2	3	2.8	0.46	9
<b>PL1</b>	2	3	3	3	3	3	2	4	2.9	0.64	7
<b>PL2</b>	3	2	2	4	2	3	2	3	2.6	0.74	10
<b>ID1</b>	3	2	3	2	2	2	2	4	2.5	0.76	11
<b>ID2</b>	3	2	3	3	3	3	2	5	3.0	0.93	4
<b>G1</b>	3	2	2	2	2	4	2	3	2.5	0.76	11
<b>G2</b>	3	3	3	2	2	2	2	2	2.4	0.52	14
<b>G3</b>	4	3	3	2	2	3	3	4	3.0	0.76	4
										DESV.=<1	

Tabla 3-05: Resultados 2da ronda de la encuesta. Fuentes de Variabilidad – Impacto. Fuente:  
Elaboración propia

CÓDIGO	EXP 1	EXP 2	EXP 3	EXP 4	EXP 5	EXP 6	EXP 7	EXP 8	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	RANKING BASADO EN PROMEDIO
<b>CL1</b>	4	4	3	5	4	3	3	3	3.6	0.74	6
<b>CL2</b>	4	3	3	4	4	4	3	4	3.6	0.52	6
<b>CL3</b>	4	4	3	4	4	5	3	3	3.8	0.71	4
<b>CL4</b>	4	3	3	4	4	3	4	3	3.5	0.53	9
<b>CL5</b>	3	3	2	3	3	4	3	3	3.0	0.53	10
<b>CL6</b>	4	5	3	4	5	5	3	5	4.3	0.89	1
<b>CL7</b>	3	2	2	4	4	2	3	3	2.9	0.83	11
<b>PL1</b>	4	3	3	4	4	4	4	4	3.8	0.46	4
<b>PL2</b>	3	2	2	3	3	2	2	3	2.5	0.53	14
<b>ID1</b>	5	3	3	5	4	5	3	5	4.1	0.99	2
<b>ID2</b>	5	3	4	4	4	5	3	5	4.1	0.83	2
<b>G1</b>	4	3	3	3	2	3	2	3	2.9	0.64	11
<b>G2</b>	3	2	3	4	3	3	2	2	2.8	0.71	13
<b>G3</b>	4	2	4	5	3	4	3	4	3.6	0.92	6
										DESV.=<1	

De acuerdo a los resultados, se verificó el valor Alfa de Cronbach, que indica la confiabilidad de nuestros datos. Para este caso, el valor alfa fue: 0.68 y 0.87 respectivamente, lo cual según la literatura significa: Aceptable y Bueno (Schrepp, 2020). Además, la desviación estándar de cada resultado es menor a 1, con lo cual se observa que se llega a un consenso entre los encuestados.

La matriz probabilidad e impacto de los riesgos se puede clasificar de la siguiente manera según escala de intensidad de colores (Bucktik, 2019):

Tabla 3-06: Matriz de probabilidad e impacto de los riesgos. Fuente: Adaptado de Bucktik (2019)

P / I	1	2	3	4	5
5	5	10	15	20	25
4	4	8	12	16	20
3	3	6	9	12	15
2	2	4	6	8	10
1	1	2	3	4	5

A partir de las Tabla 3-04 y 3-05 con probabilidad e impacto se determinó la tabla de Riesgos, la cual al ordenarla y clasificarla según la tabla 3-06 resulta de la siguiente manera:

Tabla 3-07: Resultados Matriz de Riesgo - Probabilidad e Impacto. Fuente: Elaboración propia

ID	FRECUENCIA	PROBABILIDAD	RIESGO	RANKING SEGÚN RIESGOS
CL1	4.0	3.6	14.5	2
CL2	3.8	3.6	13.6	3
CL3	3.0	3.8	11.3	5
CL4	2.9	3.5	10.1	9
CL5	2.5	3.0	7.5	11
CL6	4.8	4.3	20.2	1
CL7	2.8	2.9	7.9	10
PL1	2.9	3.8	10.8	7
PL2	2.6	2.5	6.6	13
ID1	2.5	4.1	10.3	8
ID2	3.0	4.1	12.4	4
G1	2.5	2.9	7.2	12
G2	2.4	2.8	6.5	14
G3	3.0	3.6	10.9	6

De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla 3-07, se obtuvo la siguiente lista de fuentes de variabilidad según el orden:

Tabla 3-08: Ranking de Riesgos de las fuentes de Variabilidad en el suministro de acero dimensionado. Fuente: Elaboración propia.

ID	ID	RIESGO	RANKING SEGÚN RIESGOS
<b>CL6</b>	[(CL6) Liberación comercial tardía (Línea insuficiente, facturas vencidas, etc.)]	<b>20.2</b>	1
<b>CL1</b>	[(CL1) Cambio de diseño]	<b>14.5</b>	2
<b>CL2</b>	[(CL2) Demora en respuesta/revisión]	<b>13.6</b>	3
<b>ID2</b>	[(ID2) Errores de detallamiento (Reprocesos, Experiencia, Criterios)]	<b>12.4</b>	4
<b>CL3</b>	[(CL3) Información faltante/desactualizada]	<b>11.3</b>	5
<b>G3</b>	[(G3) Incumplimiento de compromisos]	<b>10.9</b>	6
<b>PL1</b>	[(PL1) Problemas en Planta (Proyección, Inform. faltante, Postergaciones)]	<b>10.8</b>	7
<b>ID1</b>	[(ID1) Errores de Fabricación / Armado]	<b>10.3</b>	8
<b>CL4</b>	[(CL4) Cambio de prioridades o atraso del cliente (Deficiente Planificación, Actividades NO planificadas)]	<b>10.1</b>	9
<b>CL7</b>	[(CL7) Espacio en Obra]	<b>7.9</b>	10
<b>CL5</b>	[(CL5) Bajo entendimiento del flujo de trabajo]	<b>7.5</b>	11
<b>G1</b>	[(G1) Cambio de equipo de proyecto]	<b>7.2</b>	12
<b>PL2</b>	[(PL2) Lejanía de Planta Producción]	<b>6.6</b>	13
<b>G2</b>	[(G2) Deficiente canal de comunicación y gestión de información]	<b>6.5</b>	14

De donde se observa que cuatro de ellas son las que poseen Riesgo Alto y las demás se consideran con Riesgo Moderado. Todas serán abordadas con la implementación VDC con la finalidad de reducir su riesgo ya que ninguna de ellas tiene un riesgo considerado bajo, de acuerdo a lo determinado por los expertos y según la tabla de riesgos considerada (Tabla 3-06).

### 3.3 PRINCIPALES FUENTES DE VARIABILIDAD

Luego del análisis realizado, se determinaron las siguientes fuentes de variabilidad en el proceso de suministro de acero dimensionado a un proyecto de edificación multifamiliar, los cuales fueron definidos también por los expertos:

#### 3.3.1 *Cambio de diseño del cliente (CL1)*

Referido a los cambios generados en el proyecto principalmente cercanos a la etapa de ejecución que afectan en forma global o puntual al costo, alcance y/o plazo del proyecto debido a modificaciones en el detallamiento del acero de refuerzo. Asimismo, el cambio de proceso constructivo también puede implicar una variación en el diseño original. (Por ejemplo, el uso de elementos prearmados o prefabricados como prelosas o previgas).

#### 3.3.2 *Demora en respuesta/revisión del cliente (CL2)*

La Demora en respuesta está referido al tiempo que demora el cliente en responder un RFI o en derivar al proyecto y/o supervisión del proyecto para revisar o aprobar, el cual es variable dependiendo del tipo de RFI, del proyecto, del supervisor, y el tipo y etapa de la obra. La revisión del cliente está asociada a la revisión de despiece a través de un plano de detalle, el cual es revisado posterior a la elaboración del modelado y puede generar retrabajo o demora debido a que los criterios son revisados después del detallamiento.

#### 3.3.3 *Información faltante/desactualizada del cliente (CL3)*

Demora en modificación por el proyecto, demora en envío de información del proyecto (cronograma, sectorización, restricciones, etc.) importante para liberar el detallamiento final de las estructuras o la información para priorizar según el alcance.

#### 3.3.4 *Cambio de prioridades, o atraso del cliente (CL4)*

Debido a la indefinición del cliente generado por las condiciones de la obra, generalmente en la etapa de muro pantalla o cimentaciones. (Por ejemplo, problemas detectados al momento de la excavación que influyen

directamente agregando actividades no planificadas al proyecto, cambio de proceso de ejecución, demora de instalación de torre grúa, etc.)

### 3.3.5 *Bajo entendimiento del flujo de trabajo (CL5)*

Asociado al desconocimiento del flujo del servicio de acero dimensionado por parte del cliente y exigencia de atención en un tiempo menor al establecido, sin comprometerse con lo requerido de tal manera que se eliminen las restricciones que afectan al flujo de trabajo para cumplir lo planificado.

### 3.3.6 *Liberación comercial tardía (CL6)*

Demora en liberación comercial de los despachos generados debido a problemas generados por la gestión comercial (facturas vencidas, límite de crédito, tope máximo, registro de producto, etc.), requerido para iniciar con el proceso de producción (planificación, programación y fabricación) en Planta.

### 3.3.7 *Espacio del cliente en obra (CL7)*

Para obras de edificaciones, el espacio libre de obra es reducido y debe compartirse con otras partidas como encofrado o albañilería, teniendo una capacidad y dimensiones máximas para el almacenaje de material en obra. Asimismo, al suministrar el material este debe ser rápidamente identificable para ordenarlo y posteriormente llevarlo a su punto de instalación.

### 3.3.8 *Problemas en Planta (PL1)*

Asociada a la variabilidad generada por la variación en la demanda de todas las obras (proyección) debido a las reprogramaciones constantes. También, por falta de información necesaria para el proceso de carga y/u ordenamiento del material a suministrar (Capacidad y logística).

### 3.3.9 *Lejanía de Planta Producción (PL2)*

Referido a la lejanía de la Fábrica de Acero dimensionado (ubicada en Pisco-Ica, Perú) respecto a las obras de edificaciones ubicadas principalmente en Lima. Las unidades de transporte se enfrentan a diversos factores coyunturales o mecánicos como huelgas, cierre de vías, paros de transporte, tráfico pesado o imperfecciones mecánicas como pinchadura de llanta o choques que pueden afectar la entrega de material a tiempo.

### *3.3.10 Errores de fabricación/armado (ID1)*

Asociado a errores de fabricación de piezas o al armado de los elementos que se envían prearmados generados por información incompleta, planos faltantes, complejidad del elemento o deficiente lectura del personal de armado. Estos errores generalmente se producen y/o detectan en planta, con influencia del área de ingeniería de detalle. Asimismo, se refiere a piezas faltantes que no se ubican en obra.

### *3.3.11 Errores de detallamiento (Reprocesos, Experiencia, Criterios)] (ID2)*

Asociado a la interpretación de planos, a asumir consideraciones de otros proyectos sin validación explícita, a actualización de planos no aplicadas, lo cual conlleva a errores al momento de instalar el material. Estos errores generalmente se producen en la etapa de ingeniería de detalle.

### *3.3.12 Cambio de equipo de proyecto. (G1)*

Para el cliente asociado al personal nuevo que ingresa, desconoce el flujo de trabajo con acero dimensionado y requiere un tiempo de adaptación a los formatos y gestión de información. Para el equipo de modelado asociado a los criterios de construcción virtual que pueden perderse debido al cambio de personal asignado a la labor de modelado, generado por errores en el proceso gestión de información y acuerdos del proyecto.

### *3.3.13 Deficiente canal de comunicación y gestión de información (G2)*

Asociado a la falta de estandarización en el canal de comunicación (envío de información por correo electrónico, WhatsApp, coordinación por llamada telefónica, reuniones presenciales, etc.). También, referido a la rápida disponibilidad de información requerida para la toma de decisiones. Asimismo, la falta de disponibilidad de la información actualizada en tiempo real referente a los despachos en etapa de ingeniería o fabricación sobre su estatus, dificulta y demora la toma de decisiones adecuadas.

### *3.3.14 In cumplimiento de compromisos (G3)*

Asociado a la falta de concientización e involucramiento por parte de los miembros del proyecto para cumplir los acuerdos pactados en una sesión de

coordinación con la finalidad de liberar las restricciones detectadas y dar flujo continuo al proceso de suministro de acero dimensionado. La falta de promesas confiables genera incertidumbre en los plazos de cada proceso.

De esta manera, se identificaron las principales fuentes de variabilidad y el riesgo correspondiente, las cuales serán gestionadas en el marco VDC con los componentes ICE, BIM, PPM para reducir su riesgo en el suministro de acero dimensionado en un proyecto de edificación multifamiliar. Asimismo, posterior a la implementación y resultados se realizará nuevamente la encuesta con el flujo optimizado con la finalidad de verificar la reducción de la variabilidad.

## CAPÍTULO IV: IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN VIRTUAL EN UN PROYECTO DE EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR

En este capítulo, se propone el marco de la implementación mediante la aplicación de la metodología de gestión de proyectos Diseño y Construcción Virtual (VDC), incorporando cada uno de sus componentes: ICE, BIM, PPM. Utilizados para la mejora en la coordinación, gestión de información, y procesos, con el fin de reducir la variabilidad en el suministro de acero dimensionado en un proyecto de edificación multifamiliar.

### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Para la aplicación del marco VDC, se realiza la implementación en la etapa 2 y 3 del Proyecto Condominio Esencial, el cual consta de un total de 7 edificios de vivienda de 18 niveles, 1 semisótano y azotea, un estacionamiento de 5 niveles subterráneos, con un área techada de 55932.92 m<sup>2</sup> que cumple con todos los parámetros urbanísticos de acuerdo a la normativa vigente, ubicado en el distrito de Santiago de Surco, Provincia de Lima, Departamento de Lima.

Tiempo de Ejecución Total: 40 meses

Etapas de Ejecución:

- Etapa 1 : Torre A1 y A2
- **Etapa 2 : ½ Sótano\***
- **Etapa 3 : Torre B1 y B2**
- Etapa 4 : ½ Sótano\*\*
- Etapa 5 : Torre C1 y C2
- Etapa 6 : Torre D

La aplicación de la tesis se dio en la Etapa 2 y 3 del casco estructural, participando como proveedor e instalador de acero dimensionado en un periodo de 7 meses para la ejecución desde la cimentación, sin contar la etapa de muro pantalla de un total de 10 meses.

Casco Estructural \ Mes	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ETAPA 1	Torre A1 y A2																													
ETAPA 2	Sotano SE1																													
ETAPA 3	Torre B1 y B2																													
ETAPA 4	Sotano SE2																													
ETAPA 5	Torre C1 y C2																													
ETAPA 6	Torre D																													

Figura 4-01: Master Plan de Ejecución Casco Estructural Condominio Esencial Fuente: La Venturosa

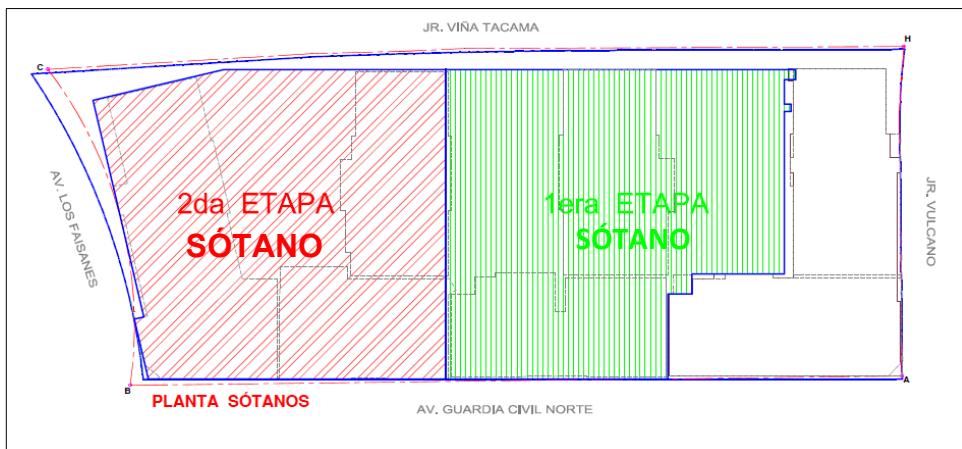


Figura 4-02: Etapa de Sótanos ( ½ Sótano\* SE1 y ½ Sótano\*\* SE2) Fuente: La Venturosa

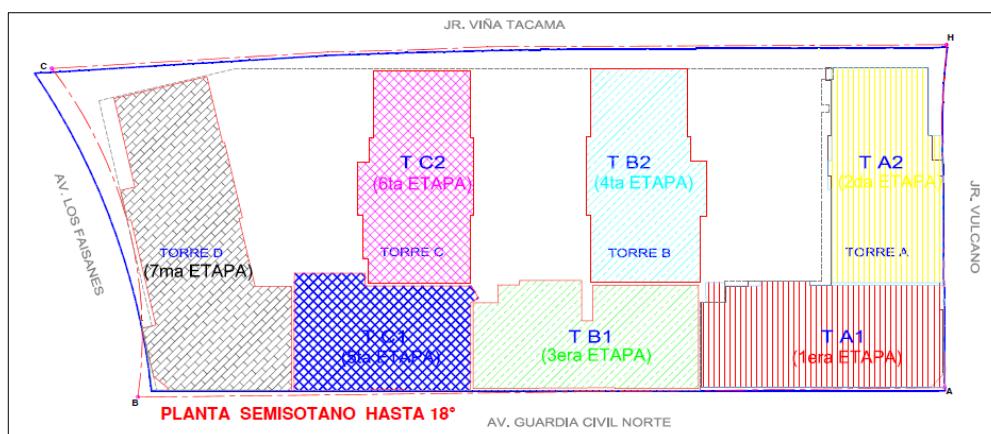


Figura 4-03: Etapa de Torres ( A1, A2, B1, B2, C1, C2, D) Fuente: La Venturosa



Figura 4-04: Imagen Renderizada del Proyecto Condominio Esencial Fuente: Recuperado de [www.laventurosa.com/esencial](http://www.laventurosa.com/esencial)

## 4.2 MARCO VDC PROPUESTO

La Figura 4-05 muestra el marco VDC propuesto para la obra, planteado y confirmado con el equipo de obra, con el objetivo del cliente enmarcado en la entrega de los departamentos de la torre B para ser habitable en Marzo 2023, objetivo del proyecto entregar la etapa del casco estructural en Marzo 2022, y cumplir el 95% del detallamiento y suministro desde modelo a tiempo. Para lograrlo se plantearon los componentes ICE (sesiones virtuales, cumplimiento de compromisos y visitas presenciales), BIM (Uso de modelo y de la información asociada) y PPM (Mejora y optimización constante del flujo de trabajo). Además de las respectivas Métricas de Producción para medir, evaluar, tomar acción y mejorar continuamente.

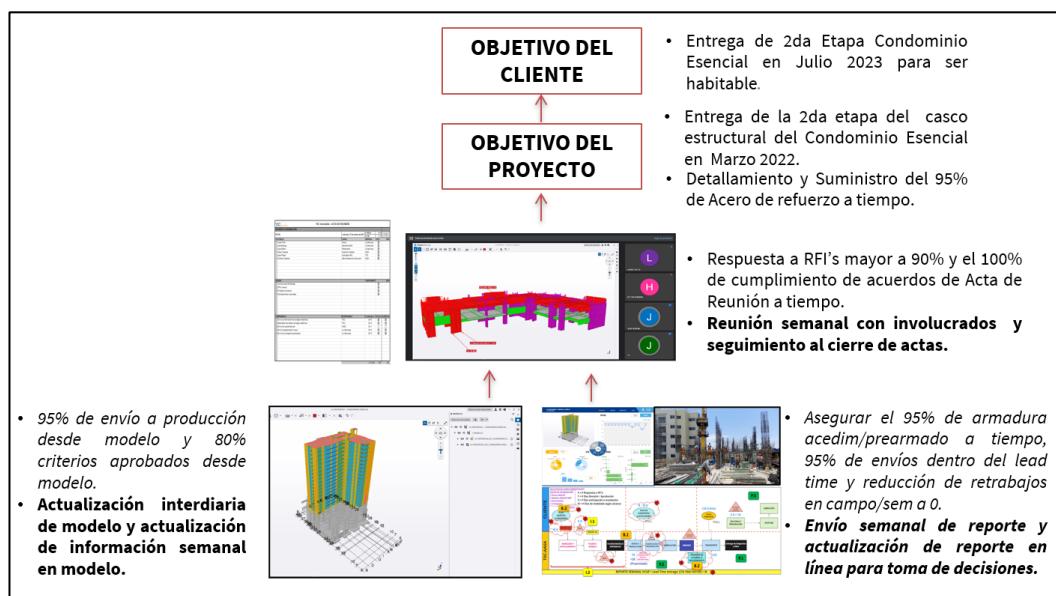


Figura 4-05: Marco VDC aplicado al proyecto Condominio Esencial Fuente: Elaboración propia

### 4.2.1 Objetivo del Cliente

El proyecto es una obra de edificación multifamiliar que satisface la necesidad de vivienda de los compradores que ya pagaron por sus departamentos en la etapa de pre-venta antes de la ejecución del mismo. Por ello, el objetivo del cliente inmobiliario-constructor es tener la entrega de los departamentos de la Torre B para ser habitables a partir de Marzo del 2023.

#### 4.2.2 *Objetivo del Proyecto*

El objetivo del proyecto como parte de los hitos y alcance del equipo como proveedor y subcontrata de instalación de acero es asegurar el cumplimiento del programa de ejecución del cliente constructor, dando flujo continuo a las entregas y lograr la entrega del casco estructural en Marzo del 2022. Además, como objetivo del proveedor-subcontrata el objetivo es cumplir con el 95% de entregas a tiempo y con fabricación desde modelo BIM. Asimismo, otro objetivo interno es lograr la confianza del cliente constructor con la finalidad de continuar como aliado en la siguiente etapa de ejecución.

##### 4.2.2.1 *Equipo del Proyecto*

Los cargos de los involucrados (miembros del equipo) del proyecto que intervienen en las distintas etapas del proceso se listan a continuación:

Tabla 4-01: Cargos de integrantes del Proyecto Condominio Esencial. Fuente: Elaboración propia

CARGO
Ing. de Producción (Constructor)
Ing. de Planificación (Constructor)
Ing. de Calidad (Constructor)
Ing. de Oficina Técnica (Constructor)
Ing. Supervisor de Instalación de acero (Proveedor)
Capataz de Instalación de acero (Subcontrata)
Responsable de Proyecto acero dimensionado (Proveedor)
Jefe de Ventas de Construcción (Proveedor)
Ing. Planificación acero dimensionado (Proveedor)
Ing. Jefe de Planta Prearmado (Proveedor)

#### 4.2.3 *Componente ICE*

El componente ICE del proyecto se caracterizó por sesiones principalmente virtuales (debido a la coyuntura del SARS-COV-2) y por visitas presenciales, con la agenda previamente establecida, con la información lista para presentar y con las personas claves en las reuniones para la toma de decisiones respectivas.

Asimismo, se llevó el registro de los acuerdos en actas de reunión a las que se les realizó seguimiento.

#### 4.2.3.1 Motivos de uso de componente ICE

Los principales motivos para la realización y aplicación del componente ICE fueron para definición del alcance, compatibilización, revisión y planificación de avance de obra.

#### 4.2.3.1.1 Definición del alcance

En las sesiones, con modelo elaborado por el cliente o con los actualizados por TSC innovation, se acordaba los alcances a ejecutar y el tipo de producto de cada uno de los elementos dependiendo de las condiciones de obra (Capacidad de carga, alcance y disponibilidad de la grúa, interferencia con condiciones de obra, indeterminación de elementos estructurales, alta probabilidad de cambios, etc.) o por factores externos a la obra. (Problemas de capacidad de producción y necesidad de habilitar en obra, máximas dimensiones de transportabilidad de elementos, etc.). Ello con la finalidad de anticiparse a problemas de producción y optimizar el avance de obra.

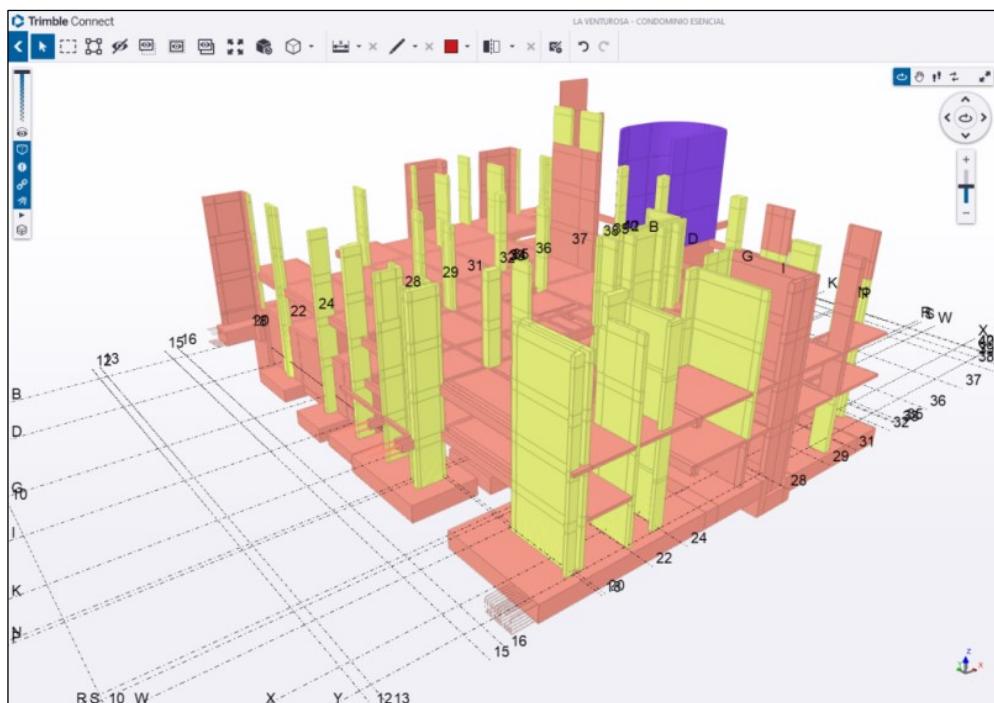


Figura 4-06: Definición visual de elementos a ejecutar por producto (acero dimensionado, acero prearmado, habilitado en obra). Imagen creada en Trimble Connect. Fuente: Elaboración propia

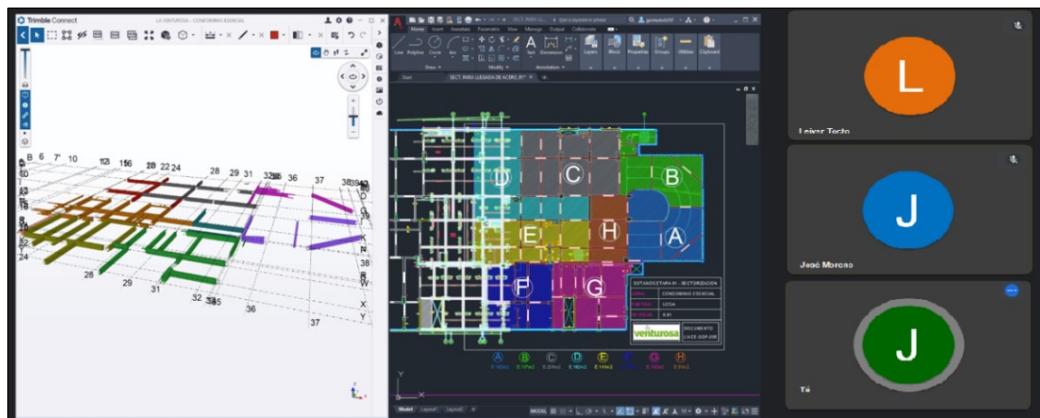


Figura 4-07: Definición visual alcance a ejecutar por sector. Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3.1.2 Compatibilización

En la plataforma colaborativa Trimble Connect se cargan los modelos preparados por el cliente de las diferentes especialidades (arquitectura, instalaciones sanitarias, mecánicas, gas y eléctricas), de tal manera que con el modelo de estructuras y la última revisión realizada por TSC innovation se realice la compatibilización y se planteen las soluciones respectivas de ser el caso.

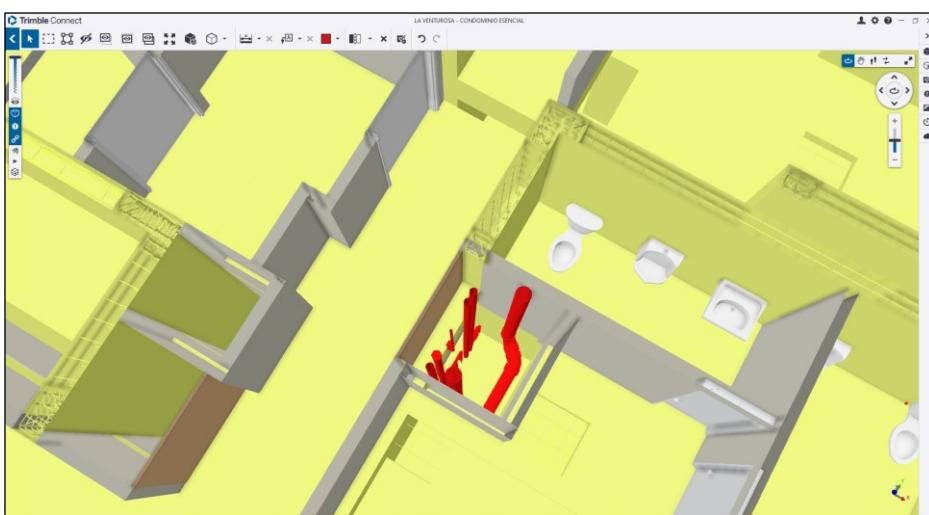


Figura 4-08: Compatibilización entre Arquitectura, Estructuras, Instalaciones sanitarias en la plataforma colaborativa Trimble Connect. Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3.1.3 Revisión

En la plataforma colaborativa Trimble Connect, se validan los criterios considerados y con imágenes creadas antes de las sesiones, se observaban consideraciones como: corte de sectorización, ubicación de empalmes, uso de

conectores mecánicos, longitud de empalmes, dimensiones, revisión de diámetro, radio de doblado y calidad de la barra, así como la revisión del alcance y producto a suministrar (acero dimensionado, prearmado o habilitado en obra).

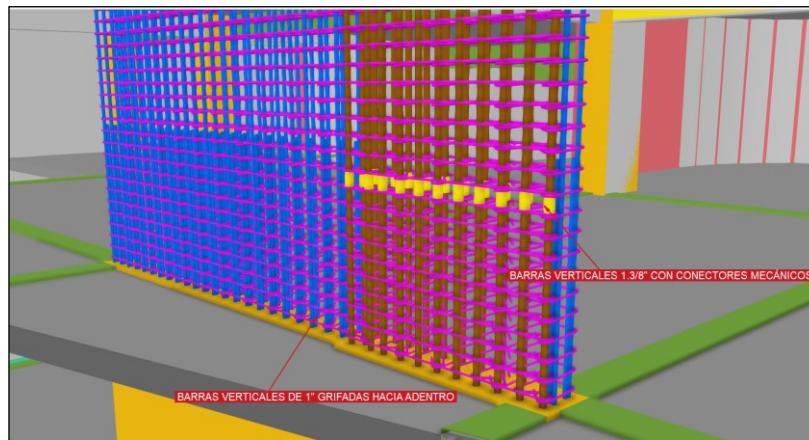


Figura 4-09: Vista de consideraciones constructivas planteadas en sesión ICE para producción.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3.1.4 Planificación

Con el modelo y cantidad de elementos por sector, se realizó la confirmación de fechas de suministro e instalación acordando visualmente el proceso constructivo y las fechas límite de entrega del material a instalar, así como el planteamiento de restricciones que puedan afectar el flujo de trabajo.

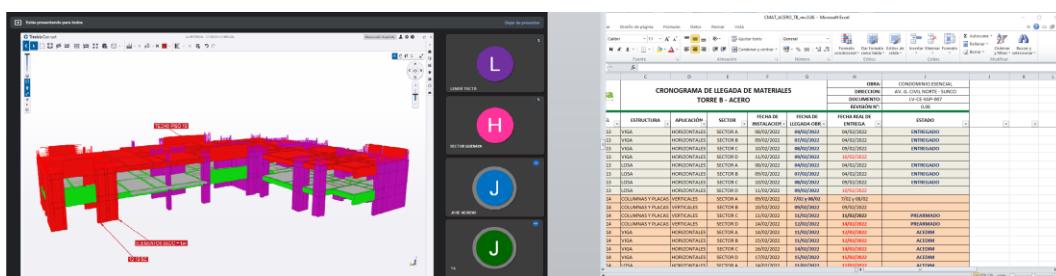


Figura 4-10: Revisión de cronograma de suministro e instalación de acero de refuerzo en coordinación con los involucrados clave vía Google Meets. Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3.2 Actas de Reunión

Formato en línea con la información registrada de las sesiones ICE o coordinación llevadas a cabo durante el proyecto. En la Fig. 4-11, se puede observar la información registrada que es útil para el seguimiento y control de compromisos.

TSC innovation - ACTA DE REUNIÓN					
REUNIÓN COORDINACIÓN					
FECHA	miércoles, 27 de octubre de 2021	H. INICIO	16:05	0:40	
		H. FIN	16:45		
ASISTENCIA	CARGO	EMPRESA	ASIST.	100%	
1 Leiver Tocto	Campo	La Venturosa	<input checked="" type="checkbox"/>		
2 Jose Mayorga	Área técnica BIM	La Venturosa	<input checked="" type="checkbox"/>		
3 Jose Moreno	Planeamiento	La Venturosa	<input checked="" type="checkbox"/>		
4 Hector Quenaya	Supervisor Instalado	AASA	<input checked="" type="checkbox"/>		
5 Jose Pintado	Coordinador BIM	TSCi	<input checked="" type="checkbox"/>		
6 Cristhian Cardenas	Jefe de Ventas de Construcción	AASA	<input checked="" type="checkbox"/>		
AGENDA					
CUMPLIMIENTO 100%					
1 Compromisos Pendientes			<input checked="" type="checkbox"/>		
2 RFI's nuevos			<input checked="" type="checkbox"/>		
3 Problema Comercial			<input checked="" type="checkbox"/>		
4 Consideraciones nueva etapa			<input checked="" type="checkbox"/>		
COMPROMISOS					
RESPONSABLE F.COMPROMISO OnTime OutOfTime					
1 Envío de información de anclajes mecánicos	TSCi	28-10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2 Generación de reclamo anclajes mecánicos	TSCi	28-10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3 Envío de nuevas facturas	AASA	02-11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4 Envío de sectorización nueva	La Venturosa	30-10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5 Envío de cronograma actualizado	La Venturosa	28-10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2/11/2021 100% 100%					

Figura 4-11: Acta de Reunión Condominio Esencial. Fuente: TSC innovation

#### 4.2.3.2.1 Fecha y hora de Reunión

Se lleva el registro de la fecha de la reunión para hacer seguimiento a los acuerdos así como la hora de inicio y fin de la misma para optimizar el tiempo de los involucrados.

#### 4.2.3.2.2 Participantes

Se listan los participantes clave requeridos para la sesión y su asistencia, previa coordinación de disponibilidad.

#### 4.2.3.2.3 *Agenda*

Se listan los puntos previamente acordados telefónicamente, para llevar un orden de la reunión con los tiempos estimados, dependiendo de los involucrados. En caso sea necesario, se genera una reunión adicional con puntos que así lo requieran.

#### 4.2.3.2.4 *Compromisos*

Se listan los acuerdos necesarios, pactados en la reunión para dar flujo continuo al proceso de suministro de acero dimensionado, ya sea el envío de información faltante, la confirmación de criterios, etc. Se indica el responsable de cumplir con el acuerdo y la fecha límite en la que se compromete. Asimismo, se verifica si se cumple a tiempo o no. De esta manera, se cierra el acta cuando todos los compromisos ya fueron cumplidos y si alguno no se cumplió, se revisa en la siguiente sesión para la toma de decisión respectiva.

#### 4.2.3.3 *Métricas de Producción ICE*

Las métricas seleccionadas están orientadas a la liberación de RFI's, al cumplimiento de compromisos de las sesiones y a la asistencia de los involucrados clave.

##### 4.2.3.3.1 *Porcentaje de Asistentes Clave a las sesiones*

Esta métrica permite tener a los involucrados clave comprometidos con el proyecto y facilitar la toma de decisiones en base a las condiciones del proyecto. Para el proyecto, es crucial tener al 100% de involucrados clave presentes dependiendo de la agenda programada de la sesión.

Tabla 4-02: Métrica de Producción, Asistencia de involucrados clave. Fuente: Elaboración propia.

Métrica de producción (descripción)	Propósito (¿Por qué?)	Métrica	Valor Meta
Asistencia de involucrados clave	Asegurar la toma de decisiones en las sesiones con los involucrados clave.	# Asistentes involucrados clave / # de involucrados clave invitados	100%

#### 4.2.3.3.2 Porcentaje de Cumplimiento de Actas a Tiempo

Esta métrica permite dar flujo continuo al proceso de suministro de acero dimensionado, ya que los involucrados se comprometen a liberar las restricciones y establecer en conjunto las fechas límite de cumplimiento. Para el proyecto y objetivo, es crucial tener el 100% de actas cerradas a tiempo.

Tabla 4-03: Métrica de Producción, Cumplimiento de compromisos del acta Fuente: Elaboración propia.

Métrica de producción (descripción)	Propósito (¿Por qué?)	Métrica	Valor Meta
<i>Cumplimiento de compromisos del acta</i>	Asegurar el cumplimiento de los acuerdos generados en las reuniones para dar continuidad al servicio	% Cumplimiento de acta a tiempo	100%

#### 4.2.3.3.3 Porcentaje de RFI's liberados a tiempo

Esta métrica mide el principal motivo de retraso en el flujo del servicio de acero dimensionado, que es la respuesta a RFI's. Para el proyecto, asegurar el 75% de RFI's resueltos permite liberar la mayor parte del alcance a ejecutar, asociado al control del acta.

Tabla 4-04: Métrica de Producción, Solución de RFI's. Fuente: Elaboración propia.

Métrica de producción (descripción)	Propósito (¿Por qué?)	Métrica metric	Valor Meta target
<i>Solución de RFI's</i>	Reducir el impacto en el plazo	% de respuesta a RFI a tiempo por sesión	75%

#### 4.2.3.4 Factores Controlables ICE

Los factores controlables seleccionados están orientados al seguimiento de los compromisos y a la programación de las sesiones ICE semanales, para asegurar el levantamiento de restricciones al flujo de trabajo.

#### 4.2.3.4.1 *Control de actas de reunión*

Este factor permite realizar el seguimiento a los compromisos acordados en las sesiones ICE, emitiendo recordatorios para asegurar que las actas se cierren a tiempo. Para el proyecto, de forma semanal se emiten los recordatorios 1 o 2 días antes del vencimiento del acta.

Tabla 4-05: Factor Controlable, Control de actas de producción. Fuente: Elaboración propia.

Factor controlable (descripción)	Métrica	Valor Meta
<i>Control de Actas de reunión</i>	# Seguimiento / Semana	1vez / Semana

#### 4.2.3.4.2 *Programación de sesiones ICE semanales con involucrados clave*

Este factor asegura la realización de las sesiones ICE con los involucrados clave, con la agenda preestablecida. Para el proyecto, de por lo menos una sesión por semana, llegando como máximo hasta tres, de acuerdo al estatus y criticidad del proyecto con una duración entre 20-60 minutos.

Tabla 4-06: Factor Controlable, Programación de sesiones ICE semanales con involucrados directos. Fuente: Elaboración propia.

Factor controlable (descripción)	Métrica	Valor Meta
<i>Programar Sesiones ICE semanales con involucrados directos</i>	# Sesión / Semana	1vez / Semana

#### 4.2.4 *Componente BIM*

El componente BIM del proyecto se caracterizó por el modelado 3D empleando el software Tekla Structures y exportado en formato IFC en la plataforma colaborativa Trimble Connect, empleando un LOD400 de concreto armado, usado para fabricación con la información actualizada del proyecto. Además, de servir como soporte a las sesiones ICE, para facilitar la visualización de incompatibilidades y revisión de criterios constructivos.

#### 4.2.4.1 Motivos de uso del componente BIM

Los principales motivos para la utilización de BIM fueron para producción, compatibilización, visualización, gestión de la información.

##### 4.2.4.1.1 BIM para producción

El software Tekla Structures permite configurar los atributos de los materiales de acuerdo a sus posteriores características de fabricación, para este caso, respecto al acero de refuerzo (diámetro real, radio de doblado, peso por metro lineal, forma de acuerdo a catálogo, dimensiones), así como los atributos de acuerdo al proyecto (etapa, nivel, sector, estructura, etc.), con lo cual se exporta a una planilla de fabricación que es compatible con los softwares utilizados para la fabricación en planta y automatización del proceso.

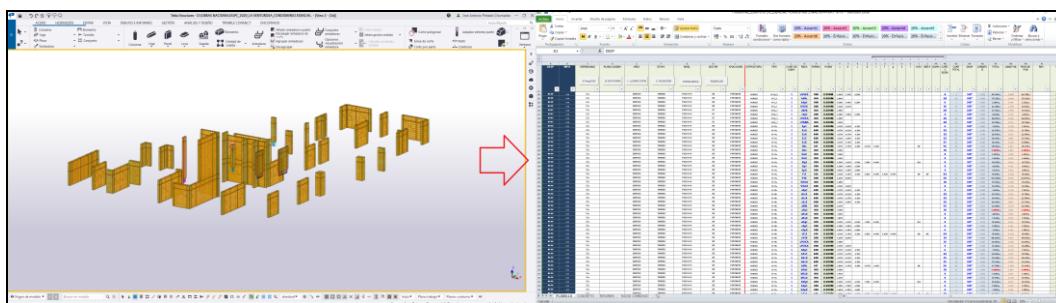


Figura 4-12: Planilla de Fabricación generada a partir del modelo para el piso 18 y azotea. Fuente: Elaboración propia

##### 4.2.4.1.2 BIM para Visualización

El modelo al ser exportado en formato IFC, permite su visualización en cualquier software BIM o plataforma colaborativa, siendo utilizado en este caso el Trimble Connect. Este modelo posee los atributos y criterios coordinados con el cliente y se emplea para su revisión (verificar los elementos que contienen acero, la ubicación y longitud de empalmes o cambios de sector, aplicación de las EETT, los diámetros que son exportados con colores diferentes, radios de doblado, cantidades, atributos, etc.), ya que es así como se fabricará e instalará. Con la ayuda de diversos filtros es posible ubicar cualquier elemento del proyecto.

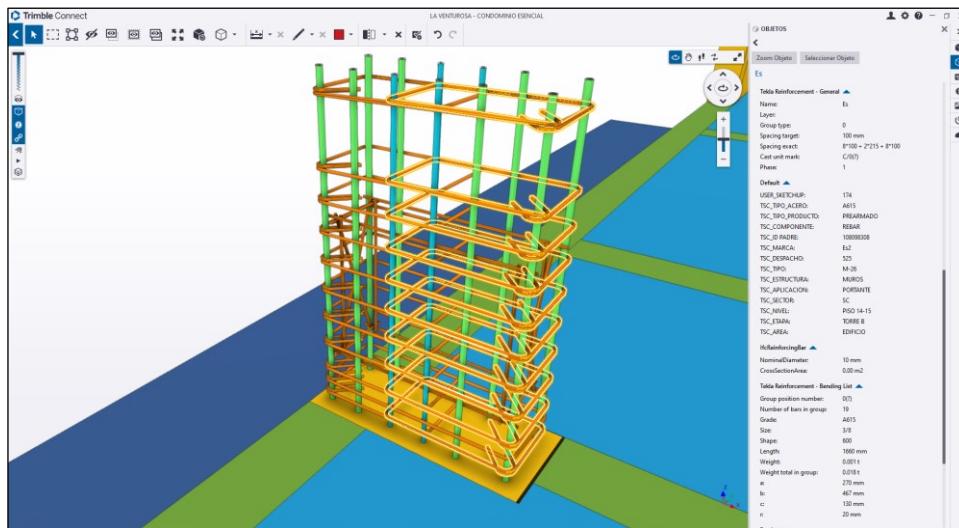


Figura 4-13: Modelo con atributos asociados al elemento y al proyecto. Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.4.1.3 BIM para Compatibilización

Con el modelo de estructuras actualizado por parte de TSC Innovation y el modelo de especialidades del cliente constructor: La Venturosa (arquitectura, instalaciones eléctricas, mecánicas, sanitarias, agua contra incendio, gas) es posible realizar la compatibilización y anticiparse a posibles interferencias en obra y dar solución o realizar la modificación antes de ejecutar con apoyo de la plataforma Trimble Connect, la cual permite la interoperabilidad de modelos. Este proceso permite la anticipación a posibles interferencias y retrabajos en obra (Construcción Virtual).

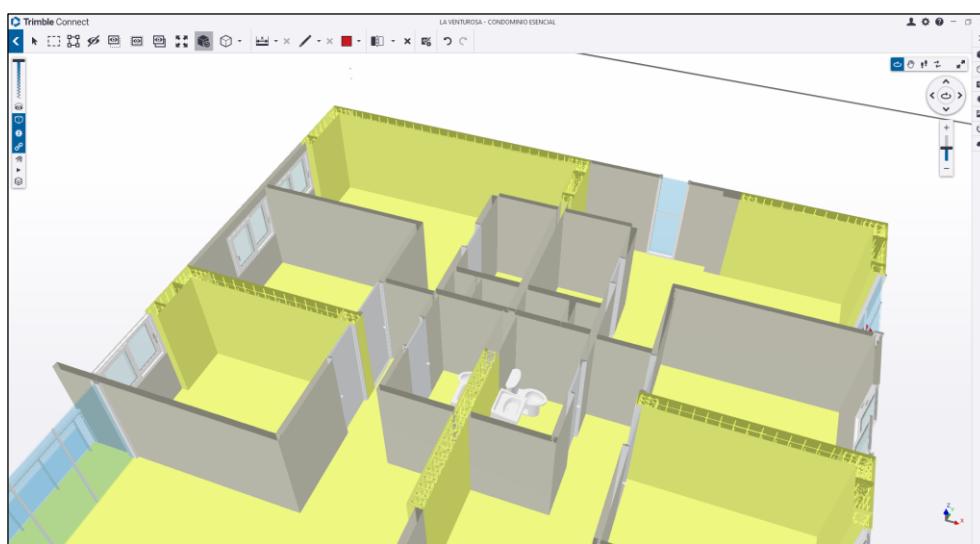


Figura 4-14: BIM utilizado para compatibilizar especialidades (Arquitectura, Estructuras) Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.4.1.4 BIM para Gestión de Información

El modelo es sincronizado con el reporte en línea del proyecto, asociando sus atributos similares (etapa, nivel, sector, estructura, etc.), permitiendo la trazabilidad de la información y visualizar las propiedades dentro del modelo (volviendo posible obtener el estado del despacho, el producto, y su estatus real). Lo cual permite visualizar cualquier información en el modelo 3D de una forma más sencilla que revisando reportes.

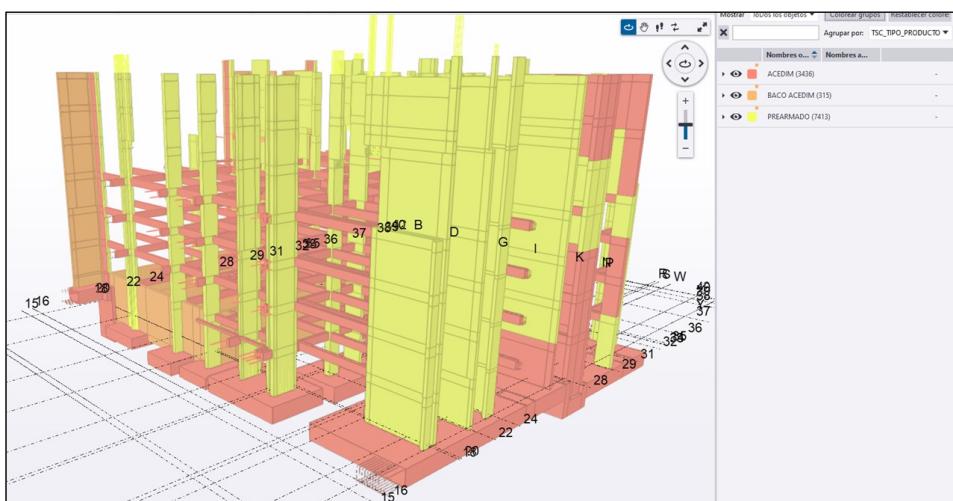


Figura 4-15: Modelo etapa de sótanos visualizado por tipo de producto (acero dimensionado, acero prearmado, habilitado en obra). Fuente: Elaboración propia

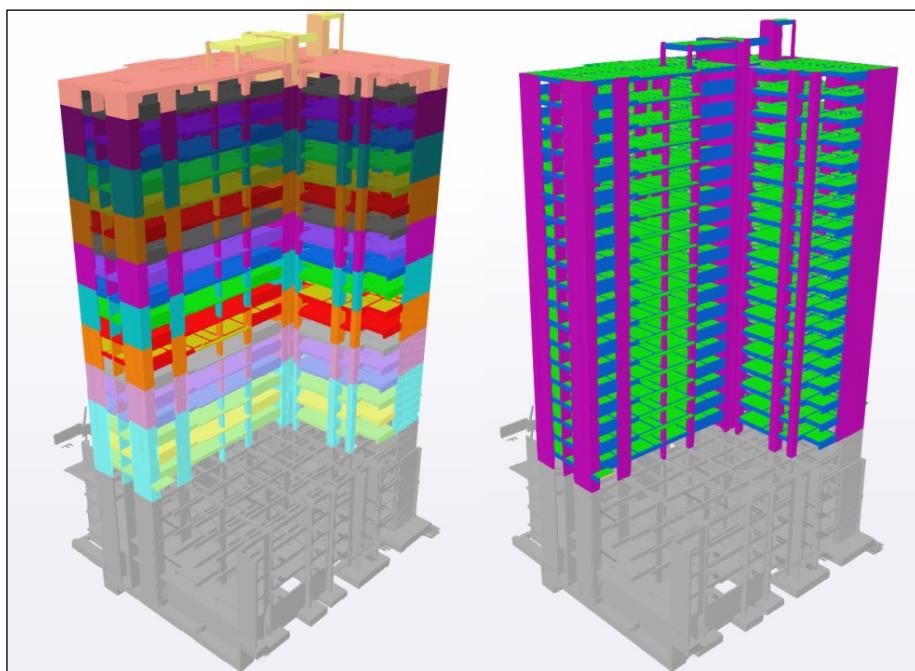


Figura 4-16: Modelo etapa de torre B visualizado por niveles (izq.) y por tipos de estructuras (der.).  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.4.2 Métricas de Producción BIM

Las métricas seleccionadas están orientadas al uso de BIM para la aprobación de elementos a suministrar, así como a su fabricación y revisión.

##### 4.2.4.2.1 Porcentaje de envío a producción desde modelo

El modelado realizado va directo a fabricación. Lograr que el 100% de elementos modelados se fabriquen, asegura que la coordinación del alcance se haya realizado de forma efectiva. Además, la elección del producto a suministrar favorece la reducción de trabajo en proceso para el área de modelado. Para el caso del proyecto se consideró el 95% como meta, ya que algunos elementos menores como acero de temperatura, escaleras, columnetas se coordinaron en ser habilitados en obra al ser más productivo que buscar entre la cantidad de piezas de fierro de diámetro delgado.

Tabla 4-07: Métrica de Producción, Producción desde modelo. Fuente: Elaboración propia.

Métrica de producción (descripción)	Propósito (¿Por qué?)	Métrica	Valor Meta
Producción desde modelo	Asegurar el alcance de elementos a ejecutar	% Peso Fabricado BIM/ Peso total Suministrado	95%

##### 4.2.4.2.2 Porcentaje de criterios aprobados desde modelo

Esta métrica permite asegurar la revisión principal del elemento antes de enviar a producción, evitando la necesidad de enviar planos para la aprobación y asegurar el adecuado proceso constructivo de la obra, eliminando los posibles cambios y retrabajos. Los principales criterios a aprobar fueron: la ubicación de corte de sectorización y alcance de la misma, alternancia o empalmes al 100% en misma zona así como su longitud, elección del producto a suministrar (preambado o acero dimensionado) y sus limitantes (elementos a uno o dos niveles, cuerpos de armado, etc.), valor de recubrimientos, ganchos y radio de doblado a utilizar, formas a utilizar, solución a incompatibilidades, aceptación de propuesta de mejora constructiva como uso de conector mecánico o modificación de forma, etc. Un valor de 90% o superior, asegura que los criterios considerados son aprobados sin necesidad de revisión adicional en planos,

reduciendo los posibles cambios antes de la etapa de producción y optimizando el tiempo del flujo.

Tabla 4-08: Métrica de Producción, Criterios constructivos aprobados desde modelo. Fuente: Elaboración propia.

Métrica de producción (descripción)	Propósito (¿Por qué?)	Métrica	Valor Meta
<i>Criterios constructivos aprobados desde modelo</i>	Asegurar la secuencia y consideraciones constructivas reales	# consideraciones aprobadas / # consideraciones emitidas desde modelo	90%

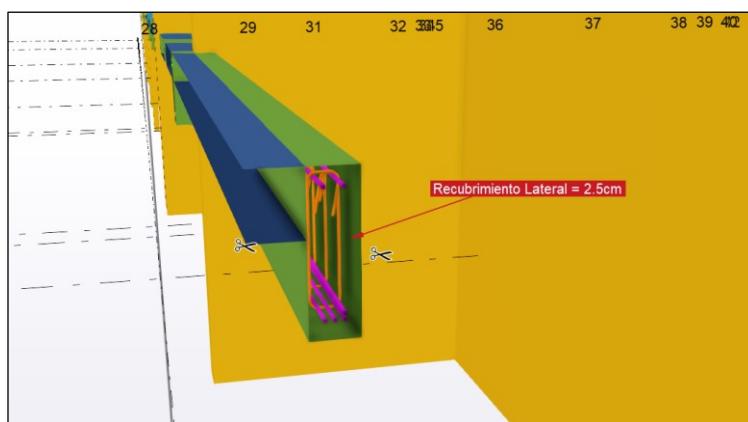


Figura 4-17: Criterio constructivo (Valor de recubrimiento) aprobado desde modelo en la plataforma colaborativa Trimble Connect. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.4.3 Factores Controlables BIM

Los factores controlables están orientados al aseguramiento de la actualización del modelo y a facilitar su revisión, además del seguimiento de la información de los despachos a suministrar.

##### 4.2.4.3.1 Actualización de información de proyecto en el modelo BIM

La actualización de información en el modelo es utilizada para que el cliente revise la información del proyecto. Una vez ya enviado a producción (7-9 días antes de la entrega), se retorna la información al modelo y se actualiza en el Trimble Connect (Fecha entrega, Despacho, Status), para que todo miembro del

equipo pueda realizar la revisión y seguimiento respectivos. Para el proyecto, la información se actualizará semanalmente como mínimo 1 vez.

Tabla 4-09: Factor Controlable, Actualización de información de proyecto en el modelo. Fuente: Elaboración propia.

Factor controlable (descripción)	Métrica	Valor Meta
<i>Actualización de información de proyecto en el modelo</i>	# veces / semana	1 vez / semana

#### 4.2.4.3.2      *Actualización de modelo en Trimble Connect*

El modelo IFC en LOD400 se actualiza en la plataforma Trimble Connect de acuerdo al avance de modelado y aplicación de modificaciones realizado, de tal manera que todos los miembros del proyecto puedan revisar el avance y realizar un control de calidad. Para el proyecto, se actualizará interdiario (3 veces/semana) coincidiendo también con las sesiones ICE.

Tabla 4-10: Factor Controlable, Actualización de modelo en Trimble Connect. Fuente: Elaboración propia.

Factor controlable (descripción)	Métrica	Valor Meta
<i>Actualización de modelo en Trimble Connect</i>	# veces / semana	3 (interdiario)

#### 4.2.5      *Componente PPM*

El componente PPM del proyecto se caracterizó por el aseguramiento del flujo continuo de actividades, con información transparente actualizada constantemente para facilitar la toma de decisiones y optimizar el proceso con la mejora continua, eliminando todo aquello que no genera valor (exceso de inventarios, retrabajos, etc.) y asegurar el alcance a ejecutar para cumplir con los objetivos del proyecto.

#### 4.2.5.1 Motivos de uso de PPM

Los principales motivos para la utilización de PPM fueron para optimización del proceso, asegurar flujo continuo, eliminación de desperdicios (no Lean).

##### 4.2.5.1.1 PPM para optimización del proceso

Desde la sesión Kick Off, los miembros del equipo del proyecto establecieron el flujo con el que se trabajará para asegurar las metas, siendo este flexible, en ser modificable en el transcurso del proyecto, pero riguroso en la estandarización que se realiza una vez se aprueba por todos, de tal manera que se respeten los tiempos asignados, se advierten las consecuencias del incumplimiento o la posible afectación a las demás etapas y así se logre el compromiso de asegurar el flujo continuo.

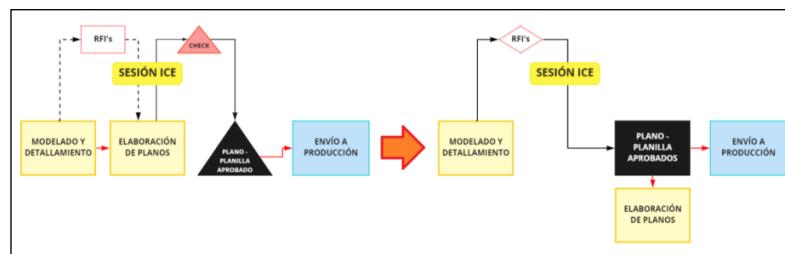


Figura 4-18: Modificación en el flujo para aprobación de elementos a fabricar para optimizar el proceso. Fuente: Elaboración propia

##### 4.2.5.1.2 PPM para asegurar flujo continuo

Siendo parte del flujo y participando en el desarrollo de este, cada uno de los integrantes identifica y es consciente de las restricciones que se crean en el proceso y que tienen un plazo límite antes de tomar alguna decisión de tal manera que no se detenga el flujo continuo y cumplir los objetivos del proyecto.



Figura 4-19: Máquina dobladora empleada en caso de contingencia Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.5.1.3 PPM para eliminación de desperdicios

Como integrador de la filosofía Lean, PPM permite mostrar los puntos en los que se generan desperdicios que traen como consecuencias demoras e inversión innecesaria de recursos. De esta manera, con el conocimiento de todas las restricciones entre las actividades, es posible reducir los inventarios, esperas, movimientos, transportes, retrabajos, etc. para generar valor al cliente.



Figura 4-20: Personal de instalación de acero laborando en actividades planificadas. Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.5.2 Métricas de Producción PPM

Las métricas seleccionadas están orientadas al uso de PPM para asegurar el flujo continuo, así como cumplir con el alcance, y eliminar los retrabajos.

##### 4.2.5.2.1 Cumplimiento de entrega a tiempo

Esta métrica permite medir el cumplimiento de la entrega de material a tiempo, es decir, medir la cantidad de despachos que se entregan a tiempo respecto a los que se planifican semanalmente. Asegurar la entrega, permite resaltar que se cumplieron con todas las actividades necesarias.

Tabla 4-11: Métrica de Producción, Cumplimiento de entrega a tiempo. Fuente: Elaboración propia.

Métrica de producción (descripción)	Propósito (¿Por qué?)	Métrica	Valor Meta
Cumplimiento de entrega a tiempo	Cumplir la entrega de material a tiempo	PPC entrega real/entrega planificada	95%

#### 4.2.5.2.2 Cumplimiento de envío dentro del lead time

Esta métrica permite identificar si los envíos a producción se producen dentro del tiempo establecido del proceso, respetando los 7 días en caso de acero dimensionado o 9 días en caso de prearmados. Lo cual permite respetar los tiempos de cada etapa del flujo de fabricación necesario y poder asegurar la entrega a tiempo.

Tabla 4-12: Métrica de Producción, Cumplimiento de envío dentro del lead time a producción.

Fuente: Elaboración propia.

Métrica de producción (descripción)	Propósito (¿Por qué?)	Métrica	Valor Meta
<i>Cumplimiento de envío dentro del lead time a producción</i>	Asegurar el envío a producción según lead time	Despachos cargados dentro del lead time / Despachos enviados a producción	90%

#### 4.2.5.2.3 Horas Hombre de retrabajos en obra

Esta métrica permite medir las HH que la subcontrata de acero invierte en actividades no planeadas (ordenar fierro antes de la descarga, modificaciones de diseño, habilitar piezas faltantes, reparar elementos, etc.). Lo cual influye en una reducción de la percepción de calidad del servicio de suministro de acero dimensionado.

Tabla 4-13: Métrica de Producción, Horas Hombre de retrabajos en campo y modelado. Fuente:

Elaboración propia.

Métrica de producción (descripción)	Propósito (¿Por qué?)	Métrica	Valor Meta
<i>HH Retrabajos en campo y modelado</i>	Optimizar los recursos y mejorar la percepción de la calidad ante el cliente.	HH Retrabajo Semanal	0

#### 4.2.5.3 Factores Controlables PPM

Los factores controlables están orientados a la transparencia de información del flujo para facilitar la toma de decisiones y lograr la mejora continua.

##### 4.2.5.3.1 Envío de reportes semanales de cumplimiento

Los reportes permiten visualizar los indicadores del proyecto. Lo cual favorece la toma de decisiones, identifica y refuerza puntos de mejora. Además, compromete al equipo de trabajo ya que los puestos gerenciales tienen acceso al avance del proyecto.

Tabla 4-14: Factor Controlable, Envío de Reporte semanal de cumplimiento. Fuente: Elaboración propia.

Factor controlable (descripción)	Métrica	Valor Meta
<i>Envío de reportes semanales de cumplimiento</i>	# Reportes / sem.	1 (fin de semana)

##### 4.2.5.3.2 Actualización de información en línea

La actualización de información en línea permite saber el estatus real de los despachos del flujo, lo cual brinda un horizonte de los despachos que se encuentran liberados, bloqueados o en etapa de ingeniería. Además, facilita las actividades de recepción de despachos y valorización, ya que esta información concuerda con el modelo, con lo instalado, y con las facturas emitidas.

Tabla 4-15: Factor Controlable, Actualización de información en línea. Fuente: Elaboración propia.

Factor controlable (descripción)	Métrica	Valor Meta
<i>Actualización de información en línea</i>	#Actualiz.	diaria

De esta manera, se estableció la propuesta para la aplicación de la metodología de trabajo VDC para reducir la variabilidad y optimizar el flujo de trabajo en el suministro de un proyecto de edificación multifamiliar.

A continuación se muestra un resumen de lo propuesto:

Tabla 4-16: Resumen métricas de producción ICE, BIM y PPM. Fuente: Elaboración propia.

CÓD.	MÉTRICA (DESCRIPCIÓN)	MÉTRICAS DE PRODUCCIÓN	Valor Meta	Valor Histórico	FACTORES CONTROLABLES
ICE1	Asistencia de involucrados claves	# Asistentes involucrados clave / # de involucrados claves invitados	100%	---	CONTROL DE ACTAS DE REUNIÓN 1vez/sem  PROGRAMACIÓN SESIÓN ICE 1 vez/sem
ICE2	Cumplimiento de compromisos del acta	% Cumplimiento de acta a tiempo	100%	---	
ICE3	Solución de RFI's	% de respuesta a RFI a tiempo por sesión	75%	50%	
BIM1	Producción desde modelo	% Peso Fabricado BIM / Peso total Suministrado	95%	80%	ACT. DE INF. DE PROYECTO EN MODELO BIM 1vez/sem
BIM2	Criterios constructivos aprobados desde modelo	# consideraciones aprobadas / # consideraciones emitidas desde modelo	90%	---	ACT. DE MODELO EN TRIMBLE CONNECT 3vec/sem
PPM1	Cumplimiento de entrega a tiempo	PPC Entrega real / Entrega Planificada	95%	85%	# REPORTES SEMANAL = 1vez/sem  ACT. DE INFORMACIÓN EN LÍNEA = Diario
PPM2	Cumplimiento de envío dentro del lead time a producción	Despachos cargados dentro del lead time / Despachos enviados a producción	90%	60%	
PPM3	HH Retrabajos en campo y modelado	HH Retrabajo Semanal	0	4	

Los valores históricos fueron determinados a partir de datos de proyectos de edificación multifamiliar en Lima de 8 proyectos de 11Pisos a más. Los que no cuentan con data es debido a que son métricas recién implementadas.

## CAPÍTULO V: PROCESO ÓPTIMO EN SUMINISTRO DE ACERO DIMENSIONADO EN UN PROYECTO DE EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR

En este capítulo, se mostrará el flujo final de trabajo optimizado, con las opciones de mejora planteadas por el equipo de proyecto. Para cada una de las actividades, se detalla el proceso tradicional previo a la implementación (información del Capítulo 3), posteriormente se detallará el cambio al proceso optimizado y se indicará en qué fuente de variabilidad se impactó con la modificación realizada.

### 5.1 PROCESO OPTIMIZADO DE ACERO DIMENSIONADO CON VDC

En las tablas 5-01, 5-02, 5-03, se resumen las fuentes de variabilidad identificadas en el Capítulo 3, asociándolas a las métricas VDC mencionadas en el Capítulo 4 y la estrategia a seguir para mejorar el flujo de trabajo, lo cual será detallado en cada uno de los puntos del Proceso Optimizado.

La Figura 5-01 muestra el flujo optimizado, que tiene como entrada el equipo de proyecto del cliente-constructor con mayor conocimiento del servicio ofrecido debido a la participación de un responsable de proyectos de acero dimensionado en la sesión de cierre, asimismo la información completa del proyecto para la realización de la ingeniería de detalle para el acero de refuerzo, pasando por la fase de modelado y detallamiento, compatibilización en modelo BIM, envío a producción, liberación comercial, planificación, programación, fabricación, carga, transporte, descarga, y la instalación del entregable requerido de acuerdo a la programación del Cliente Constructor. Asimismo, se muestra un flujo añadido en caso de contingencias ante eventos extraordinarios para la fabricación de algunos elementos.

Los cambios principales se basan en optimizar los tiempos de coordinación, revisión, optimización de buffers, reducción de inventarios, trazabilidad de la información, aseguramiento de la calidad, cumplimiento de entregas mediante un cambio de sistema Push a Pull, de algunas actividades y tanto el empleo de herramientas Lean (LastPlanner, gestión visual, Value Stream Mapping) como de gestión de compromisos mediante sesiones colaborativas con el empleo de la información del modelo, a través de la plataforma Trimble Connect..

Tabla 5-01: Matriz Riesgo-Métrica-Estrategia parte 1. Fuente Elaboración propia.

COD.	FUENTE DE VARIABILIDAD	RIESGO	PROCESO PRINCIPAL AFECTADO	MÉTRICA VDC INFLUENCIADA	ESTRATEGIA / MEDIDAS TOMADAS
CL6	[(CL6) Problemas comerciales (Línea insuficiente, facturas vencidas, etc.)]	20.2	-LIBERACIÓN COMERCIAL	BIM (PRODUCCIÓN DESDE MODELO) PPM (CUMPLIMIENTO DE ENTREGA A TIEMPO)	-ANTICIPARSE A LA RESTRICCIÓN CON PROYECCIÓN DE SUMINISTRO -DETERMINAR PLAZO PARA LA LIBERACIÓN DE RESTRICCIÓN 1DÍA
CL1	[(CL1) Cambio de diseño]	14.5	-REVISIÓN DE INFORMACIÓN DE PROYECTO -ASIGNACIÓN DE MODELADO / MODELADO Y DETALLAMIENTO -REVISIÓN DE PLANOS -ENVÍO A PRODUCCIÓN	BIM (APROBACIÓN DESDE MODELO) PPM (CUMPLIMIENTO DE ENTREGA A TIEMPO) ICE (CIERRE DE ACTAS) ICE (SOLUCIÓN DE RFI'S)	-KICK OFF PARA ESTABLECER RESTRICCIONES INICIALES -SESIÓN ICE DE ÚLTIMA COORDINACIÓN -TOMA DE DECISIONES EN BASE A PLAZOS -CAMBIO DE PUSH A PULL PARA EL MODELADO AL INICIO DE LA COORDINACIÓN
CL2	[(CL2) Demora en respuesta/revisión]	13.6	-ELABORACIÓN Y REVISIÓN DE PLANOS -SESIÓN ICE -ENVÍO DE RFI'S -ENVÍO A PRODUCCIÓN	BIM (APROBACIÓN DESDE MODELO) PPM (DESPACHOS CARGADOS DENTRO DEL LEAD TIME)	-REVISIÓN DE CRITERIOS DESDE MODELO BIM -SESIÓN ICE PARA TOMA DE DECISIONES -CAMBIO EN FLUJO DE APROBACIÓN -> CONFIANZA
ID2	[(ID2) Errores de detallamiento (Reprocesos, Experiencia, Criterios)]	12.4	-MODELADO Y DETALLAMIENTO	BIM (PRODUCCIÓN DESDE MODELO) PPM (HH RETRABAJOS EN OBRA) PPM (DESPACHOS CARGADOS DENTRO DEL LEAD TIME)	-ASIGNACIÓN DE MODELADO PREVIA COORDINACIÓN -ENVÍO DE PRIMEROS RFI'S POR R.O. -CAMBIO DE PUSH A PULL PARA EL MODELADO AL INICIO DE LA COORDINACIÓN
CL3	[(CL3) Información faltante/desactualizada]	11.3	-REVISIÓN DE INFORMACIÓN CLIENTE -ASIGNACIÓN DE MODELADO -ENVÍO A PRODUCCIÓN	ICE (CIERRE DE ACTAS) PPM (DESPACHOS CARGADOS DENTRO DEL LEAD TIME) ICE (SOLUCIÓN DE RFI'S)	-CONTROL DE CUMPLIMIENTO DE COMPROMISOS -EXPLICAR RESTRICCIONES AL FLUJO

Tabla 5-02: Matriz Riesgo-Métrica-Estrategia parte 2. Fuente Elaboración propia.

ID	FUENTE DE VARIABILIDAD	RIESGO	PROCESO PRINCIPAL AFECTADO	MÉTRICA VDC INFLUENCIADA	ESTRATEGIA / MEDIDAS TOMADAS
G3	[(G3) Incumplimiento de compromisos]	10.9	-SESIÓN ICE -ENVÍO A PRODUCCIÓN	ICE (CIERRE DE ACTAS) ICE (ASISTENCIA DE INVOLUCRADOS CLAVE) PPM (DESPACHOS CARGADOS DENTRO DEL LEAD TIME)	-CONCIENTIZACIÓN GENERAL DEL EQUIPO DE TRABAJO -EXPLICAR RESTRICCIONES AL FLUJO -ESTABLECER PLAZOS REALES CON PERSONAL CLAVE -RECORDATORIO CONSTANTE
PL1	[(PL) Problemas en Planta (Proyección, Inform. faltante, Postergaciones)]	10.8	-PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN -FABRICACIÓN Y/O ARMADO -ORDEN, CARGA Y TRANSPORTE	PPM (CUMPLIMIENTO DE ENTREGA A TIEMPO) HH RETRABAJO EN OBRA	-CAMBIO DE PUSH A PULL (LASTPLANNER) PARA ENVÍO A PRODUCCIÓN -SOPORTE CON INFORMACIÓN BIM DEL MODELO PARA CARGA DE UNIDADES -REPORTE EN LÍNEA CON ESTATUS REAL
ID1	[(ID1) Errores de Fabricación / Armado]	10.3	-FABRICACIÓN Y/O ARMADO -INSTALACIÓN Y/O MONTAJE	PPM (CUMPLIMIENTO DE ENTREGA A TIEMPO) HH RETRABAJO EN OBRA	-COORDINACIÓN INTERNA CON EQUIPO DE PREARMADO -SOPORTE CON INFORMACIÓN BIM DEL MODELO PARA FABRICACIÓN DE PIEZAS
CL4	[(CL4) Cambio de prioridades o atraso del cliente (Deficiente Planificación, Actividades NO planificadas)]	10.1	-ASIGNACIÓN DE MODELADO -ENVÍO A PRODUCCIÓN -PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN - FABRICACIÓN Y ARMADO	ICE (CIERRE DE ACTAS) ICE (ASISTENCIA DE INVOLUCRADOS CLAVE) PPM (DESPACHOS CARGADOS DENTRO DEL LEAD TIME)	-KICK OFF PARA ESTABLECER RESTRICCIONES INICIALES -SESIÓN ICE PARA TOMA DE DECISIONES
CL7	[(CL7) Espacio en Obra]	7.9	-DESCARGA Y PREPARACIÓN -INSTALACIÓN Y MONTAJE	-PPM RETRABAJO EN OBRA -ICE (CIERRE DE ACTAS)	-INFORMACIÓN BIM DEL MODELO PARA CARGA Y ORDEN DE UNIDADES -SESIÓN ICE DE PROGRAMACIÓN DE ENTREGAS

Tabla 5-03: Matriz Riesgo-Métrica-Estrategia parte 3. Fuente Elaboración propia.

ID	FUENTE DE VARIABILIDAD	RIESGO	PROCESO PRINCIPAL AFECTADO	MÉTRICA VDC INFLUENCIADA	ESTRATEGIA / MEDIDAS TOMADAS
CL5	[(CL5) Bajo entendimiento del flujo de trabajo]	7.5	-TODAS LAS ACTIVIDADES	ICE (CIERRE DE ACTAS) PPM (DESPACHOS CARGADOS DENTRO DEL LEAD TIME) BIM (PRODUCCIÓN DESDE MODELO)	-MODIFICACIÓN DE LA 1ERA REUNIÓN DE EXPLICACIÓN DEL FLUJO DE TRABAJO Y COORDINACIÓN DURANTE CIERRE COMERCIAL -EXPLICAR RESTRICCIONES AL FLUJO
G1	[(G1) Cambio de equipo de proyecto]	7.2	-MODELADO Y DETALLAMIENTO -MODELO Y PLANILLA APROBADOS -SESIÓN ICE	ICE (CIERRE DE ACTAS) ICE (ASISTENCIA DE INVOLUCRADOS CLAVE) PPM (% PRODUCCIÓN DENTRO DEL LEAD TIME)	-BUFFER DE INVENTARIO (BACKLOG DE MODELADO) -ESTANDARIZACIÓN DE CANALES DE COMUNICACIÓN E INFORMACIÓN -REPORTE EN LÍNEA
PL2	[(ID3) Lejanía de Planta Producción]	6.6	-ENTREGA DE DESPACHOS A OBRA -INSTALACIÓN Y/O MONTAJE	PPM (CUMPLIMIENTO DE ENTREGA A TIEMPO)	-ASIGNAR RANGOS HORARIOS DE ENTREGA -BUFFER DE TIEMPO PARA RECEPCIÓN DE MATERIAL DE 1 DÍA ANTE CUALQUIER EVENTUALIDAD
G2	[(G2) Deficiente canal de comunicación y gestión de información]	6.5	-SESIÓN ICE -MODELADO Y DETALLAMIENTO -ENVÍO DE RFI'S -ENVÍO A PRODUCCIÓN	ICE (CIERRE DE ACTAS)	-EXPLICAR RESTRICCIONES AL FLUJO -ESTANDARIZACIÓN DE CANALES DE COMUNICACIÓN E INFORMACIÓN -REPORTE EN LÍNEA

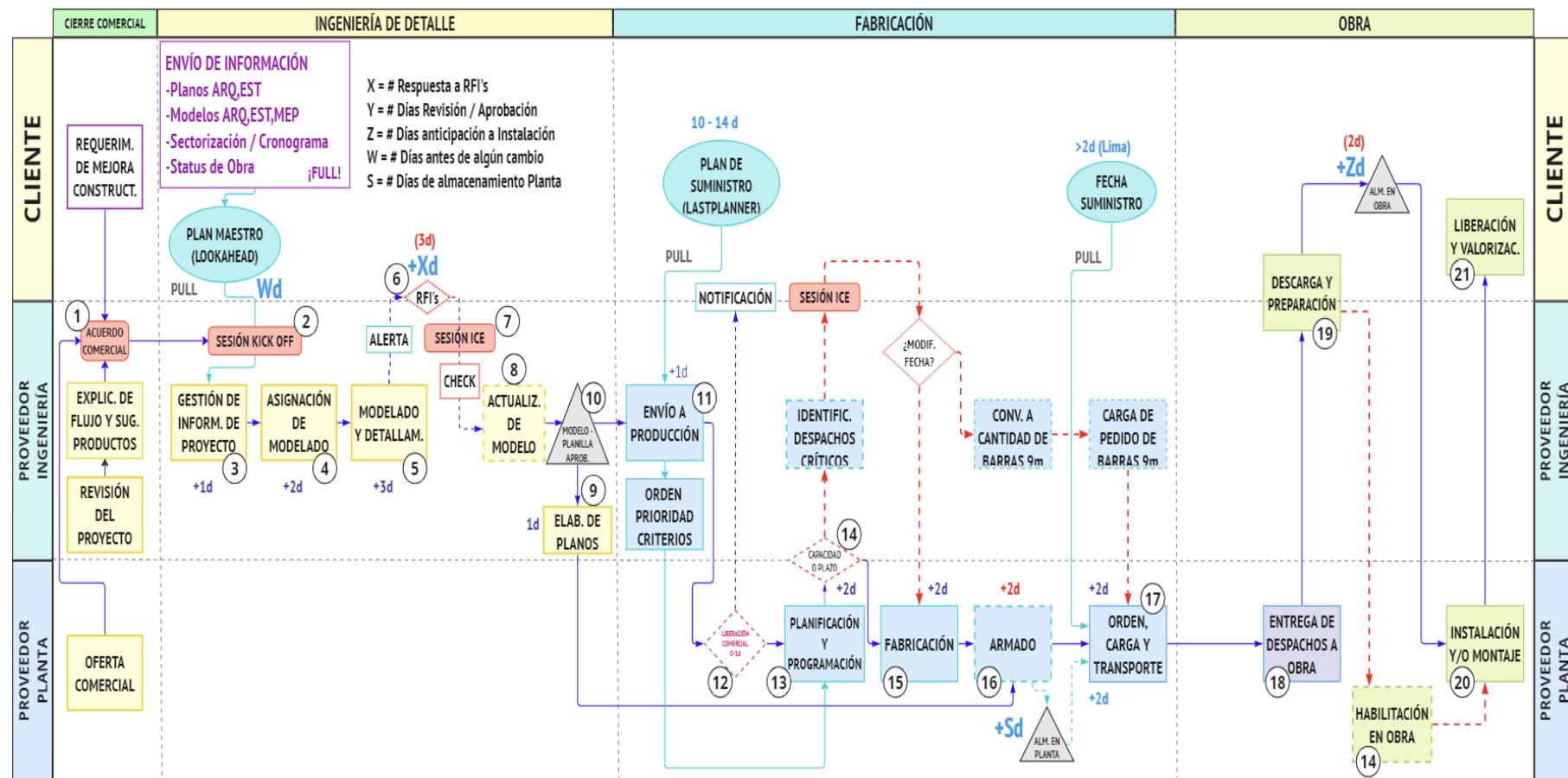


Figura 5-01: Proceso Optimizado de Suministro de Acero de Refuerzo dimensionado para una edificación multifamiliar en Lima Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.1 Cierre Comercial

En la sección de cierre comercial se analiza el proceso tradicional y optimizado de la siguiente manera:

- Proceso tradicional: Etapa en la que se coordina entre el área comercial del cliente y del proveedor el producto a contratar de acuerdo con el plan de ejecución de la obra, además de analizar la demanda requerida y el precio a considerar. Posterior a ello, el cliente evalúa y acepta la cotización de acuerdo con su análisis. Seguido, se cierra comercialmente el proyecto con la aprobación y envío de la Orden de Compra y se procede a asignar un responsable del proyecto por parte del proveedor, el cual será el encargado de todas las coordinaciones de ingeniería hasta cumplir con la entrega a tiempo del acero dimensionado.
- Proceso Optimizado: Como mejora al proceso tradicional, se propone invitar a la reunión de ofrecimiento comercial a un responsable de obra que participa de la sesión con la información del proyecto estudiada previamente, con la finalidad de proponer las alternativas constructivas y de productos o servicios que sean más beneficiosas al cliente de acuerdo con las condiciones de la obra. Se explica el proceso de atención regular para el acero dimensionado y prearmado, los requisitos y beneficios en la gestión y revisión de la información del acero, de tal manera que, el cliente antes de aceptar la propuesta comercial ya tiene conocimiento del flujo de trabajo y una mejor referencia del servicio a emplear y posibles restricciones. Se reduce la variabilidad generada por el bajo entendimiento del flujo de trabajo. (CL5)

### 5.1.2 Sesión Kick Off o de Inicio de Proyecto

En la sección de Sesión Kick Off se analiza el proceso tradicional y optimizado de la siguiente manera:

- Proceso tradicional: Sesión Virtual o presencial en la que se presentan todos los miembros que participarán en el proyecto (Gerente de proyecto, ing. Residente, ing. Producción, Ing. Planificación, Ing. Oficina Técnica, Ing. Calidad, Ing. Seguridad, responsable logístico del cliente, supervisor de instalación, responsable del proyecto, jefe de ventas y otro que desee participar), donde se definen las responsabilidades de cada uno, se explica el flujo de trabajo del servicio, se gestiona la información

requerida para el inicio del detallamiento, se programa una capacitación en la plataforma colaborativa Trimble Connect, en los formatos del proyecto y se definen las consideraciones generales (producto a utilizar, envío de cronograma, actualización de planos, capacidad de espacio en obra, horario de entrega, disponibilidad de grúa, etc.) que influyen en todo el proyecto.

- Proceso optimizado: Como mejora al proceso tradicional, se presenta un énfasis mayor a la explicación del flujo de trabajo, presentando la entrada y salida de información de cada parte del proceso, de tal manera que todos los involucrados comprendan la importancia de liberar las restricciones para así asegurar el flujo continuo de información y producto. Es clave la participación de todo el equipo para generar confianza y participación en las siguientes sesiones. Este cambio reduce la variabilidad generada por deficiente canal de comunicación y el bajo entendimiento del tiempo de flujo. (CL5/G2)

#### 5.1.3 *Revisión de información de Proyecto*

- Proceso tradicional. Tiene como entrada la información del proyecto; planos de arquitectura y estructuras, modelos de especialidades complementarios, sectorización y secuencia, cronograma brindados por el cliente constructor. El responsable del proyecto por parte del proveedor analiza la información y determina la falta de algún plano/consideración importante, también determina la lista de alcances a ejecutar según las fechas proyectadas. Además, junto con los coordinadores de modelado, se plantea la mejor opción a suministrar, ya sea acero habilitado en obra, acero dimensionado o prearmado.
- Proceso optimizado. Como mejora al proceso tradicional, se establece que para empezar con el proceso, es requerido contar con la información del proyecto completa y liberada, volviéndolo un sistema Pull y reduciendo los retrabajos o posibles errores. Asimismo, la información del proyecto es revisada previamente para el cierre comercial y el cliente tiene pleno conocimiento del producto y servicio, facilitando y reduciendo el tiempo de coordinación. Este cambio reduce la variabilidad generada por demora de entrega de información por el cliente y Cambio de prioridades o cambio de diseño del cliente.(CL4/CL3)

### 5.1.4 Asignación de modelado

- Proceso tradicional. Ya analizadas las estructuras a ejecutar, y de acuerdo a las fechas requeridas, teniendo en cuenta el tiempo para asegurar el proceso (lead time), el producto a suministrar y con la adecuada gestión de información del proyecto, se procede a realizar el desglose de las estructuras del proyecto a nivel de entregables (Por ejemplo: la cimentación, la cisterna, elementos verticales de uno o dos niveles, el techo de un nivel, etc.) según atributos definidos por el cliente (Etapa, Sector, Nivel, Estructura, etc.), para que el equipo de coordinadores de modelado lo asigne según disponibilidad de recursos.
- Proceso optimizado. Como mejora al proceso tradicional, se cambia la forma de empezar con la asignación de modelado de un sistema Push (en donde se modelaba a partir de la información inicial enviada por el cliente constructor) a un sistema Pull (en donde se coordina previamente el alcance e información final con la revisión de todos los elementos listos para ejecutar). De esta manera se reduce la variabilidad correspondiente a: Cambios de diseño, Cambio de prioridades o modificación de ingeniería del cliente y debido a Información faltante/desactualizada. Además, se reduce los Errores de detallamiento.(CL1/CL4/CL3/ID2)

Figura 5-02: Desglose de estructuras por fecha requerida y asignación de modelado a detallador  
Fuente: TSC innovation.

### 5.1.5 Modelado y detallamiento

- Proceso tradicional. Tiene como entrada la información enviada por el cliente y el alcance gestionado por el responsable del proyecto. Con la cual inicia la etapa de revisión generando así las primeras consultas o

RFI's (por falta de información o incompatibilidades) y se plantean opciones de mejora de constructabilidad (uso de prearmados, ubicación de empalmes, uso de conectores o anclajes mecánicos, etc.) dependiendo de las condiciones de obra (capacidad de grúa, alcance de grúa, interferencia con redes eléctricas, etc.). Esta etapa tiene como salida un modelo con las EETT configuradas, modelado parcial de concreto y acero con RFI's pendientes por modificar al modelo con el software Tekla Structures. El modelo parcial se exporta en formato IFC y se publica en la plataforma Trimble Connect. Luego de resueltos los RFI's en las sesiones ICE o tener respuestas en el archivo Log de Consultas, se realizan las modificaciones necesarias para liberar los entregables..

- Proceso Optimizado. Como mejora al proceso tradicional, el responsable del proyecto gestiona la liberación de los RFI's y de la información faltante, asimismo al estudiar previamente el proyecto emite los primeros RFI's sin requerir que el modelador las realice, ahorrando así tiempo de modelado. Se eliminan los desperdicios correspondientes a trabajo en progreso, retrabajos de modelado y solo se invierte tiempo en actividades productivas de modelado, asegurando el tiempo asignado para la actividad y la optimización de recursos. De esta manera se reduce la variabilidad generada por: Errores de detallamiento y Gestión de información. (ID2/G2)

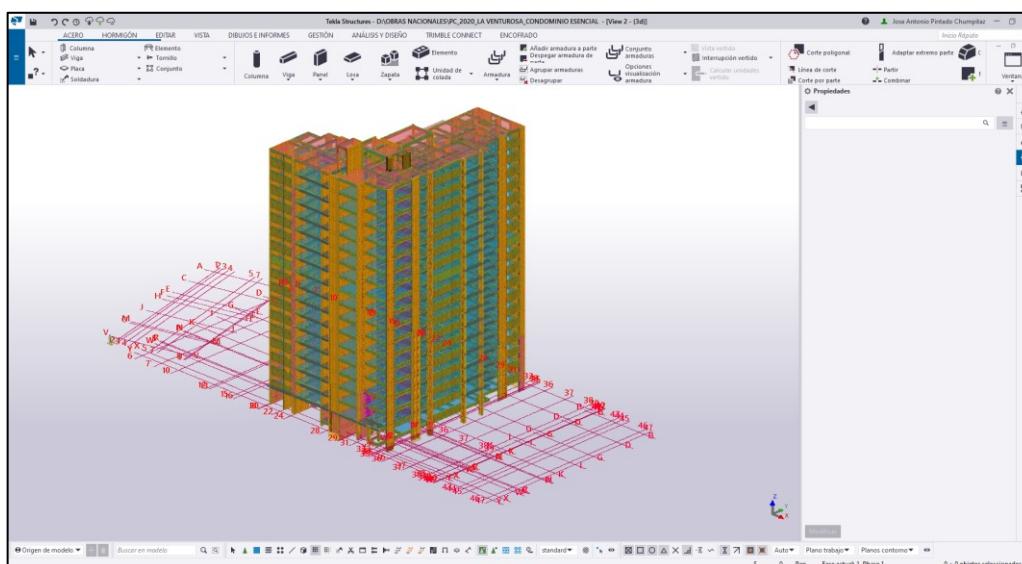


Figura 5-03: Modelado y detallado de concreto y armadura en Tekla Structures 2020 del proyecto Esencial Torre B Fuente: Elaboración propia

### 5.1.6 Envío de RFI's

- Proceso tradicional. Archivo en línea llamado Log de Consultas con la consulta o RFI realizado, indicando el tipo de RFI (información faltante, Incompatibilidad, Interferencia, Mejora) con la información desglosada para ser fácilmente ubicable, realizado por el modelador asignado. Este último crea la consulta, la cual es analizada también por el responsable del proyecto y se crea con el estatus “Nueva” para que el cliente constructor tenga conocimiento de la solicitud. En este archivo se registra la fecha de emisión y respuesta para medir la latencia de respuesta y establecer oportunidades de mejora.
  - Proceso optimizado. Como cambio al proceso tradicional, se establecen notificaciones automáticas al ingresar un RFI como estatus “Nuevo” en el Log de Consultas, la cual se traduce en un correo electrónico con la información completa y accesos, mejorando así el canal de comunicación, favoreciendo el tiempo de respuesta y de gestión de información del RFI. Este cambio reduce la variabilidad generada por: Deficiente canal de comunicación, Gestión de información y Demora en respuesta del cliente.(CL2/G2)

DESCRIPCIÓN	IMAGEN	PROPIETA	IMAGEN PROPIETA	ESTADO DE CONSULTA	TIPO DE CONSULTA	COMENTARIOS/USO	FECHA
En el dispositivo de arrastre se observa que las tiras de acero tienen una garras en su extremo que impide la rotación de las tiras, una vez sueltas.				Nueva	Mejor		

Figura 5-04: Archivo en línea LogdeConsultas. Fuente: TSC innovation

**⚠ TSC-AASA / CONSULTA / LA VENTUROSA / ESENCIAL TORRE B / C-17@C-18**

Jose Antonio Pintado Chumpitaz <jpintado@tscinnovation.com>  
para Jimayorga, Jimoreno <

Estimad@s buen día,

Para el Proyecto: LA VENTUROSA / ESENCIAL TORRE B

Se añadió la(s) consulta(s) **C-17@C-18** al archivo Log de Consultas:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/XXXXXXXXXX/edit#gid=XXXXXXXXXX>

**C-17:**

**DESCRIPCIÓN:**  
En el núcleo DC-41 para el semisótano y piso 01, deben ir  $1001\frac{1}{4}$ " +  $803/4"$ , pero al observar la sección Tipo 109, se observa que van  $801"$  (Diámetro Mayor) y  $1003/4"$  (Diámetro menor).

PISO DETALLE	SOT5 al SOT3	SOT2 al SOT1	SS al 1er Piso	
DC41	$22\frac{1}{8}$ " (S04 1961) S04 1961	$22\frac{1}{8}$ " (S04 1972) S04 1972	$16\frac{1}{8}$ " (S04 998) S04 998	$100\frac{1}{4}$ " + $803/4"$ (S04 054) S04 054

**PROPIUESTA/SOLICITUD:**  
Se está considerando que para el semisótano y piso 01, la cantidad de verticales sea la siguiente:  $1201\frac{1}{4}$ " +  $603/4"$  y con el tipo 110. Favor confirmar el criterio tomado.

**1201" + 603/4"**

Figura 5-05: Alerta de envío de consultas vía E-mail. Fuente: TSC innovation

### 5.1.7 Sesión ICE

- Proceso tradicional. Reunión Integrada entre todos los miembros del proyecto, para explicar y resolver los RFI's, aprobar opciones de mejora o liberar restricciones, con una agenda preestablecida y compromisos por cumplirse. En caso de quedar pendiente alguna respuesta, se establece la fecha límite para responder sin afectar el flujo de trabajo. Esta sesión de coordinación tiene un acta respectiva para evaluar su cumplimiento.
- Proceso optimizado. Como cambio al proceso anterior, solo se invita a los miembros requeridos para la toma de decisiones, con la agenda previamente acordada y tiempos definidos. Este cambio reduce la variabilidad correspondiente a: Incumplimiento de compromisos y Deficiente canal de comunicación. (G2/G3)

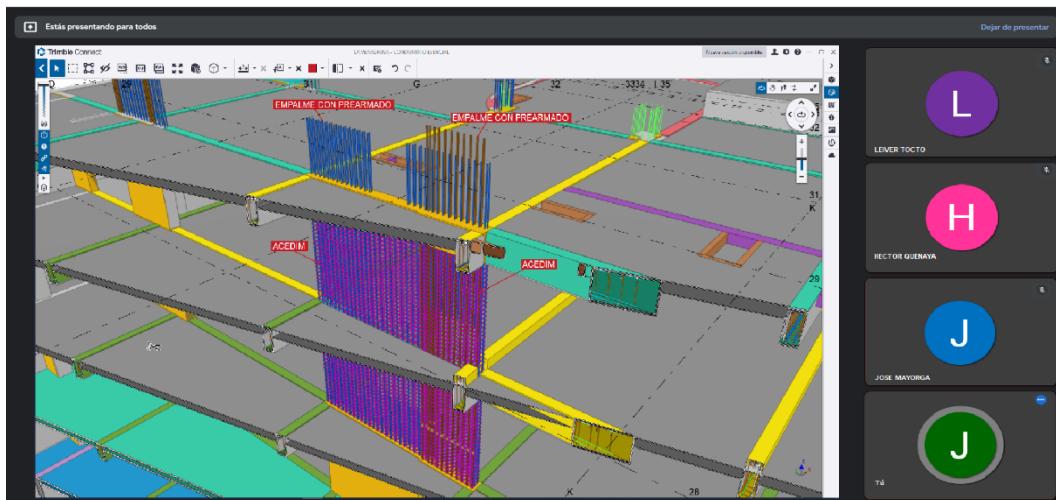


Figura 5-06: Sesión ICE vía Google Meets para revisión de propuesta de prearmado. Fuente: Elaboración propia

### 5.1.8 Revisión de Planos

- Proceso tradicional. El cliente constructor revisa el plano, verificando si su metrado elaborado corresponde a la información de los planos, la aplicación de las EETT (valores de ganchos, longitud y ubicación de empalme, recubrimientos y diámetros utilizados, sectorización aplicada, peso máximo del elemento, constructibilidad, etc.). En caso exista alguna observación esta se levanta corrigiendo el modelado y se genera la planilla de fabricación con los últimos cambios.
- Proceso Optimizado. Este proceso se eliminó del flujo de trabajo, con el cliente aprobando el alcance a suministrar con los criterios desde el modelo, debido a la confianza existente entre el equipo de trabajo. Asimismo es importante que el Cliente respete los plazos de producción de tal manera que ya no se produzcan cambios ya que en el proceso tradicional al tener una revisión, inducía al cliente a tardar en las respuestas considerando que todavía podía realizar modificaciones por no haber ingresado a producción. De esta forma se reduce el lead time del proceso, quitándolo como actividad restrictiva y facilitando la coordinación y envío a producción. Este cambio reduce la variabilidad generada por: Demora en revisión de cliente y Cambio de diseño cliente. (CL1/CL2)

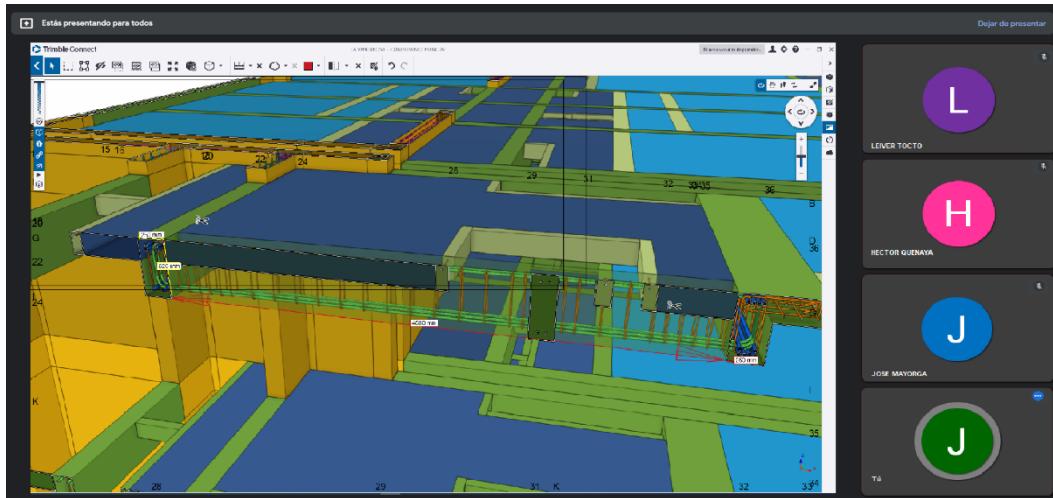


Figura 5-07: Sesión ICE para revisión de criterios y/o dimensiones. Fuente: Elaboración propia

### 5.1.9 *Elaboración de Planos*

- Proceso tradicional. Con el modelo libre de RFI's y los criterios aprobados, se genera la planilla de fabricación y los planos de instalación correspondientes al modelo realizado. Este contiene toda la información de las estructuras (Etapa, nivel, sector, etc.) asignadas con su respectiva planilla de piezas (marca, forma, diámetro, dimensiones, cantidad, peso).
  - Proceso optimizado. Como diferencia al proceso tradicional, esta actividad ya no es restrictiva para pasar al proceso de fabricación y puede darse en paralelo mientras se produce la misma, optimizando así el tiempo del flujo. Asimismo, en esta etapa se genera un control de calidad interno, en caso de detectar algún error, se notifica de inmediato al equipo de trabajo. Este cambio reduce la variabilidad correspondiente  
a: Demora en revisión del cliente. (CL2)

### 5.1.10 *Modelo y Planilla Aprobados*

- Proceso tradicional. Se genera un backlog de detallamiento (una bolsa de planilla de fabricación ya lista para enviar a producción de acuerdo a los lead time y a las prioridades y fechas requeridas del cliente).
  - Proceso optimizado. Como mejora al proceso tradicional, esta parte del proceso es empleado como un buffer de inventario de fabricación. Permite tener modelo ya aprobado y listo para fabricar. Esto fue empleado especialmente en periodos vacacionales o al cambiar de miembro del equipo de proyecto para tener el tiempo de adaptación o al

cambiar prioridades. Este cambio reduce la variabilidad correspondiente a: Cambio de equipo de proyecto y Cambio de prioridades del cliente. (CL4/G1)

#### 5.1.11 Envío a Producción

- Proceso tradicional. De acuerdo al Plan de Suministro del cliente, y respetando los lead time, se envía a producción los elementos, asignándoles su número de despacho correspondiente, el cual sirve como dato desde el momento de envío a producción hasta la valorización. Además, esta información retorna al modelo para su trazabilidad.
- Proceso optimizado. Como mejora al proceso tradicional, se estableció un sistema Pull para el envío a producción donde el cliente confirma el plan de suministro a 8-10 días previos a la entrega de tal manera que la planta tenga la demanda certera y pueda confirmar la producción y asegurar la entrega a diferencia de un sistema Push donde se enviaba a producción con una fecha tentativa, sujeta a cambios constantes. Asimismo, los despachos desde su creación tienen el criterio de peso máximo permitido para la carga de grúa, y la agrupación de estructuras similares facilitando así el orden de los elementos, descarga y búsqueda de piezas. Este cambio reduce la variabilidad correspondiente a: Problemas en Planta de Fabricación.(PL1)

	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sab	Tun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sab
ACEDIM (INSTALACIÓN)	20-feb	21-feb	22-feb	23-feb	24-feb	25-feb	27-feb	28-feb	01-mar	02-mar	03-mar	04-mar
DESPACHO VERTICALES	---	P04-S1/S2	---	---	---	---	---	---	P05-S1/S2	---	---	---
DESPACHO TECHOS	---	P03-S1/S2	---	---	---	---	---	---	P04-S1/S2	---	---	---

Figura 5-08: Proyección de entrega de material a obra. Fuente: TSC innovation.

#### 5.1.12 Liberación Comercial

- Proceso tradicional. Ya cargados los despachos al sistema, si la obra tiene saldo o línea de crédito disponible se realizará la liberación comercial de forma automática, caso contrario, el sistema envía la alerta al Jefe de Ventas del proyecto para que gestione la liberación interna (ampliación de línea de crédito, actualización de cotización, registro de producto, etc.) o externa con el cliente (revisión de facturas vencidas, actualización de orden de compra, etc.).

- Proceso optimizado. Como mejora al proceso tradicional, de acuerdo a un estimado generado del modelo y de ratios para edificaciones, se coordina con el área comercial la proyección de envío a producción en las próximas 4 semanas de tal manera que se pueda gestionar las posibles ampliaciones de crédito o solicitar compromisos de pago, etc. que permita asegurar la liberación automática de los despachos al cargarlos en el sistema. Este cambio reduce la variabilidad correspondiente a: Problemas comerciales-liberación tardía. (CL6)

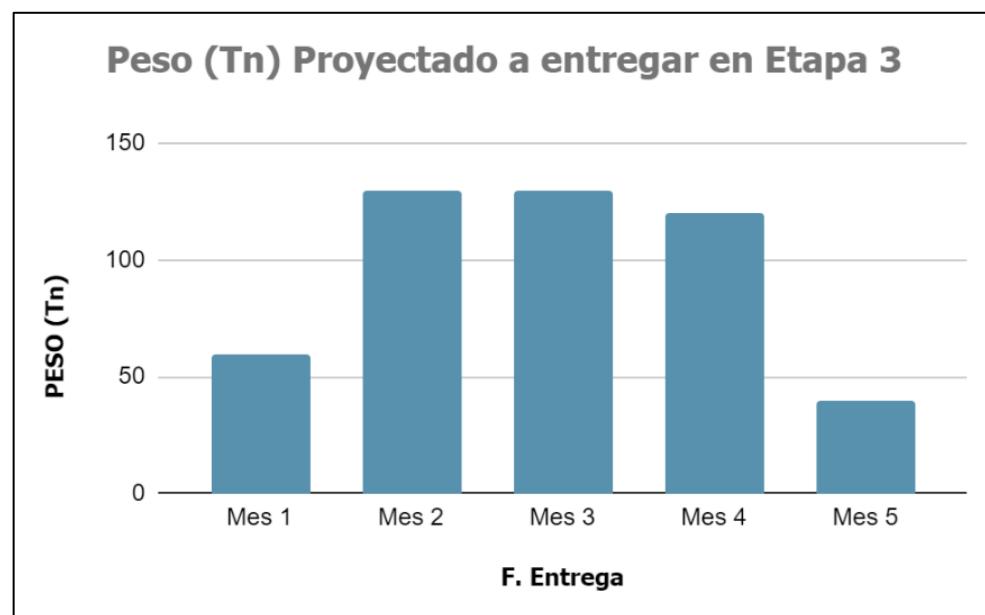


Figura 5-09: Demanda proyectada de toneladas en Etapa 3. Fuente: Elaboración propia

#### 5.1.13 Planificación y Programación

- Proceso tradicional. Con los despachos ya aprobados, el equipo de Planificación analiza la demanda de fabricación de todas las obras, priorizando las que tengan fecha de entrega próxima de acuerdo a la capacidad máxima de Planta, planteando la fecha tentativa necesaria. Posterior a la planificación, el equipo de planta recibe la lista de prioridades y programa la fabricación y armado de los despachos de acuerdo a la disponibilidad de máquinas, personal, capacidad y optimizando sus recursos.
- Proceso optimizado. Como mejora al proceso tradicional, se realiza un seguimiento a la planificación con la información disponible en línea, la cual muestra la alerta en caso exista algún cambio de fecha. Y se

procede a activar el flujo de contingencia en caso exista un cambio de fecha por parte de la Planta de acuerdo a su capacidad o por demora en la aprobación comercial. En caso exista la posibilidad de fabricar con menor plazo, se confirma al cliente constructor. Planta emplea un buffer de inventario por temas de variabilidad en la fabricación por cantidad de piezas/formas. Lo que se traduce a un almacenamiento por 1-2 días, lo cual permite llegar a obra el día requerido. Este cambio reduce la variabilidad correspondiente a Problemas en Planta Producción. (PL1)

#### 5.1.14 *Flujo de Contingencia en caso de emergencia*

Este proceso se ha estandarizado de tal manera que se active en caso de algún evento inesperado en Planta o por demora en alguna parte del proceso que haya generado un envío tardío a producción con la finalidad de que no se afecte el objetivo del proyecto que es asegurar la entrega del casco estructural. Si es que no se puede confirmar la proyección de producción se conversa con el personal de obra y se coordina la posibilidad de modificación de la fecha, en caso sea posible se continúa con el flujo normal o de lo contrario se coordina el alcance a habilitar in situ, así como los días de entrega y la fecha de restablecimiento del servicio normal.

La planilla de fabricación y el modelo aprobado sirven como base y se realiza la conversión de peso a cantidad de barras de 9m de acuerdo al diámetro considerando las principales restricciones de empalme y la merma posible a generar por el corte y habilitado in situ. Posteriormente, se entrega el material al día siguiente y se habilita en obra. El buffer de capacidad se genera con el personal en obra que puede asignar personal para habilitar acero (cortado y doblado) y minimizar los impactos respecto al avance en obra. Es importante que la subcontrata de instalación de acero cuente con personal disponible de otros proyectos cercanos. Este cambio reduce la variabilidad correspondiente a: Problemas en Planta Producción, Incumplimiento de compromisos, Cambio de prioridades o atraso cliente, etc.(CL4/PL1/G3)

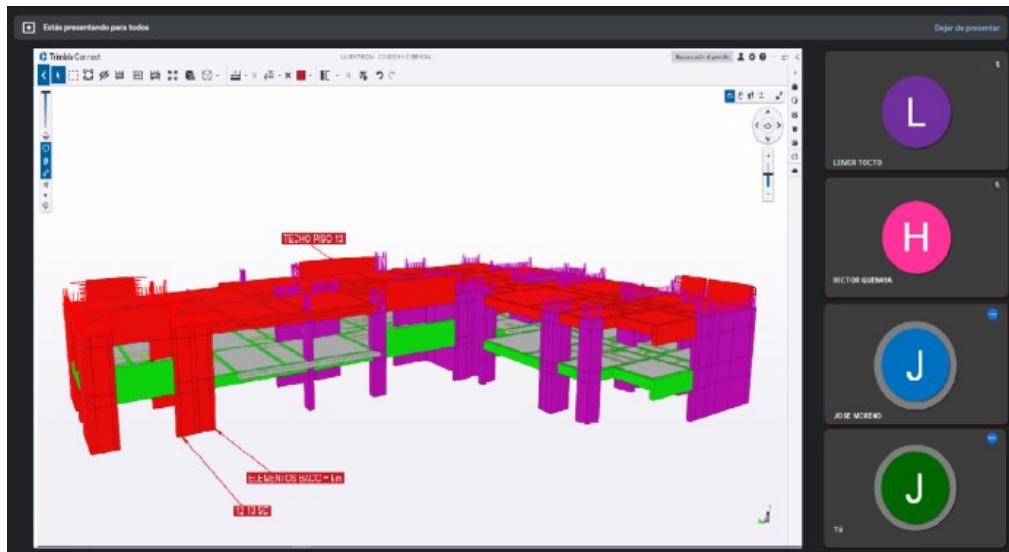


Figura 5-10: Coordinación de alcance a ejecutar por producto (barras 9m, acero dimensionado, prearmado). Fuente: Elaboración propia.



Figura 5-11: Habilitado en obra con dobladora empleado como contingencia ante emergencia.  
Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.15 Fabricación

En la etapa de fabricación, se ingresa al sistema las piezas a fabricar por diámetro, se imprimen las etiquetas con la información de las piezas, se producen en las máquinas dependiendo del diámetro (diámetros hasta 5/8" se fabrican a partir de rollos laminados y diámetros a partir de 3/4" a partir de optimización de barras de 12-13-14-15 metros laminados), se empaquetan y agrupan de acuerdo a las formas similares. Este proceso al ser automatizado y estándar, no formó parte del alcance en el proceso de mejora.



Figura 5-12: Fabricación industrial del acero dimensionado. Fuente: Aceros Arequipa

#### 5.1.16 Armado

- Proceso tradicional. En el caso de solicitar el acero dimensionado como elemento prearmado, el acero fabricado pasa al área de Preamado, donde el supervisor del área analiza los planos de armado enviados al cliente y procede con el armado respectivo de acuerdo a la planificación y programación para tener los recursos necesarios.
- Proceso optimizado. Como mejora al proceso tradicional, se incorpora al responsable de prearmado a una sesión para verificar la lectura de planos, de tal manera que quede claro el futuro armado y/o los detalles adicionales necesarios para evitar errores. Asimismo se incorpora la realidad virtual para verificar el armado de los elementos en Planta con el número de despacho asignado. Este cambio reduce la variabilidad correspondiente a: Errores de fabricación/armado. (ID1)

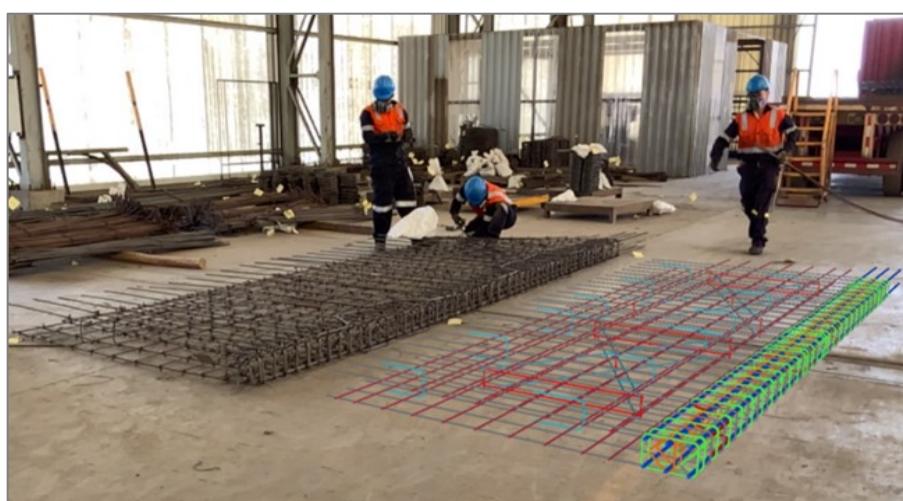


Figura 5-13: Comparación entre elemento prearmado con elemento virtual de modelo BIM. Fuente: Aceros Arequipa

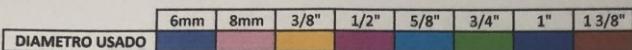
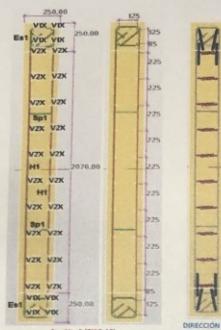
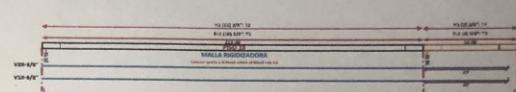
 <b>ACEDIM</b>	<b>PREARMADO DE ACERO CORRUGADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>																																																																																																												
<b>1. DATOS GENERALES</b>				<b>FECHA:</b> 05/03/2022																																																																																																									
<b>OBRA:</b>		<b>ESENCIAL TORRE B</b>																																																																																																											
<b>TIPO:</b>		<b>EDIFICACIÓN</b>																																																																																																											
<b>SECTOR:</b>		<b>PISO 18 - SECTOR D</b>																																																																																																											
<b>ELEMENTO:</b>		<b>MURO M-21</b>																																																																																																											
<b>2. DIMENSIONES</b>																																																																																																													
<b>DIÁMETRO USADO</b>	<b>6mm</b>	<b>8mm</b>	<b>3/8"</b>	<b>1/2"</b>	<b>5/8"</b>	<b>3/4"</b>	<b>1"</b>	<b>1 3/8"</b>																																																																																																					
																																																																																																													
<b>3. IMAGEN</b>																																																																																																													
																																																																																																													
<b>4. CONTROL DE CALIDAD</b>																																																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2" style="width: 15%;">ITEM</th> <th rowspan="2" style="width: 15%;">DESPACHO</th> <th colspan="9" style="text-align: center; font-weight: bold;">VERIFICACIÓN</th> </tr> <tr> <th style="width: 15%;">A</th> <th style="width: 15%;">B</th> <th style="width: 15%;">C</th> <th style="width: 15%;">D</th> <th style="width: 15%;">E</th> <th style="width: 15%;">F</th> <th style="width: 15%;">G</th> <th style="width: 15%;">H</th> <th style="width: 15%;">I</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 15%;">1</td> <td style="width: 15%;">694</td> <td style="text-align: center;">C</td> </tr> </tbody> </table>		ITEM	DESPACHO	VERIFICACIÓN									A	B	C	D	E	F	G	H	I	1	694	C	C	C	C	C	C	C	C																																																																														
ITEM	DESPACHO			VERIFICACIÓN																																																																																																									
		A	B	C	D	E	F	G	H	I																																																																																																			
1	694	C	C	C	C	C	C	C	C																																																																																																				
C=CONFORME      NC= NO CONFORME      NA= NO APLICA																																																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center; font-weight: bold;">PUNTO DE CONTROL</th> <th colspan="5" style="text-align: center; font-weight: bold;">SOLICITUD PARTICULAR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 15%;">A</td> <td colspan="4" style="width: 85%;">DIÁMETRO DE VARILLAS</td> <td colspan="5" style="text-align: center;">✓</td> </tr> <tr> <td style="width: 15%;">B</td> <td colspan="4" style="width: 85%;">LONGITUD DE TRASLAPE / UBICACIÓN DE BARRAS</td> <td colspan="5" style="text-align: center;">✓</td> </tr> <tr> <td style="width: 15%;">C</td> <td colspan="4" style="width: 85%;">LONGITUD DE GANCHOS</td> <td colspan="5" style="text-align: center;">✓</td> </tr> <tr> <td style="width: 15%;">D</td> <td colspan="4" style="width: 85%;">ESPACIAMIENTO ENTRE BARRAS VERTICALES</td> <td colspan="5" style="text-align: center;">✓</td> </tr> <tr> <td style="width: 15%;">E</td> <td colspan="4" style="width: 85%;">ESPACIAMIENTO EN ESTRIBOS</td> <td colspan="5" style="text-align: center;">✓</td> </tr> <tr> <td style="width: 15%;">F</td> <td colspan="4" style="width: 85%;">VERIFICACIÓN DE SOLDADURA</td> <td colspan="5" style="text-align: center;">R9S</td> </tr> <tr> <td style="width: 15%;">G</td> <td colspan="4" style="width: 85%;">AMARRE DE ALAMBRE</td> <td colspan="5" style="text-align: center;">✓</td> </tr> <tr> <td style="width: 15%;">H</td> <td colspan="4" style="width: 85%;">RIGIDEZ DEL ELEMENTO</td> <td colspan="5" style="text-align: center;">✓</td> </tr> <tr> <td style="width: 15%;">I</td> <td colspan="4" style="width: 85;"></td> <td colspan="5" style="text-align: center;"></td> </tr> </tbody> </table>										PUNTO DE CONTROL					SOLICITUD PARTICULAR					A	DIÁMETRO DE VARILLAS				✓					B	LONGITUD DE TRASLAPE / UBICACIÓN DE BARRAS				✓					C	LONGITUD DE GANCHOS				✓					D	ESPACIAMIENTO ENTRE BARRAS VERTICALES				✓					E	ESPACIAMIENTO EN ESTRIBOS				✓					F	VERIFICACIÓN DE SOLDADURA				R9S					G	AMARRE DE ALAMBRE				✓					H	RIGIDEZ DEL ELEMENTO				✓					I									
PUNTO DE CONTROL					SOLICITUD PARTICULAR																																																																																																								
A	DIÁMETRO DE VARILLAS				✓																																																																																																								
B	LONGITUD DE TRASLAPE / UBICACIÓN DE BARRAS				✓																																																																																																								
C	LONGITUD DE GANCHOS				✓																																																																																																								
D	ESPACIAMIENTO ENTRE BARRAS VERTICALES				✓																																																																																																								
E	ESPACIAMIENTO EN ESTRIBOS				✓																																																																																																								
F	VERIFICACIÓN DE SOLDADURA				R9S																																																																																																								
G	AMARRE DE ALAMBRE				✓																																																																																																								
H	RIGIDEZ DEL ELEMENTO				✓																																																																																																								
I																																																																																																													
<b>MEJORA A CONSIDERAR:</b> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <i>Alertar ancho del PRE</i> </div>																																																																																																													
<b>5. APROBACIÓN FINAL</b>																																																																																																													
<b>PRODUCCIÓN</b>					<b>CALIDAD I</b>		<b>CALIDAD II</b>																																																																																																						
Nombre: Carlos Rivas					Nombre: Hans Moore		Nombre: Sybila Lloclla																																																																																																						

Figura 5-14: Checklist de Protocolo Liberación de Calidad para elementos prearmados. Fuente: Aceros Arequipa

### 5.1.17 Carga y Transporte

- Proceso tradicional. El área de Planificación, con los despachos ya fabricados o a punto de fabricarse o armarse, procede a solicitar la unidad o unidades que transportarán el material de acuerdo a los requerimientos físicos de los despachos solicitados (largo máximo 9m o 12m, capacidad máxima 15 o 30 tn, solicitud de carga ancha, etc.). Este material se carga, se controla por la balanza, se procede con el trámite documentario de facturas, y sale con dirección a la obra con una duración aproximada de 5h desde Pisco a Lima.
- Proceso optimizado. Como mejora al proceso tradicional, el responsable del proyecto agrupa el acero de acuerdo al orden requerido en obra según el número de despacho y la prioridad. Asimismo, se incorpora al responsable de prearmado a una sesión para verificar la carga a realizar en las unidades de acuerdo a la geometría y capacidad máxima de apilamiento de elementos. De esta manera se determina la cantidad de elementos a transportar por unidad y el orden de los mismos para generar un esquema de carga (Ver Figura 5-14). Este cambio reduce la variabilidad correspondiente a: Problemas en Planta Producción y Espacio del cliente en Obra.(PL1/CL7)

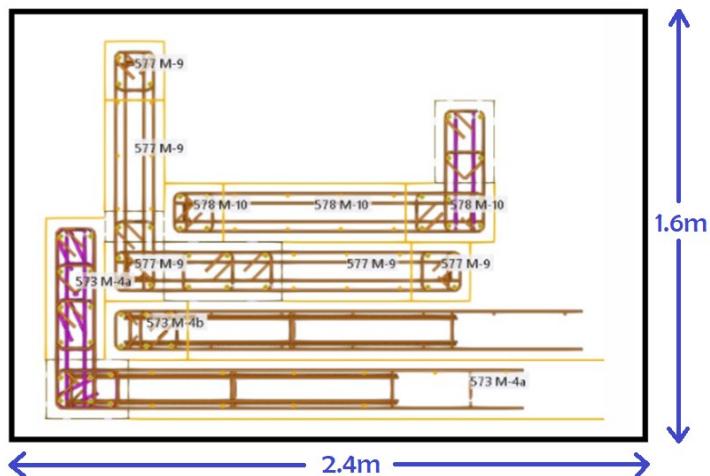


Figura 5-15: Sección Transversal de orden de carga en un camión. Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.18 Entrega de despachos a obra

- Proceso tradicional. Según la salida del material de la Planta de Producción, se confirma el rango de llegada del material. De acuerdo al horario asignado para la disponibilidad de descarga del cliente constructor, se coordina la hora exacta de la descarga del material con el área logística del fabricante proveedor.
- Proceso optimizado. Como mejora al proceso tradicional, se genera un grupo de Whatsapp en el cual se alerta la ubicación de las unidades y su hora de llegada, con la finalidad de que el Cliente disponga de tiempo de grúa y se atienda rápido a la unidad. Asimismo se coordinó con el cliente la opción del uso de buffer de inventario de 1 día para la llegada de material para que en caso de tener alguna demora, la unidad llegue al día siguiente a primera hora sin afectar el avance del cliente constructor. Este cambio reduce la variabilidad correspondiente a: Problemas en Planta Producción y Lejanía de Planta Producción.(PL1/PL2)

### 5.1.19 Descarga y preparación

- Proceso tradicional. Con la zona ya establecida para el almacenaje del material en obra, se procede con su descarga con torre grúa o con grúa propia de la unidad dependiendo de las condiciones de la obra. (En su mayoría para edificaciones de Lima se utiliza la torre grúa propia de la obra). Además, durante la descarga en la zona especificada se ordena de tal manera que sea fácilmente ubicable para su posterior uso.
- Proceso optimizado. Como mejora al proceso tradicional, el equipo de obra cuenta con un plano en planta generado a partir del modelo, con la información del elemento, producto y despacho a suministrar de tal manera que identifique las estructuras que se están entregando y se facilite su revisión y almacenaje en obra. Este cambio reduce la variabilidad correspondiente a: Gestión de Información y Errores de fabricación/armado. (ID1/G2)

La descarga con 1 día de anticipación es un buffer acordado para el suministro dependiendo del espacio disponible para el almacenamiento de material en obra, el cual es también empleado para adelantar la programación de ser posible (acero dimensionado y/o prearmado).

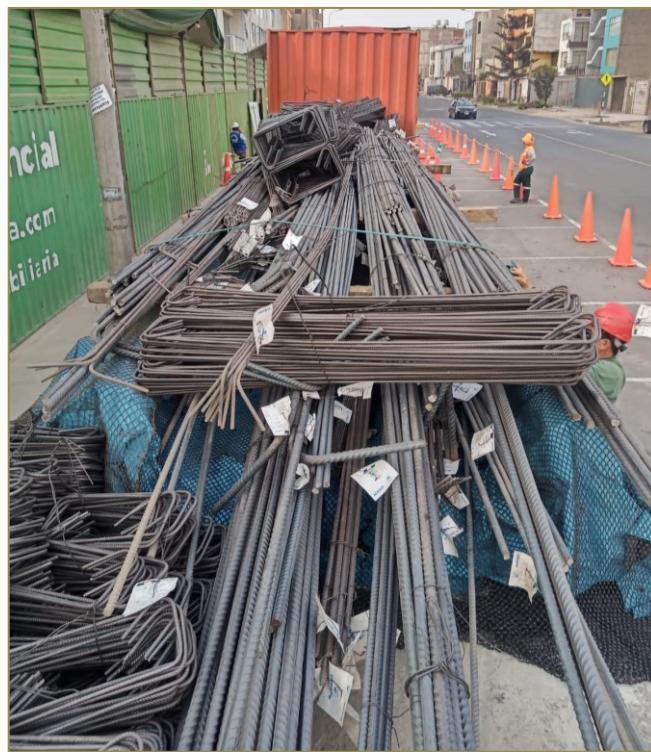


Figura 5-16: Elementos ordenados listos para descarga. Fuente: Elaboración propia

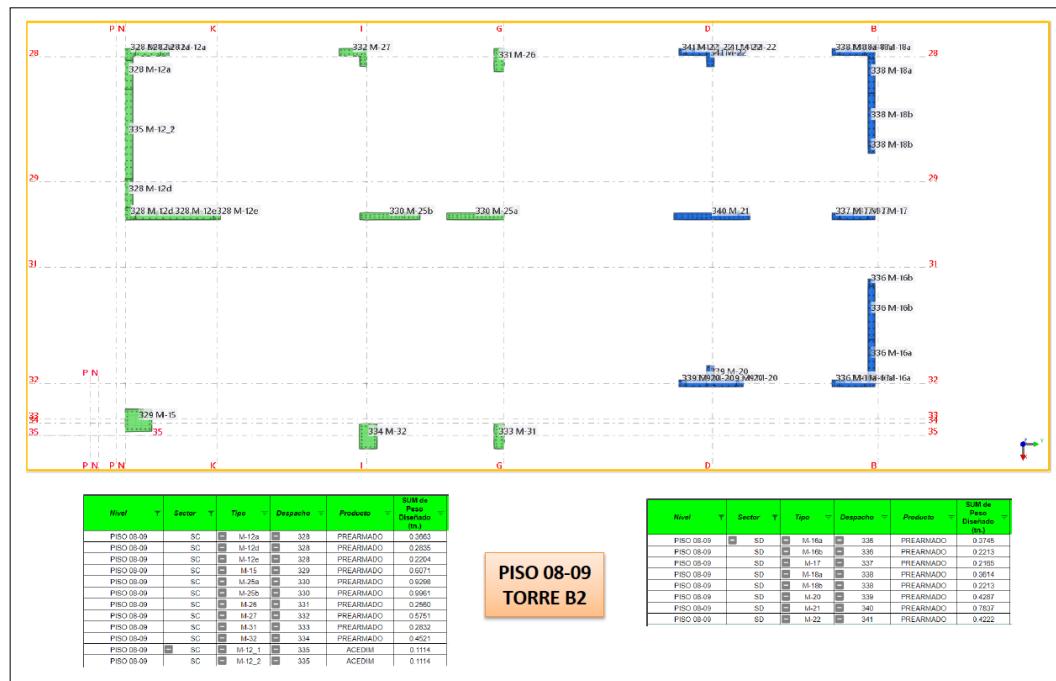


Figura 5-17: Plano con ubicación de elementos verticales a suministrar con información trazable.  
Fuente: Elaboración propia

### 5.1.20 Instalación y/o montaje

- Proceso tradicional. El equipo de obra procede a ubicar el material en la zona respectiva de instalación y separar el material de acuerdo a todas las estructuras requeridas según el sector de avance del día para instalar de acuerdo al plan semanal del cliente con los planos correspondientes. Los elementos prearmados se instalan sin uso de andamios y se arriostran con algunas barras de 3/4" como "vientos" para mantener fija su posición.
- Proceso optimizado. Como mejora al proceso tradicional, se anticipó a los posibles errores a detectar en la etapa de instalación final con la revisión del modelo. También, desde la coordinación inicial se optó por la industrialización con el uso de elementos prearmados desde la Planta de fabricación. Además, en caso de que alguna barra pueda faltar, se cuenta con un stock en obra para habilitar el elemento puntual faltante. Y al final de la obra en caso quede un excedente, se ubica en algún elemento o se recoge de la obra. Asimismo, este stock permite manejar algún cambio realizado por cliente que no haya sido alertado a tiempo para modificarse y enviarse dimensionado. Este cambio reduce la variabilidad generada por: Errores de fabricación/armado, piezas faltantes. Cambio de diseño del cliente (ID1/CL1).



Figura 5-18: Montaje de elementos verticales prearmados. Fuente: Elaboración propia



Figura 5-19: Instalación de elementos prearmados de placa a 2 Niveles en condominio Esencial.  
Fuente: Elaboración propia

#### 5.1.21 *Liberación y Valorización*

- Proceso tradicional. El área de calidad del cliente constructor supervisa la calidad de la instalación en obra junto con los planos del proyecto (cuantías, empalmes, diámetros, cantidades, etc.) y libera la partida correspondiente a la instalación del día. Posterior a la instalación, el área de producción valida semanalmente el tonelaje instalado para la valorización respectiva del equipo de instalación.
- Proceso optimizado. Como mejora al proceso tradicional, se anticiparon las revisiones desde el modelo con el uso de BIM. Asimismo, el cliente cuenta con reportes personalizados que le permite revisar la información correspondiente a lo suministrado desde el inicio del proyecto, con filtros personalizado para ubicar rápidamente la información y con trazabilidad en el modelo, lo cual genera transparencia y facilita la liberación de estructuras instaladas. Finalmente en obra se produce la liberación con los planos de instalación acorde al modelo y se valoriza de acuerdo al avance semanal realizado. Este cambio reduce la variabilidad generada por: Deficiente canal de comunicación y gestión de información.(G2)



Figura 5-20: Reporte en Data Studio (Resumen) de Proyecto Esencial Torre B. Fuente: TSC innovation

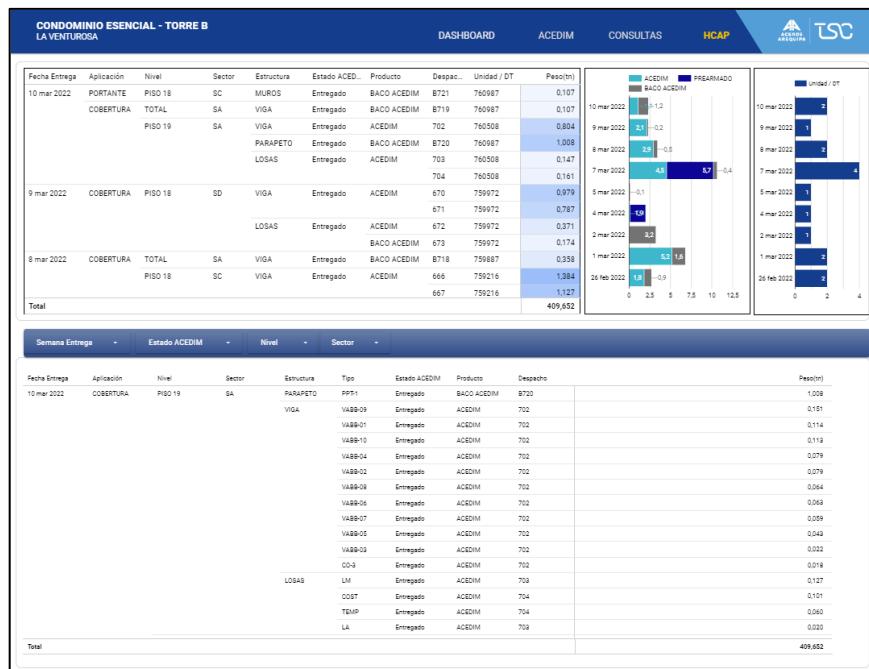


Figura 5-21: Reporte en Data Studio (Hoja de Control de Avance de Producción) de Proyecto Esencial Torre B. Fuente: TSC innovation

De esta manera, se describió el proceso optimizado después de la aplicación de la metodología de gestión de proyectos Diseño y Construcción Virtual (VDC) en el proceso de suministro de acero dimensionado en un proyecto de edificación multifamiliar.

## 5.2 RESUMEN DE PROCESO OPTIMIZADO DE ACERO DIMENSIONADO CON VDC

A continuación, se muestra un resumen con las principales modificaciones realizadas por proceso:

Tabla 5-04: Cuadro Resumen Proceso Tradicional vs Optimizado – parte 1. Fuente: Elaboración propia.

Nº	PROCESO	Sin optimización (Sin aplicación VDC)	Optimizado (Con aplicación VDC)
1	Cierre comercial	Jefe de Ventas cierra un proyecto, ofreciendo los productos típicos en base a información básica del proyecto	Un Responsable de Proyectos participa en el ofrecimiento comercial, con información previamente revisada. Se explica el proceso y ofrece el producto que más conviene a la obra además de las posibles restricciones para aprovechar el producto. Jefe de ventas acompaña y negocia el cierre oficial
2	Sesión Kick off	Presentación del equipo del proyecto, responsabilidades de cada miembro, el flujo del servicio, solicitud de información.	Adicionalmente, explicación detallada del flujo de trabajo enfatizando la importancia de cada proceso y detallando responsables de liberar restricciones, se definen los plazos y las consecuencias de estas.
3	Revisión de Información de Proyecto	Revisión de información completa (planos, lookahead, secuencia, modelos), coordinación de producto a ofrecer. Determinación de alcance de acuerdo con plazos.	Se enfatiza en la solicitud de información completa versión final. El plazo empieza desde el envío de información completa o al tener una promesa de envío de información.
4	Asignación de modelado	Desglose de estructura a detallar con la información disponible.	La asignación de modelado es un sistema Pull con los elementos previamente coordinados según alcance, producto e información completa.
5	Modelado y Detallamiento	Opciones de mejora a constructibilidad, primeras consultas, avance de modelado en Tekla Structures	Responsable de proyecto ya liberó RFI's generales previamente al inicio del modelado, optimizando el tiempo del modelador y reduciendo los plazos
6	Envío de RFI's	Archivo en línea log de consultas con información desglosada fácilmente identificable	Notificaciones automáticas de nuevas consultas mediante correo electrónico y alerta de status de las mismas para reforzar la importancia de liberarlas.
7	Sesión ICE	Reunión de todos los miembros del equipo semanal, explicación de RFI's, programación, restricciones, establecimiento de compromisos. Todo en base a un acta.	Se invita solo a los miembros clave para toma de decisiones, separando la reunión de planificación y programación, de la reunión de liberación de RFI's. Se toma decisión de consideraciones para enviar a producción con algún criterio aprobado.

Tabla 5-05: Cuadro Resumen Proceso Tradicional vs Optimizado – parte 2. Fuente: Elaboración propia.

Nº	PROCESO	Sin optimización (Sin aplicación VDC)	Optimizado (Con aplicación VDC)
8	Revisión de Planos	Cliente requiere plano para revisar criterios de detallamiento (empalme, longitudes, diámetros, sectorización, constructabilidad).	El cliente valida los criterios en el modelo en la plataforma Trimble Connect, reduciendo así los plazos y liberando la restricción de revisión.
9	Elaboración de Planos	Planos realizados en base a modelo compatibilizado	Esta actividad se realiza posterior al envío a producción sin afectar el flujo de trabajo. Asimismo, el equipo de dibujo realiza un control de calidad al revisar en base al plano original del proyecto.
10	Modelo y Planilla Aprobados	Backlog de detallamiento listo para enviar a fabricar	Coordinación de elementos liberados sin cambios, con la finalidad de tenerlo como buffer de inventario de fabricación. Empleados en períodos de vacaciones o cambio de equipo del proyecto.
11	Envío a producción	Se cargan las planillas de fabricación obtenidas desde el modelo al sistema de producción de acero dimensionado en base al cronograma del cliente	Se modifica a un sistema Pull el envío a producción empleando fechas previamente coordinadas (siempre optimistas) para así asegurar la demanda de fabricación de la Planta de Producción. Asimismo, al enviar a producción se consideran criterios de agrupación y orden para facilitar el proceso de descarga.
12	Liberación comercial	El sistema valida si el cliente cuenta con línea de crédito disponible, en caso sea favorable se libera automáticamente los pedidos. En caso sea desfavorable, se envía la alerta al Jefe de Ventas para que gestione la liberación.	Se estima la demanda semanal/mensual de acero y se genera alerta al Jefe de Ventas con la finalidad de que pueda anticipar la disponibilidad de línea de crédito. Se alerta inmediatamente al cliente para que gestione internamente cualquier restricción.
13	Planificación y Programación	Planificación y Programación de fabricación de acuerdo a prioridades en base a fechas y capacidad	Se añade el flujo de contingencia en caso no exista capacidad o los plazos estén muy ajustados debido a una liberación tardía.
14	Flujo de Contingencia en caso de emergencia	---	Al existir algún evento inesperado en la planta de producción, se estandarizó el flujo de emergencia con la finalidad de prevalecer el ritmo de avance del proyecto enviando acero comercial (Barras de 9m) según sea necesario.

Tabla 5-06: Cuadro Resumen Proceso Tradicional vs Optimizado – parte 3. Fuente: Elaboración propia.

Nº	PROCESO	Sin optimización (Sin aplicación VDC)	Optimizado (Con aplicación VDC)
15	Fabricación	Fabricación de piezas de acuerdo a diámetros comerciales, se empaqueta y se agrupan de acuerdo a formas similares.	Proceso estandarizado de Planta
16	Armado	Acero dimensionado pasa a la línea de prearmado	Se añade al responsable de prearmado en la etapa de detallamiento de acero para validar la producción con la mejor opción para rigidizar, información necesaria en planos que facilita el armado.
17	Carga y Transporte	El área de planificación solicita unidades de transporte	El responsable del proyecto agrupa los despachos según orden requerido para facilitar la descarga en obra de acuerdo a criterios con el área de prearmado y empleando la información de peso y geometría como restricción. Se añade un esquema de carga de los elementos.
18	Entrega de despachos a obra	Se envía la alerta de salida de unidad desde la planta de producción y se estima su llegada en 5-6 horas.	Se crea el grupo de Whatsapp donde se alerta constantemente la ubicación de la unidad y la disponibilidad de frente de descarga. Se emplea un buffer de inventario de 1 día para el cliente ante cualquier contingencia que pueda sufrir la unidad de transporte.
19	Descarga y Preparación	Revisión de material suministrado y descarga en obra con torre grúa en zona cercana a su futuro uso.	Se genera un plano a partir del modelo con información sobre el despacho, producto y elementos a suministrar para facilitar la revisión y almacenamiento en obra.
20	Instalación y/o Montaje	Instalación de elementos según avance de obra	Revisión previa de criterios en el modelo. Uso de stock de contingencia en caso de faltante, modificación o error.
21	Liberación y Valorización	Revisión con los planos del proyecto, posteriormente se valida el tonelaje instalado para su valorización.	Se anticiparon las revisiones desde el modelo BIM. Asimismo, se cuenta con la trazabilidad del acero suministrado para facilitar la valorización del acero instalado y tener el estatus de lo próximo a instalar.

## CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo, se discutirá el impacto de los resultados para las métricas de producción y factores controlables indicados en el Capítulo IV de la implementación, en base a la optimización del proceso del capítulo V, a lo largo de las 28 semanas de implementación de la metodología VDC durante la etapa 2 y 3 en el suministro de acero dimensionado en un proyecto de edificación multifamiliar en ejecución.

### 6.1 COMPONENTE ICE

El componente ICE se caracterizó por la colaboración entre los miembros del proyecto, siendo importante la buena disposición, comunicación y compromiso para la liberación de restricciones y toma de decisiones.

#### 6.1.1 *Métricas de Producción*

Las métricas de producción evaluadas correspondientes al componente ICE fueron: la asistencia de involucrados claves, el cumplimiento de actas de compromiso a tiempo, solución de RFI's a tiempo.

##### 6.1.1.1 *Asistencia de involucrados clave a sesiones ICE*

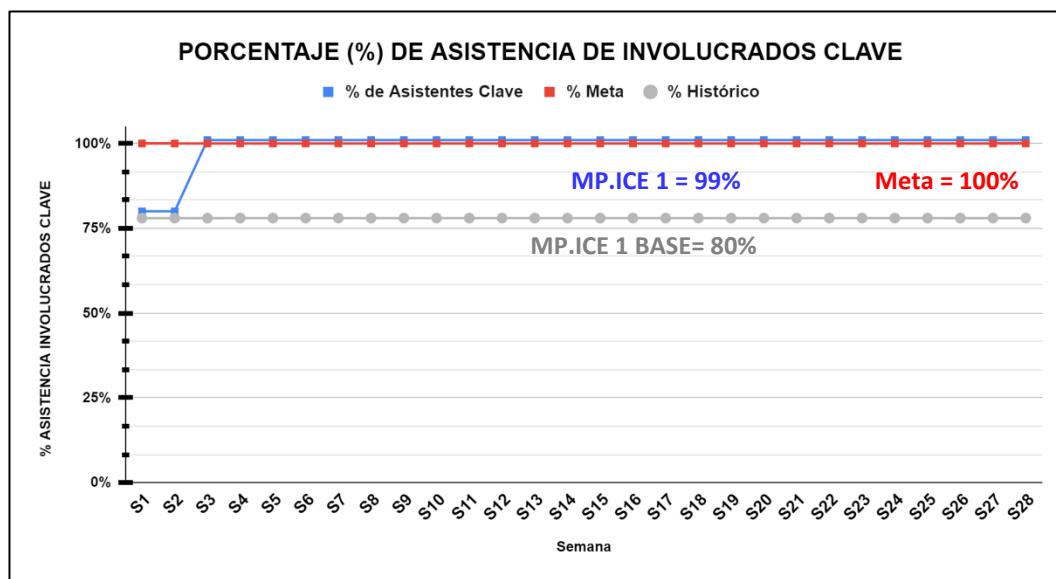


Figura 6-01: Gráfico asistencia a sesiones ICE de involucrados claves. Fuente: Elaboración propia

El Porcentaje de asistencia de los involucrados claves resulta de la comparación del personal agendado antes de la reunión y los asistentes que participan

activamente en la reunión, lo cual permite reunir a las personas que toman las decisiones o plantear modificaciones a la forma de trabajo para lograr el aseguramiento y la mejora del flujo. Dado que esta métrica es nueva en su implementación, el valor base fue lo obtenido en las primeras semanas (80%).

En las primeras 2 semanas, el personal clave no asistía por completo (En promedio faltaban 1 o 2 personas por sesión de 6 -7 invitadas), lo cual dificultaba una toma de decisión en ese instante o un compromiso confiable. Luego de una reflexión y análisis con el equipo de obra y a nivel gerencial, se plantearon mejoras entre todos los miembros del proyecto, se comprendió la importancia de cada parte y miembro del proceso, la influencia, así como la afectación en los demás indicadores. En las siguientes semanas, a partir de la semana 3, se observa una tendencia a la estabilización de la asistencia en un 100% ya que se mejoró el horario de reunión (sesiones ICE) de acuerdo con la disponibilidad de todos los participantes (siendo de preferencia, los miércoles en la tarde). Además, se mejoró el tiempo asignado a cada sesión (20-40min) con la agenda e información preparada previamente.

#### *6.1.1.2 Cumplimiento de compromisos del acta de reunión*

El porcentaje de cumplimiento de compromisos resulta de la medida de los compromisos generados por todos los asistentes de la sesión ICE cumplidos en su respectiva fecha comprometida como límite, lo cual es indispensable para asignar al responsable de levantar la restricción y asegurar el flujo continuo del servicio.

Entre los compromisos más frecuentes se registraron:

- Envío de actualización de cronograma de suministro y ejecución.
- Envío de actualización de sectorización y secuencia de ejecución.
- Envío de actualización de planos de diseño.
- Envío de proyección de pesos estimados.
- Respuesta a RFI's enviados al proyectista.
- Confirmación de propuesta técnica enviada.
- Envío de información del equipo de trabajo.
- Incorporación de recursos adicionales.
- Confirmación de horario de entrega y unidades a entregar por día.
- Levantamiento de restricción comercial.

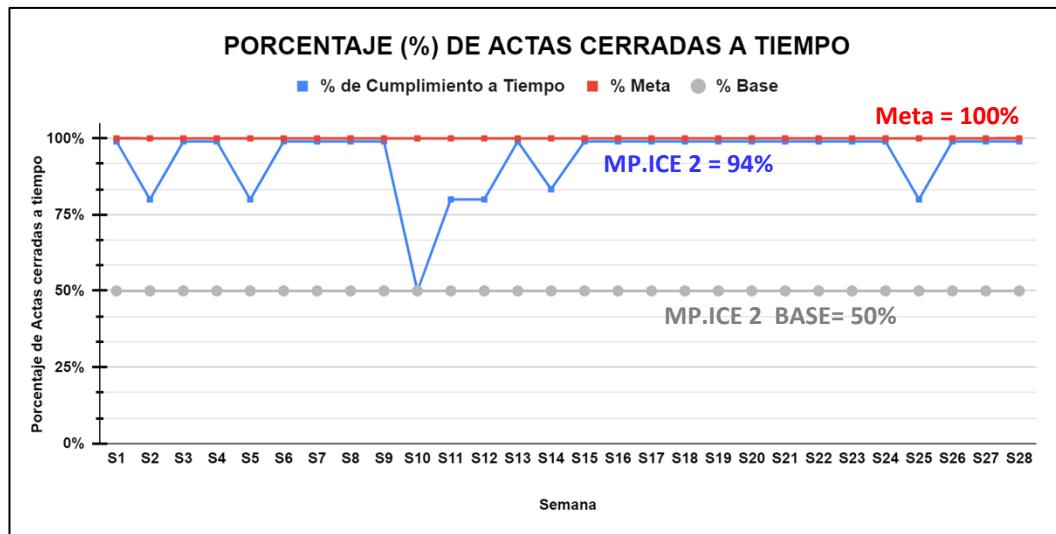


Figura 6-02: Gráfico Porcentaje de Actas Cerradas a Tiempo. Fuente: Elaboración propia

Dado que esta métrica es nueva en su implementación, el valor base fue lo obtenido en la encuesta realizada a los expertos como frecuencia para la fuente Incumplimiento de Compromiso, es decir 50%. En las primeras 5 semanas el nivel de cumplimiento estuvo por debajo del objetivo, mejorando en conjunto al mejorar el porcentaje de asistentes clave a las sesiones. Entre las semanas 6 y 9 este se estabilizó en 100%, debido a que los asistentes clave eran quienes se comprometían con la fecha límite de cumplimiento. Posteriormente, entre las semanas 10 y 14 hubo una disminución considerable del cumplimiento de cierre de actas debido a problemas en la planta de producción por problemas asociados a la coyuntura Sars-Cov-2 que afectaron la producción y generaron un grado alto de variabilidad en la producción, disminuyendo en algunos días la producción hasta en un 50-70%, afectando la salida hacia las obras. En las semanas siguientes a la semana 15, se estandarizó el flujo de atención en caso de contingencia, lo que conlleva a que se estabilice el cumplimiento de compromisos a un 100%.

Puntualmente, en la semana 25 se redujo por el incumplimiento de una fecha límite que se estableció por parte del cliente por un tema comercial que lo favorecía y le generaba un ahorro, que sin embargo no afectaba el flujo crítico ya que se contaba con un buffer de inventario de fabricación.

#### 6.1.1.3 Solución de RFI's

Se estableció un lead time para respuesta a RFI's de 3 días hábiles por ser el tiempo estimado a la siguiente sesión ICE y es el tiempo que generalmente

requiere el proyectista de un proyecto de edificación en responder formalmente a las consultas generadas. Según la data de proyectos previos, el valor referencial fue del 50% de RFI's respondidos dentro de los 3 días de plazo. Pasado este tiempo, se analiza en la sesión ICE la factibilidad de esperar unos días más o tomar la decisión de validar alguna consideración de acero dimensionado (por ejemplo, al haber incompatibilidad utilizar la medida o dimensión más conservadora) o en caso extremo decidir habilitar en obra, de tal manera que el flujo de trabajo sea continuo y seguro.

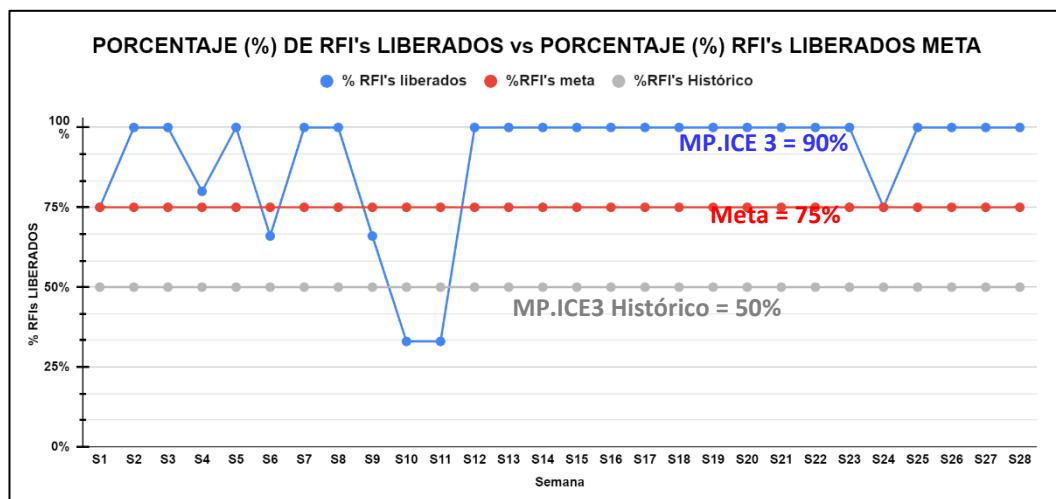


Figura 6-03: Gráfico Porcentaje RFI's liberados por semana. Fuente: Elaboración propia

En las primeras semanas la mayoría de las solicitudes de información (RFI's) fueron correspondientes a procedimientos constructivos, lo cual facilitaba la respuesta en fecha del cliente. En las semanas 10 y 11 más bajas se debe a que se generaron más RFI's porque hubo la transición de la etapa de sótano a torre y en su mayoría requerían respuesta del proyectista del cliente por ser respecto al diseño original. En su mayoría, a partir de la semana 12, dada la tipicidad de las estructuras, y a que se amplió a 4 días el tiempo límite para respuestas, es que se mantuvo en 100% el cumplimiento lo cual favoreció el flujo continuo. En la última semana, hubo una ligera disminución de los RFI's liberados pero que no afectó debido a que se adelantó el detallamiento, debido a un aprovechamiento de una oportunidad comercial.

### 6.1.2 Factores Controlables ICE

Los factores controlables del componente ICE fueron: Control de actas de reunión y la programación de sesiones ICE semanales.

### 6.1.2.1 Control de Actas de Reunión

El control de actas de reunión se estableció con la finalidad de realizar el seguimiento de los compromisos por cumplir y asegurar que se genere una alerta a los responsables de liberar las restricciones consideradas en las sesiones. Durante las 28 semanas, como mínimo se generó 1 alerta por semana, a través de llamada telefónica, WhatsApp o E-mail, siendo necesario hasta 2 o 3 veces en los momentos críticos del suministro, lo cual concuerda con lo mostrado en la Figura 6-04.

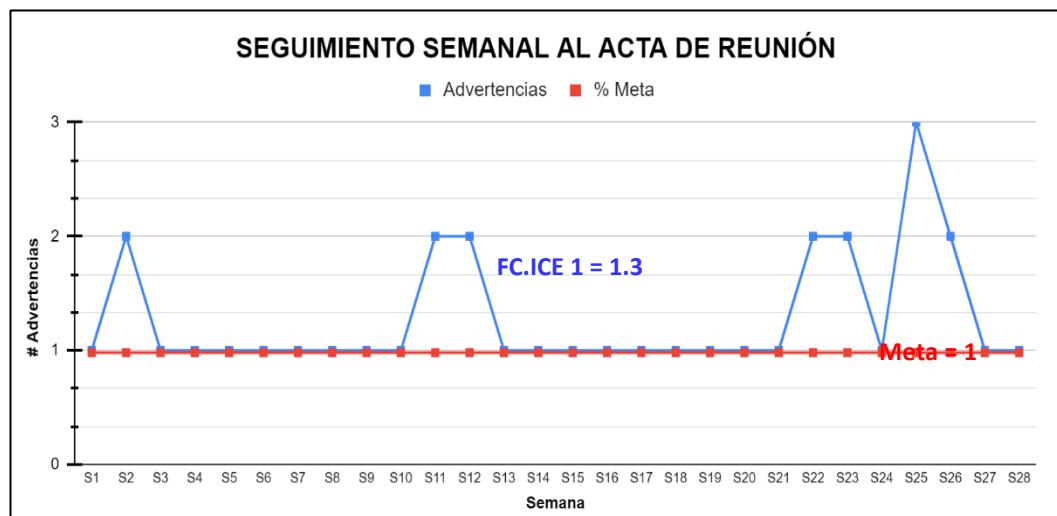


Figura 6-04: Gráfico Seguimiento semanal al Acta de Reunión. Fuente: Elaboración propia

### 6.1.2.2 Programar sesiones ICE semanales con los involucrados

Programar por lo menos 1 sesión ICE semanal es indispensable para tener a los involucrados claves del proyecto disponibles para la rápida toma de decisión. Fue un acuerdo entre los miembros del equipo realizarla los miércoles en la tarde. Previamente, se coordina telefónicamente los temas a tratar y se programaba la sesión vía Google Meets.

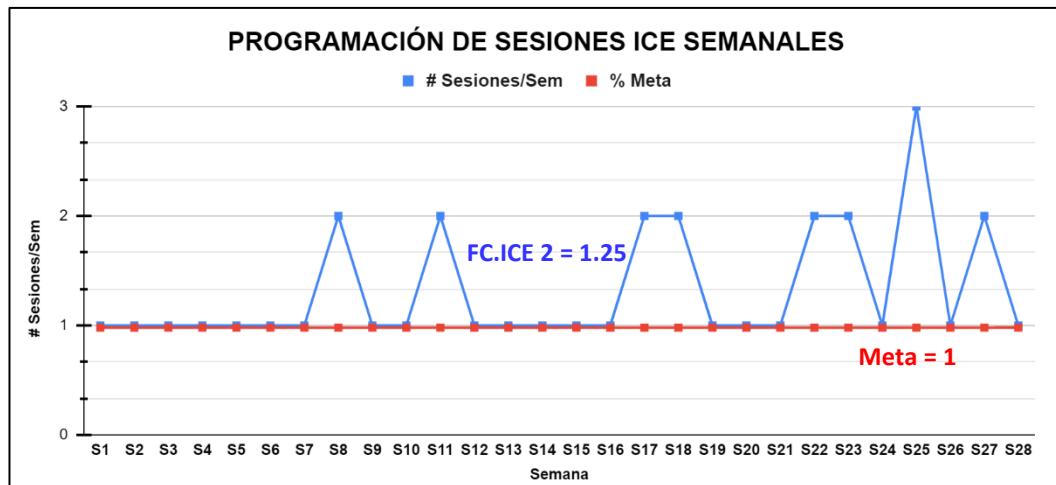


Figura 6-05: Gráfico Sesiones ICE semanales programadas. Fuente: Elaboración propia

Durante las 28 semanas, en algunas fue requerido programar más de 1 sesión debido a la constante reprogramación de fechas y confirmación de producto a utilizar por problemas extraordinarios generados en el proceso como fue una paralización a la Planta de Producción por un tema municipal. La disponibilidad y el conocimiento de la importancia de establecer una sesión ICE fue un factor crucial para asegurar el flujo de trabajo y aprovechar al máximo el tiempo en las sesiones.

## 6.2 COMPONENTE BIM

El componente BIM se caracterizó por el uso del modelo 3D, utilizado para la compatibilización revisión y validación de criterios, así como para el envío a producción, trazabilidad y gestión de información.

### 6.2.1 *Métricas de Producción BIM*

Las métricas de producción BIM asociadas fueron: el envío a producción desde modelo y los criterios constructivos aprobados desde el modelo. La visualización del modelo se dio mediante la plataforma colaborativa Trimble Connect.

## 6.2.1.1 Envío a producción desde modelo

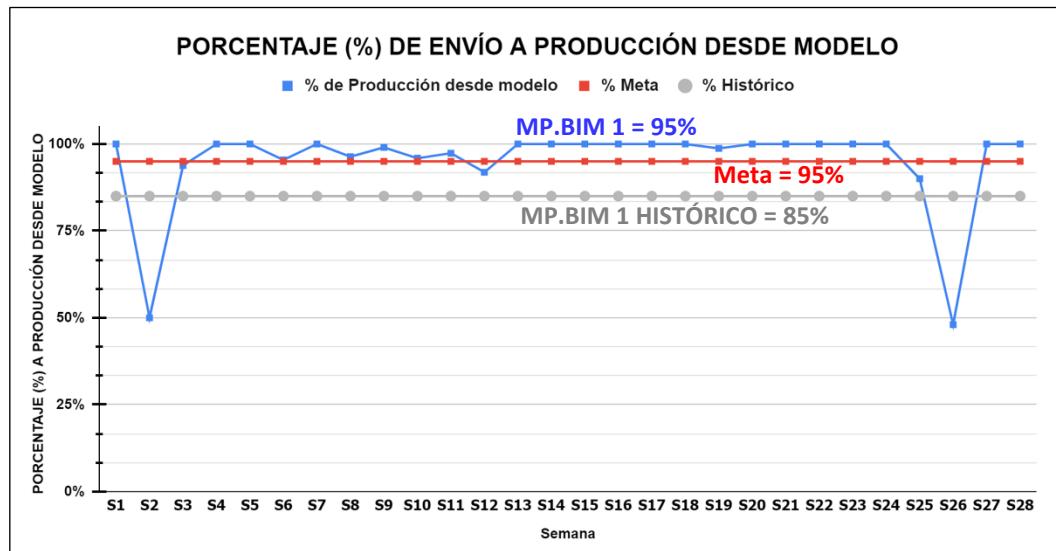


Figura 6-06: Registro de Porcentaje de envío a Producción desde modelo. Fuente: Elaboración propia

Antes de la implementación, el porcentaje de envío a producción desde modelo era de un 85% (valor obtenido de acuerdo a proyectos similares), debido a indefiniciones de ingeniería, posibles cambios de diseño, demora en aprobación, etc. En los primeros meses de la implementación con el cambio de flujo, se obtuvo un promedio por encima del 95%, llegando en el mes 4 y 5 inclusive a un valor del 99% como consecuencia del cambio de push a pull que se realizó al inicio de la coordinación, lo cual proporcionó la demanda real y optimizó los recursos de detallamiento del porcentaje de elementos que se modelan y se envían a producción. En el mes 6, un evento extraordinario (paralización de planta por 4 días) provocó que algunos elementos no puedan ser fabricados por Planta y tengan que ser habilitados en obra, lo cual generó una reducción de elementos a fabricar desde modelo que sin embargo ayudó en la optimización del acero en barras a suministrar y habilitar en obra, manteniendo el foco en el objetivo del proyecto, que es el alinearse al cronograma y dar flujo continuo al avance de obra. El avance en obra se realizó con normalidad, logrando una perfecta transición en las últimas semanas cuando el problema ya estaba solucionado, dejando así lecciones aprendidas para mejorar el flujo en los siguientes proyectos.

### 6.2.1.2 Criterios constructivos aprobados desde modelo

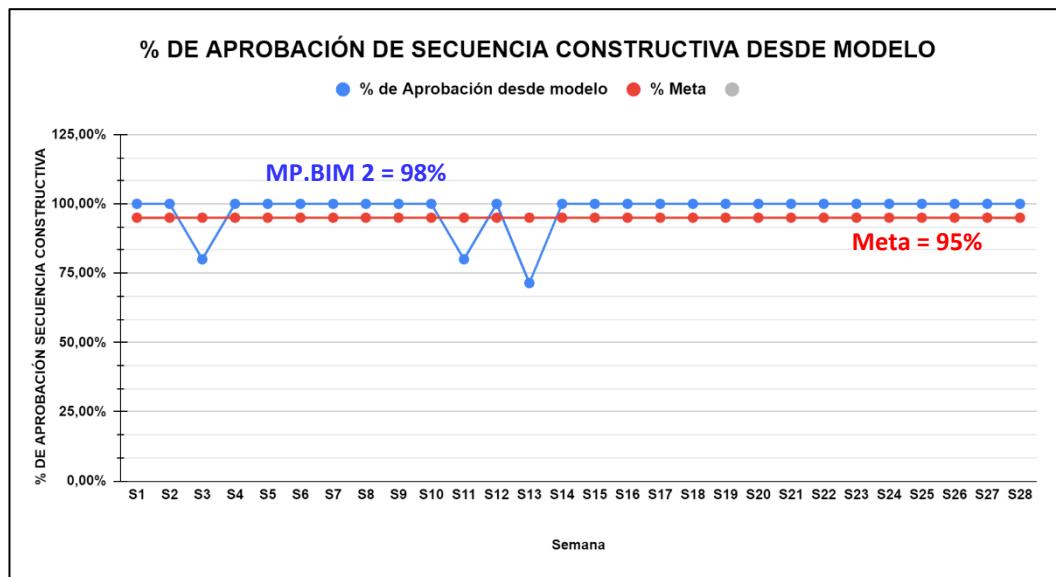


Figura 6-07: Registro de Porcentaje criterios constructivos aprobados desde modelo. Fuente: Elaboración propia

En los proyectos previos a la implementación, el cliente revisaba planos, lo cual generaba que algunas consideraciones no puedan ser revisadas rápidamente. El cambio generado en el proceso debido a la modificación de la aprobación de planos por aprobación de criterios desde modelo favoreció el tiempo de flujo ya que no se convertía en una actividad restrictiva, sino paralela. Al cliente, se le mostró imágenes (previamente generadas) obtenidas desde el modelo/planos en las sesiones ICE, lo cual facilitaba la aprobación del equipo de Producción de Obra y por los miembros de la Oficina Técnica. Se registraron las consideraciones aprobadas y las observadas se modificaron en el modelo antes del envío a producción. En las primeras semanas de registro de la métrica que coincidió con los primeros niveles del sótano se obtuvo un valor del 97% debido a que muchas consideraciones ya habían sido revisadas en la etapa 1, posteriormente al entrar en la etapa de primeros niveles se obtuvo un valor promedio del 94% de consideraciones aprobadas y se tuvieron algunas observaciones puntuales como valores de ganchos, definición exacta del corte de sectorización, uso de estribos adicionales, etc. Posteriormente, al entrar en la etapa de pisos típicos el proceso de aprobación fue inmediato y al 100% debido a la experiencia registrada de los pisos anteriores. Asimismo, debido a la experiencia registrada de la etapa anterior (Torre A) los criterios fueron aprobados rápidamente durante el resto de ejecución del proyecto.

## 6.2.2 Factores Controlables BIM

Los factores controlables BIM fueron: la actualización de información del proyecto en el modelo y la actualización del modelo en el Trimble Connect, necesarios para la revisión periódica y sesiones ICE.

### 6.2.2.1 Actualización de información de proyecto en el modelo

La actualización de información de proyecto en el modelo es utilizada para que el cliente revise la información del proyecto en el modelo. Una vez ya enviado a producción (1-2 semanas antes de la fecha de entrega) se retorna la información al modelo y se actualiza en el Trimble Connect (Fecha entrega, Despacho, Estatus, así como los atributos propios del proyecto) para que el cliente pueda hacer la revisión y seguimiento respectivo. Esta información tiene trazabilidad con todos los documentos enviados del área de comercial, ingeniería, logística asociando los números de despachos.

La actualización de la información en el modelo se realizaba por lo menos 1 vez por semana, siendo necesario 2 o hasta 3 veces en los casos en los que se requería tener mayor cantidad de reuniones y toma de decisiones como observar qué elementos fueron anulados, qué elementos se omitieron, los status reales (aprobado, fabricado, armado, en tránsito), etc.

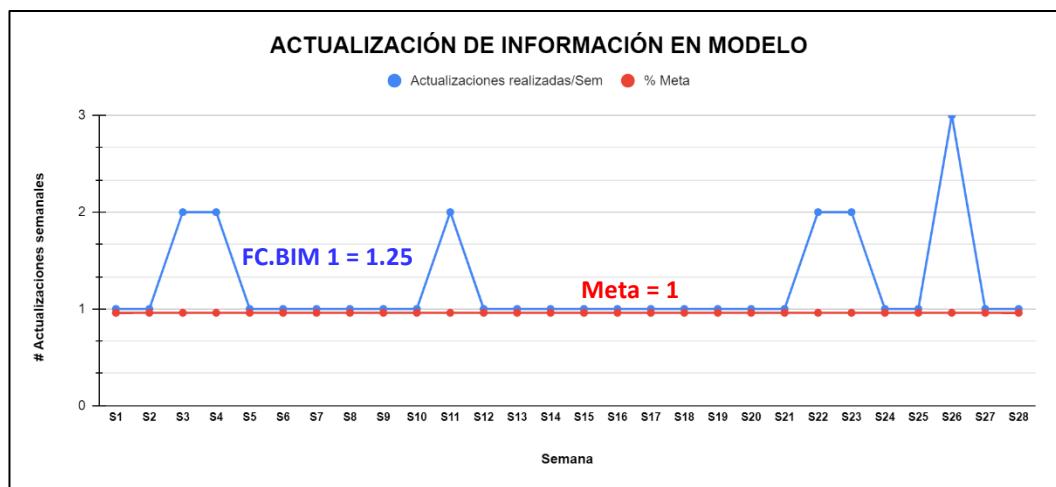


Figura 6-08: Registro de Número de actualizaciones de información en modelo semanal. Fuente: Elaboración propia

### 6.2.2.2 Actualización de modelo en Trimble Connect

El modelo se actualizó 3 veces por semana (interdiario) de acuerdo con el avance del modelado LOD 400. Con la finalidad de que el grupo de instalación e

ingeniería puedan absolver cualquier duda de criterio o puedan revisar cualquier información de recepción del acero con el modelo. Un modelo actualizado permite revisar cualquier información de manera sencilla. (criterios, alcance, dimensiones, RFI's, etc.).

El detallamiento de estructuras está compatibilizado hasta el nivel azotea 3 semanas previas a la última entrega, se actualiza a partir de la última semana únicamente al cambiar algún tipo de producto. Durante los pisos típicos se actualizó también ya que, si bien los techos son típicos, los elementos verticales sí cambian al subir los niveles.

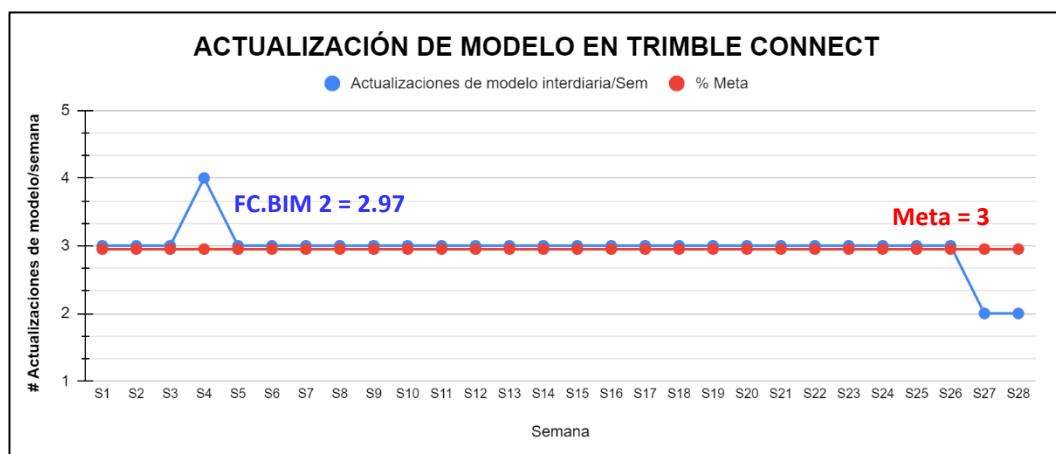


Figura 6-09: Registro de Número de actualizaciones de modelo en Trimble Connect semanal.

Fuente: Elaboración propia

### 6.3 COMPONENTE PPM

El componente PPM del proyecto se caracterizó por el aseguramiento del flujo continuo de actividades, con información constantemente actualizada para facilitar la toma de decisiones y optimizar el proceso mediante la mejora continua.

#### 6.3.1 *Métricas de Producción PPM*

Las métricas de producción PPM empleadas fueron: Cumplimiento de entrega a tiempo, el envío dentro del lead time y las Horas Hombre de retrabajo en campo. Todas ellas asociadas a detectar incumplimientos en el aseguramiento del flujo continuo de trabajo.

### 6.3.1.1 Cumplimiento de Entrega a Tiempo.

Antes de la implementación la entrega se veía afectada por diversos factores que generaban impacto directamente en la planificación de la fabricación sin asegurar la fecha de entrega, llegando a un 85% como valor histórico (según información de Aceros Arequipa para diversos proyectos de edificación multifamiliar).

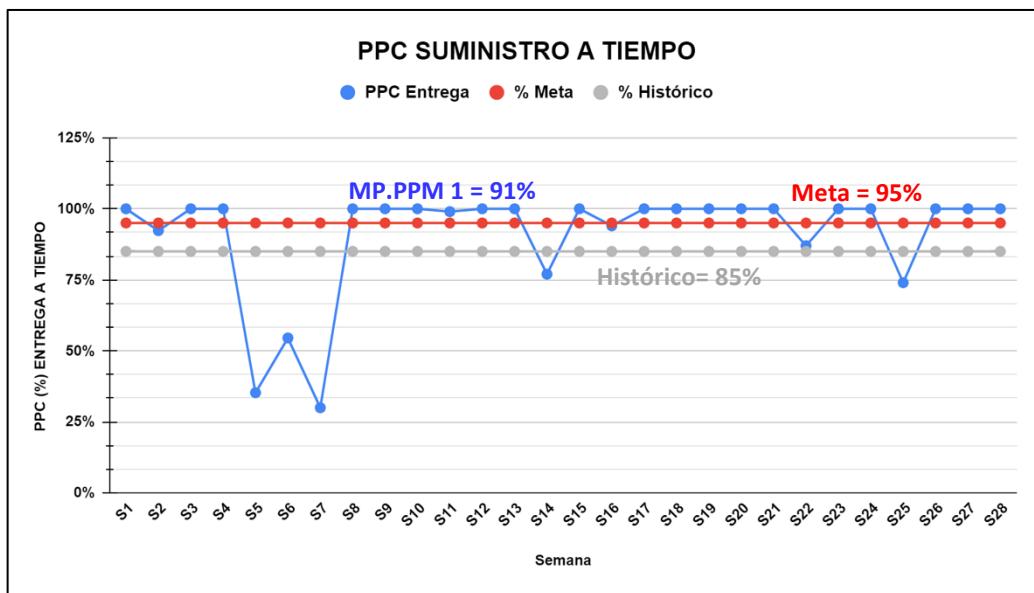


Figura 6-10: Registro de Porcentaje Cumplimiento de Entregas a Tiempo. Fuente: Elaboración propia

Desde la primera semana, se observa un cumplimiento casi cercano al esperado (95%). Posteriormente, en la Semana 5 se produjo un problema respecto al personal de Planta, lo que conllevó a que el proceso de fabricación, carga e inclusive transporte conlleven gran variabilidad sin la posibilidad de asegurar su entrega. Sin embargo, gracias al buffer de inventario empleado por la planta en fabricación adelantada y en la obra por poder almacenar el material 1 o 2 días antes de su instalación permitió dar flujo continuo al tren de actividades sin afectar la ruta crítica del cliente.

La falta de personal en planta debido a la coyuntura del Sars-Cov-2 ocurrida a inicio de la semana 13 se superó y se pudo restablecer el servicio con normalidad. Sin embargo, a finales de la semana 24 ocurrió un evento extraordinario en Planta, lo cual no permitió su funcionamiento e impactó en el suministro de acero dimensionado y prearmado de todas las obras. Dada la alta incertidumbre y acumulación de carga de varias obras, se optó con el cliente la

opción de habilitar algunos elementos en obra para no depender al 100% de la producción en Planta y al restablecerse el servicio reutilizar el material en el siguiente nivel (dada la posibilidad) apoyándose de información en tiempo de real con la finalidad de tomar decisión a diario. Asimismo, ya que el uso de prearmados permite el avance de elementos verticales a 2 niveles, esta consideración también aportó beneficios respecto a la criticidad de entrega de material de forma semanal.

Algunas entregas se vieron afectadas, e incluso otras fueron anuladas, pero se negociaron las fechas con el cliente sin alterar su producción semanal o reducir al mínimo el impacto de un posible atraso. Si bien el objetivo planteado inicialmente del 95% no se cumplió y se llegó al 91% en promedio, este valor representa un valor superior al 85% histórico en condiciones normales (sin eventos extraordinarios). La comunicación y coordinación en las sesiones ICE fueron clave para tomar decisiones acertadas.

#### 6.3.1.2 Envío dentro del Lead Time

Antes de la implementación, alrededor del 60% de despachos se cargaban al sistema de fabricación fuera del lead time solicitado por la Planta de Producción (mínimo 7 días antes de la fecha de entrega), lo cual se reflejaba en demoras, constante replanificación e incertidumbre en el cumplimiento de la entrega. Las principales causas fueron expuestas anteriormente. Durante la implementación, la meta ambiciosa fue de 95%.

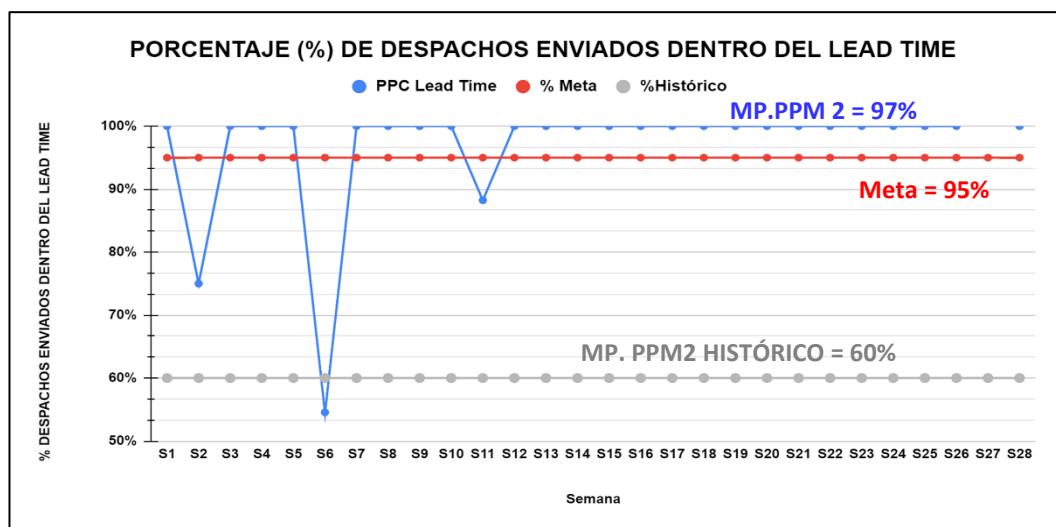


Figura 6-11: Registro de Porcentaje de despachos enviados dentro del lead time de producción.

Fuente: Elaboración propia

En los primeros meses de implementación, se obtuvo un promedio de 93% y 88%, debido principalmente a plazos estimados coordinados que se vieron afectados por respuestas a RFI's, que requerían intervención del proyectista y demoraban entre 4-5 días hábiles para tener respuesta y que se había considerado inicialmente 3 días. Luego de aprendida la lección, y analizar la causa raíz del problema, se modificó el tiempo de espera asignado para la respuesta a RFI's y se estandarizó el tiempo a 5 días de espera de respuesta a RFI como parte del flujo de trabajo. En los siguientes meses, se obtuvo un promedio cercano al 100%, logrando de esta manera asegurar los plazos requeridos por Planta Pisco y asegurar que los despachos cumplan su flujo regular. La variabilidad e incertidumbre producida por el envío tardío se redujo asegurando esta métrica.

#### 6.3.1.3 *Horas Hombre de Retrabajos en obra*

Una métrica que evalúa la percepción del Cliente de los trabajos realizados por la subcontrata son los tiempos de retrabajos. Esta métrica se empezó a implementar a partir del 3er mes de la implementación. Teniendo en los primeros meses un promedio de 5 HH retrabajo por semana (Lo cual se asemeja a las 4HH de valor histórico para proyectos similares), generados principalmente por consideraciones constructivas modificadas en campo, reordenamiento de material en camiones, errores de detallamiento o de armado. Luego de analizadas las causas del primer mes, para los meses siguientes se determinaron mejoras como: ordenar el material según orden de descarga, mejorar la revisión con controles de calidad de modelado, y la colocación de detalles claros y con mayor precisión en los planos de armado. De esta manera los retrabajos en obra se redujeron a un promedio de 0.4HH/semana lo cual benefició la percepción ante el cliente constructor para tener la prioridad de continuidad en la siguiente etapa.

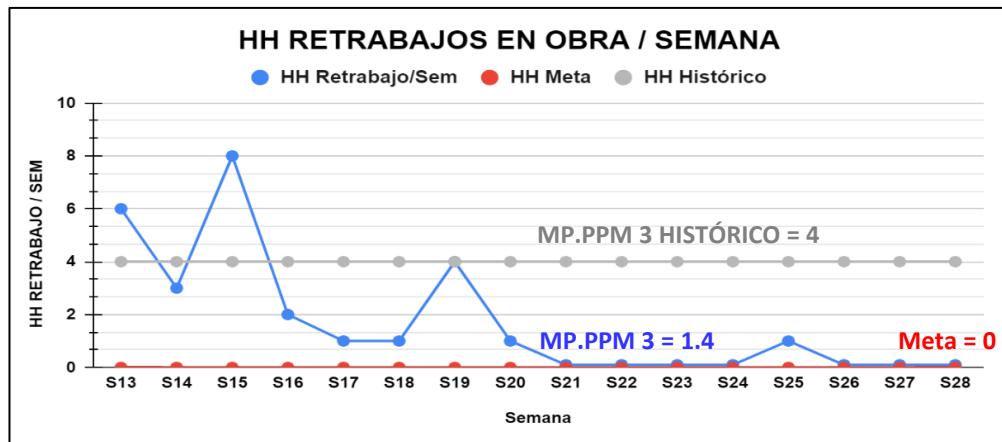


Figura 6-12: Registro de Horas Hombre de retrabajo en obra por semana. Fuente: Elaboración propia

### 6.3.2 Factores Controlables PPM

Los factores controlables están orientados a la transparencia de información del flujo para facilitar la toma de decisiones y lograr la mejora continua.

#### 6.3.2.1 Envío de reportes semanales de cumplimiento

Se entregan reportes semanales indicando el avance del proyecto con la interpretación de la información y resultados. De tal manera que, el cliente esté al tanto de la información del proyecto, los indicadores y pueda estar informado de las causas de No cumplimiento.

Es importante generar confianza al cliente indicando el involucramiento en las métricas de cumplimiento del proveedor como el de los miembros del equipo de obra. La buena disposición del cliente permite dar rápida solución a los problemas tratados en las sesiones ICE.

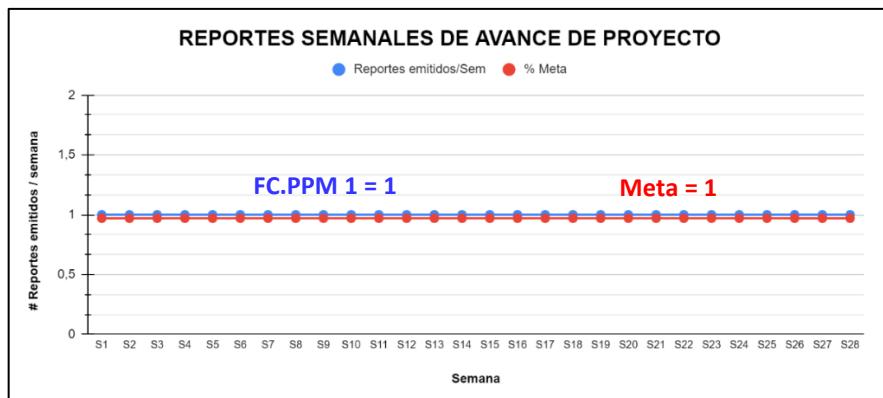


Figura 6-13: Registro de Número de reportes de avance de proyecto enviados por semana. Fuente: Elaboración propia

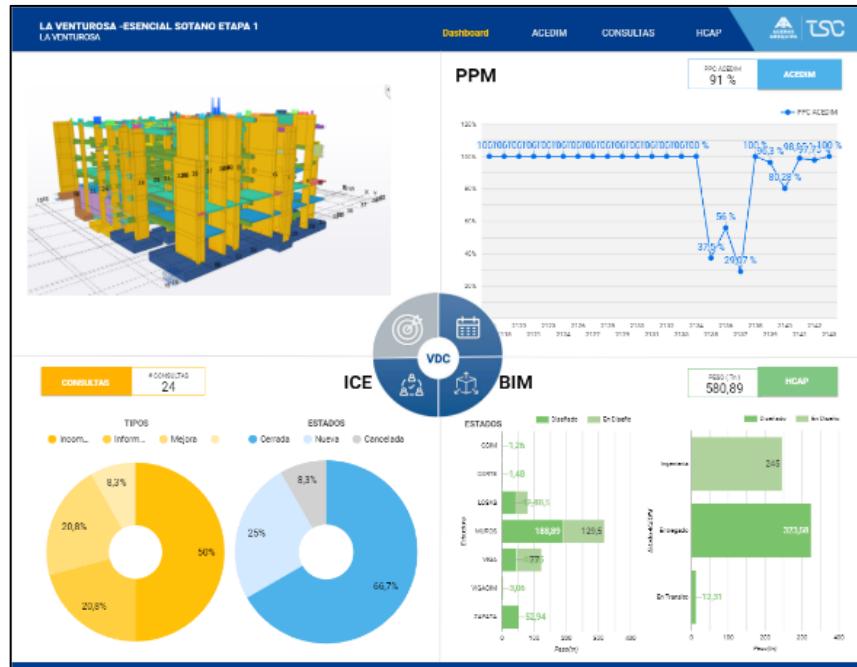


Figura 6-14: Vista de Reporte semanal para etapa 2 del proyecto en ejecución, elaborado en Google Data Studio. Fuente: Elaboración propia

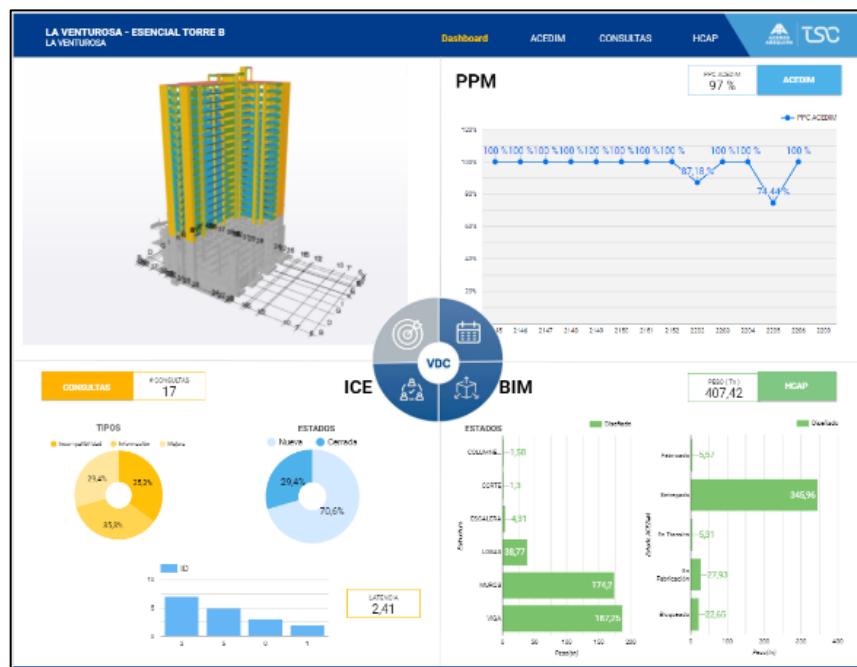


Figura 6-15: Vista de Reporte semanal para etapa 3 del proyecto en ejecución, elaborado en Google Data Studio. Fuente: Elaboración propia

Para el proyecto, todas las semanas se enviaba el reporte actualizado, el mismo al cual todos los miembros del proyecto tenían acceso en cualquier momento desde cualquier dispositivo. Estos reportes fueron generados en Google Data Studio.

### 6.3.2.2 Actualización de información en línea

La información del proyecto, en tablas dinámicas en línea (Google Data Studio) se actualizaban diariamente para que el cliente pueda revisar los elementos por recibir, realizar el seguimiento respectivo y hacer su control de calidad. Con esta información, puede decidir también balancear el peso de suministro y programar el uso de la Torre grúa para la descarga, así como determinar el uso de vías debido a la gran cantidad de proveedores que suministran material (prelosas, albañilería, etc.).

El cliente utiliza, revisa y confía en la información que se muestra. Automatizar la información a mostrar en estos reportes disminuye el tiempo de coordinación que existía por consultas referentes al estatus de los despachos.

Asimismo, durante el proceso se vieron alternativas de mayor valor para mostrar la información disponible y sea de provecho al Cliente Constructor, como fue el Envío de Plano de Recepción Despachos (Ver Anexo 04), con la finalidad de que el cliente visualmente sepa de forma rápida qué despachos le llegan por sector y pueda realizar una rápida verificación de los elementos entregados.

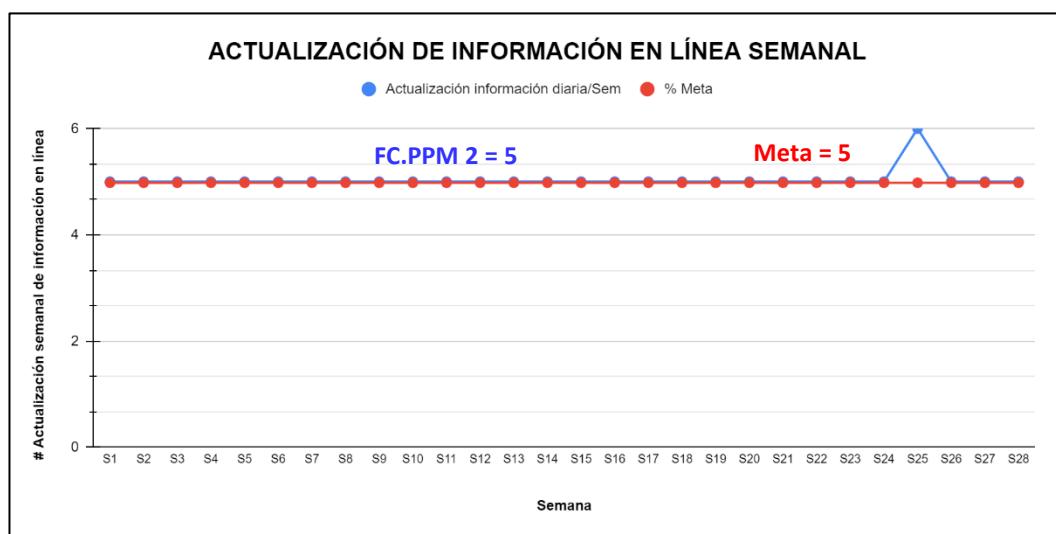


Figura 6-16: Registro de Número de actualizaciones de información en línea por semana. Fuente: Elaboración propia

De esta manera, interpretaron los resultados y se determinó el impacto en cada una de las métricas de producción y factores controlables luego de la implementación de la metodología de gestión de proyectos VDC en el suministro de un proyecto de edificación. Las cuales generaron conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones.

## 6.4 REDUCCIÓN DE VARIABILIDAD

Similar al Capítulo 3.2 DIAGNÓSTICO FUENTES DE VARIABILIDAD, se encuestó a los mismos 8 expertos sobre la FRECUENCIA e IMPACTO de las fuentes de variabilidad, explicando el flujo optimizado con la metodología VDC.

Tabla 6-01: Resultados 2da ronda de la encuesta-post implementación. Fuentes de Variabilidad – Frecuencia. Fuente: Elaboración propia

CÓDIGO	EXP 1	EXP 2	EXP 3	EXP 4	EXP 5	EXP 6	EXP 7	EXP 8	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	RANKING BASADO EN PROMEDIO
CL1	3	3	3	3	2	3	3	3	2.9	0.35	1
CL2	2	3	3	3	2	3	3	3	2.8	0.46	2
CL3	2	1	2	2	2	1	2	2	1.8	0.46	14
CL4	2	2	2	1	2	2	2	2	1.9	0.35	9
CL5	2	2	2	2	2	2	1	2	1.9	0.35	9
CL6	2	2	3	2	3	3	2	3	2.5	0.53	3
CL7	2	2	2	2	1	2	1	3	1.9	0.64	9
PL1	2	2	3	2	2	2	2	3	2.3	0.46	6
PL2	3	3	2	2	2	2	2	3	2.4	0.52	5
ID1	1	2	2	2	2	2	1	3	1.9	0.64	9
ID2	2	2	3	2	3	3	2	3	2.5	0.53	3
G1	2	2	2	2	2	3	2	3	2.3	0.46	6
G2	2	2	1	2	2	2	2	2	1.9	0.35	9
G3	3	2	3	2	2	2	2	2	2.3	0.46	6
									DESV.=<1		

Tabla 6-02: Resultados 2da ronda de la encuesta-post implementación. Fuentes de Variabilidad – Impacto. Fuente: Elaboración propia

CÓDIGO	EXP 1	EXP 2	EXP 3	EXP 4	EXP 5	EXP 6	EXP 7	EXP 8	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	RANKING BASADO EN PROMEDIO
CL1	3	2	3	2	1	2	2	3	2.3	0.71	10
CL2	1	2	1	2	1	2	1	2	1.5	0.53	13
CL3	3	2	2	2	3	2	3	3	2.5	0.53	7
CL4	3	2	2	3	2	2	3	4	2.6	0.74	6
CL5	1	1	1	1	1	2	1	2	1.3	0.46	14
CL6	3	4	3	3	3	3	3	4	3.3	0.46	1
CL7	3	2	2	3	3	2	2	2	2.4	0.52	8
PL1	3	3	3	4	2	3	2	3	2.9	0.64	4
PL2	2	1	2	2	1	2	2	1	1.6	0.52	12
ID1	3	2	3	3	2	3	3	4	2.9	0.64	4
ID2	4	3	3	3	3	3	3	3	3.1	0.35	3
G1	2	2	2	2	1	2	2	2	1.9	0.35	11
G2	3	2	3	2	2	2	2	3	2.4	0.52	8
G3	3	3	3	4	3	3	3	4	3.3	0.46	1
									DESV.=<1		

De acuerdo a los resultados, se verificó el valor Alfa de Cronbach, que indica la confiabilidad de nuestros datos. Para este caso, el valor alfa fue: 0.72 y 0.76 respectivamente, lo cual según la literatura significa: Aceptable (Schrepp, 2020). Además, la desviación estándar de cada resultado es menor a 1, con lo cual se observa que se llega a un consenso entre los encuestados.

De acuerdo a la matriz de probabilidad e impacto de los riesgos de la tabla 3-06 y con la probabilidad e impacto de las tablas 6-01 y 6-02 luego de ordenarla y clasificarla resulta de la siguiente manera (Ver tabla 6-03):

Tabla 6-03: Resultados Matriz de Riesgo - Probabilidad e Impacto – Post Implementación. Fuente:

Elaboración propia

ID	FRECUENCIA	PROBABILIDAD	RIESGO	RANKING SEGÚN RIESGOS
CL1	2.9	2.3	6.5	4
CL2	2.8	1.5	4.1	12
CL3	1.8	2.5	4.4	10
CL4	1.9	2.6	4.9	7
CL5	1.9	1.3	2.3	14
CL6	2.5	3.3	8.1	1
CL7	1.9	2.4	4.5	8
PL1	2.3	2.9	6.5	4
PL2	2.4	1.6	3.9	13
ID1	1.9	2.9	5.4	6
ID2	2.5	3.1	7.8	2
G1	2.3	1.9	4.2	11
G2	1.9	2.4	4.5	8
G3	2.3	3.3	7.3	3

Realizando una comparación entre los resultados iniciales previos a la implementación de la metodología VDC y los resultados obtenidos asociados al flujo de trabajo optimizado se observa una clara reducción para cada una de las fuentes identificadas (Ver tabla 6-04):

Tabla 6-04: Comparativo Matriz de Riesgo - Probabilidad e Impacto – Pre y Post Implementación.

Fuente: Elaboración propia

ID	ID	RIESGO ANTES DE VDC	RANKING SEGÚN RIESGO	RIESGO DESPUÉS DE VDC	RANKING SEGÚN RIESGO	DELTA DE RIESGO
CL6	[(CL6) Problemas comerciales (Línea insuficiente, facturas vencidas, etc.)]	20.2	1	8.1	1	-60%
CL1	[(CL1) Cambio de diseño]	14.5	2	6.5	4	-55%
CL2	[(CL2) Demora en respuesta/revisión]	13.6	3	4.1	12	-70%
ID2	[(ID2) Errores de detallamiento (Reprocesos, Experiencia, Criterios)]	12.4	4	7.8	2	-37%
CL3	[(CL3) Información faltante/desactualizada]	11.3	5	4.4	10	-61%
G3	[(G3) Incumplimiento de compromisos]	10.9	6	7.3	3	-33%
PL1	[(PL1) Problemas en Planta (Proyección, Inform. faltante, Postergaciones)]	10.8	7	6.5	4	-40%
ID1	[(ID1) Errores de Fabricación / Armado]	10.3	8	5.4	6	-48%
CL4	[(CL4) Cambio de prioridades o atraso del cliente (Deficiente Planificación, Falta de Espacio)]	10.1	9	4.9	7	-51%
CL7	[(CL7) Espacio en Obra]	7.9	10	4.5	8	-44%
CL5	[(CL5) Bajo entendimiento del flujo de trabajo]	7.5	11	2.3	14	-69%
G1	[(G1) Cambio de equipo de proyecto]	7.2	12	4.2	11	-41%
PL2	[(PL2) Lejanía de Planta Producción]	6.6	13	3.9	13	-41%
G2	[(G2) Deficiente canal de comunicación y gestión de información]	6.5	14	4.5	8	-32%

De donde se observa que luego de la modificación del flujo de trabajo, todas las fuentes de variabilidad redujeron su nivel de Riesgo. Asimismo, ninguna de ellas se califica con Riesgo Alto, solo seis de ellas poseen Riesgo Moderado y más de la mitad (ocho de ellas) posee un Riesgo Bajo.

## CONCLUSIONES

La implementación de metodología de Gestión de Proyectos VDC, permite reducir la variabilidad en el suministro de acero dimensionado en la etapa de ejecución de un proyecto de edificación multifamiliar. Logrando alcanzar los objetivos del proyecto asegurando el suministro del 91% de acero dimensionado a tiempo.

Las principales fuentes de variabilidad diagnosticadas por los expertos en el suministro de acero dimensionado en un proyecto de edificación familiar fueron: Problemas comerciales, cambios de diseño, demoras en respuestas/revisiones y errores asociados al detallamiento. Asimismo, se concluyó que todas las fuentes detectadas tienen un nivel moderado de riesgo en el flujo de suministro de acero dimensionado.

La elección de las métricas de producción adecuadas permite medir los indicadores claves del avance y estatus del cumplimiento de objetivos del proyecto (como el cumplimiento de la entrega o del lead time). Asimismo, es importante analizar la causa de su bajo valor para corregir el flujo y mejorar, o de su valor favorable para analizar qué acciones seguir realizando. De esta manera se pueden tomar decisiones sobre los diferentes componentes ICE, BIM, PPM que favorezcan el objetivo del proyecto.

La implementación del componente ICE del VDC generó mayor involucramiento y confianza logrando un 100% de asistencia a las sesiones de coordinación y el cumplimiento de actas de compromiso a un 90% entre los miembros del equipo del proyecto, logrando que las coordinaciones sean fluidas, se anticipen los problemas y los compromisos se cumplan. A pesar de las condiciones generadas por la pandemia, la virtualidad no fue impedimento para la correcta realización.

La implementación del componente BIM del VDC generó mayor transparencia y confianza en la información de los elementos a suministrar e instalar, ya que el modelo estaba conectado con toda la cadena de producción y contenía la información trazable, logrando una rápida búsqueda y revisión de los mismos. Se obtuvo un 95% de elementos fabricados desde el modelo y un 98% de criterios validados desde el modelo, lo cual redujo los retrabajos y optimizó el flujo de trabajo.

La implementación del componente PPM del VDC generó un flujo continuo del proyecto con la minimización de inventarios, anticipando restricciones, eliminando los cuello de botella y aplicando los buffers necesarios correctamente. La filosofía Lean como base de los pilares de los miembros del equipo del proyecto, mediante la aplicación de sus herramientas favoreció la implementación de los tres componentes ICE, BIM y PPM, siendo entre los más usados el Last Planner para levantar restricciones, Value Stream Mapping para analizar el flujo, la Gestión Visual para facilitar la revisión y control de calidad, así como el Just in Time para reducir los inventarios.

El uso de buffers correctos de capacidad, tiempo y recursos son claves para mejorar el flujo de trabajo, volverlo continuo, eliminando los desperdicios y reduciendo los inventarios en el suministro de un proyecto de edificación multifamiliar.

Todas las fuentes de variabilidad redujeron su nivel de riesgo para el proceso de atención de acero dimensionado. Resultando que ninguna tiene Riesgo Alto y más del 50% tiene Riesgo Bajo.

Además, también se pudo observar algunas conclusiones derivadas luego de la implementación:

El apoyo de la gerencia en la decisión de implementación e involucramiento inicial del equipo es clave para el éxito del proyecto. Luego de las primeras semanas, el equipo comienza a ver los beneficios y se compromete de manera autónoma sin generar obligación, sino convicción.

Algunas fuentes de variabilidad como una paralización total de planta son eventos extraordinarios que conllevan gran inversión de recursos abordar con un buffer y conllevan una solución a nivel gerencial o corporativo. Sin embargo, se pudo minimizar su impacto negativo priorizando el objetivo del proyecto mediante la metodología VDC.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda en una posterior investigación realizar un estudio cuantitativo de las fuentes de variabilidad en diferentes proyectos para hacer más visibles los impactos de los resultados.

Se recomienda realizar la aplicación de la metodología de Gestión de Proyectos VDC en distinto tipo de obra de edificación multifamiliar independientemente de la complejidad de la obra de edificación multifamiliar y en más de uno.

Se recomienda realizar la implementación de la metodología de Gestión de Proyectos VDC en otro tipo de obra de infraestructura para obtener conclusiones generales.

Se recomienda aplicar la metodología de Gestión de Proyectos VDC con distintos tipos de proveedores para generar una mayor mejora en la ejecución de los proyectos de construcción.

Se recomienda realizar un estudio sobre la influencia del nivel de madurez de la metodología BIM y filosofía Lean de la Empresa constructora, en la correcta aplicación de la metodología de Gestión de Proyectos VDC.

Se recomienda incluir los Key Behavior Indicators (Indicadores Clave de Conducta) en una futura implementación adicionalmente a los Key Performance Indicators (Indicadores Claves de Producción) para cuantificar las habilidades colaborativas de los participantes del proyecto en la implementación de la metodología VDC.

Se recomienda integrar la metodología de Gestión de Proyectos VDC en fases previas a la ejecución de la obra para maximizar los beneficios e integrar a la fase de diseño en el proceso global.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceros Arequipa. (2022). *Definición de Acero Dimensionado – ACEDIM*. Aceros Arequipa. <https://www.construyendoseguro.com/que-es-el-acero-dimensionado-y-por-que-es-la-mejor-solucion-en-industrializar-la-obra/>
- AIA (American Institute of Architects). (2013). Project building information modeling protocol form. *AIA Document G202-2013*.
- Alarcon, L. F., & Ashley, D. B. (1999). Playing Games: Evaluating the Impact of Lean Production Strategies on Project Cost and Schedule. *Proc. 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 263–274. <https://iglc.net/Papers/Details/60>
- Alcantara, P. (2013). *Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basa en la construcción virtual usando tecnologías BIM* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Araya, F., & Vasquez, S. (2022). Challenges, drivers, and benefits to integrated infrastructure management of water, wastewater, stormwater and transportation systems. *Sustainable Cities and Society*, 82, 103913. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103913>
- Ballard, G. (1999). Can Pull techniques be used in Design Management? In M. Hannus, M. Salonen, & A. S. Kazi (Eds.), *Conference on Concurrent Engineering in Construction Challenges for the new millennium* (pp. 149–160). International Council for Research and Innovation in Building and Construction.
- Belsvik, M. R., Lædre, O., & Hjelseth, E. (2019). Metrics in VDC Projects. *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, 1129–1140. <https://doi.org/10.24928/2019/0167>
- BIM Forum (2020). *Level of Development (LOD) Specification Part I*. <https://bimforum.org/resource/lod-level-of-development-lod-specification/>
- Buchtik, L. (2019). *Secretos para Dominar la Gestión de Riesgos en Proyectos* (4<sup>ta</sup> ed.). Buchtik Global.
- Celis, L. y Huamán, C. (2020). Virtual Design and Construction y la mejora de la gestión en proyectos de edificaciones [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional Universidad Ricardo Palma. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/3837>

- Chingay, A. (2015). *Diseño y construcción virtual (VDC) para superar problemas de ingeniería en la fase de construcción de edificaciones de oficinas* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Corrales, J. y Sarabia, R. (2020). *Implementación del VDC (Virtual Design and Construction) en la etapa de planeamiento del proyecto Aloft, para minimizar la cantidad de Solicitudes de Información (SI) y No Conformidades (NC), en la etapa de ejecución* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)]. Repositorio Académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/625136>
- Diccionario de ingeniería (2012). *Solicitud de Información*. Diccionario de Ingeniería. <http://diccionarioingenieria.blogspot.pe/2012/05/8-request-for-information-rfi.html>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks R. & Liston K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors (2<sup>nd</sup> edition)*. Wiley.
- Erazo, A. (2021). *Gestión de Personas para reducir la incertidumbre en la planificación y ejecución de un proyecto de infraestructura deportiva* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Fischer, M., Ashcraft, H., Khanzode, A. & Reed, D. (2017). *Integrating Project Delivery (1<sup>st</sup> edition)*. Wiley.
- González, V., y Alarcón, L. F. (2003). Buffers de Programación: una estrategia complementaria para reducir la variabilidad en los procesos de construcción. *Revista ingeniería de Construcción*, 18(2), 109-119.
- Horman, M. J. (2000). *Process Dynamics: Buffer Management in Building Project Operations* [Doctoral Thesis]. The University of Melbourne, Australia.
- Kalsaas, B., Skaar, J. & Thorstensen, R. (2015) Pull vs Push in Construction work informed by Last Planner. In O. Seppänen, V. A. González, & P. Arroyo (Eds.), *Proc. 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, 103–112. <http://iglc.net/Papers/Details/1217/pdf>
- Khanzode, A., Fischer, M., Reed, D. & Ballard, G. (2006) *A guide to Applying the Principles of Virtual Design and Construction (VDC) to the Lean Project Delivery Process*. <https://stacks.stanford.edu/file/druid:bc980bz5582/WP093.pdf>

- Kim, J., Yi, C. & Lu, M. (2019). *Integrated optimization of rebar detailing design and installation planning for waste reduction and productivity improvement*. *Automation in Construction* 101 (2019), (pp. 32–47). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.012>
- Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction* [Doctoral thesis]. University of Huddersfield, West Yorkshire, England.
- Kunz, J. & Fischer, M. (2012). *Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions*. [https://stacks.stanford.edu/file/druid:qg301vb3551/WP097\\_0.pdf](https://stacks.stanford.edu/file/druid:qg301vb3551/WP097_0.pdf)
- Lezama, L. (2019). *Influencia de la Ingeniería de Detalle en la Programación de la Etapa de Estructuras de un Proyecto de Edificación* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de tesis PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/14465>
- Lledó, E. (2020). *Avance de la industria de la construcción a través de Virtual Design and Construction* [Tesis de maestría]. Universidad de Alicante, España.
- Ministerio de Economía y Finanzas (2021). *Guía Nacional BIM, Gestión de la información para inversiones desarrolladas con BIM*. [https://www.mef.gob.pe/planbimperu/docs/recursos/guia\\_nacional\\_BIM.pdf](https://www.mef.gob.pe/planbimperu/docs/recursos/guia_nacional_BIM.pdf)
- Padilla, N. y Quispe, K. (2017). *Implementación de la metodología Virtual Design & Construction - VDC en las etapas de Diseño y Construcción para reducir el plazo en proyectos de edificaciones en el Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)]. Repositorio Académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/625136>
- Project Production Institute (2022). *Glosary.[Glosario]*. Project Production Management. <https://projectproduction.org/resources/glossary/>
- Rischmoller, L., Reed, D., Khanzode, A. & Fischer, M. (2018). Integration Enabled by Virtual Design and Construction as a Lean Implementation Strategy. *Proc. 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, 240–249. <https://doi.org/10.24928/2018/0521>
- SiderPerú (2022). *Definición de Fierro Habilitado – FEHAB*. SiderPerú. <https://www.siderperu.com.pe/servicios/fierro-habilitado>

- Thomas, H. R., Horman, M. J., De Souza, U. E. L., & Zavřski, I. (2002). Reducing variability to improve performance as a lean construction principle. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(2), 144-154. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2002\)128:2\(144\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:2(144))
- Valle, E. (2015). *Modelamiento virtual de la construcción del casco estructural del CIIIFC UNI mediante el programa Tekla*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Zheng, C., Liu, J. & Guimire, P. (2019). The categorization of Virtual Design and Construction Services. *The 2019 International Council for Research and Innovation in Building and Construction*. <https://www.researchgate.net/publication/339426755>

## ANEXOS

Anexo 01: Formato de acta de reunión .....	142
Anexo 02: Formato de liberación elementos prearmados .....	143
Anexo 03: Hoja de cálculo de planilla de envío a producción.....	144
Anexo 04: Plano de recepción de acero dimensionado para vigas .....	145
Anexo 05: Encuesta realizada a expertos.....	146
Anexo 06: Avance de ejecución de etapa 2 y 3 de Condominio Esencial .....	150

## ANEXO 01: FORMATO DE ACTA DE REUNIÓN

TSC innovation - ACTA DE REUNIÓN				
<b>(MOTIVO)</b>				
FECHA		H. INICIO		0:00
H. FIN				
<b>ASISTENCIA</b>				
1 A.				<input type="checkbox"/>
2 B.				<input type="checkbox"/>
3 C.				<input type="checkbox"/>
4 D.				<input type="checkbox"/>
5 E.				<input type="checkbox"/>
6 F.				<input type="checkbox"/>
<b>AGENDA</b>				
1 A.		CUMPLIMIENTO	0%	<input type="checkbox"/>
2 B.				<input type="checkbox"/>
3 C.				<input type="checkbox"/>
4 D.				<input type="checkbox"/>
5 E.				<input type="checkbox"/>
<b>COMPROMISOS</b>				
1 A.	RESPONSABLE	F.COMPROMISO	OnTime	OutOfTime
2 B.			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 C.			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 D.			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 E.			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 7-01: Formato de acta de reunión. Fuente: TSC innovation

ANEXO 02: FORMATO DE LIBERACIÓN ELEMENTOS PREARMADOS

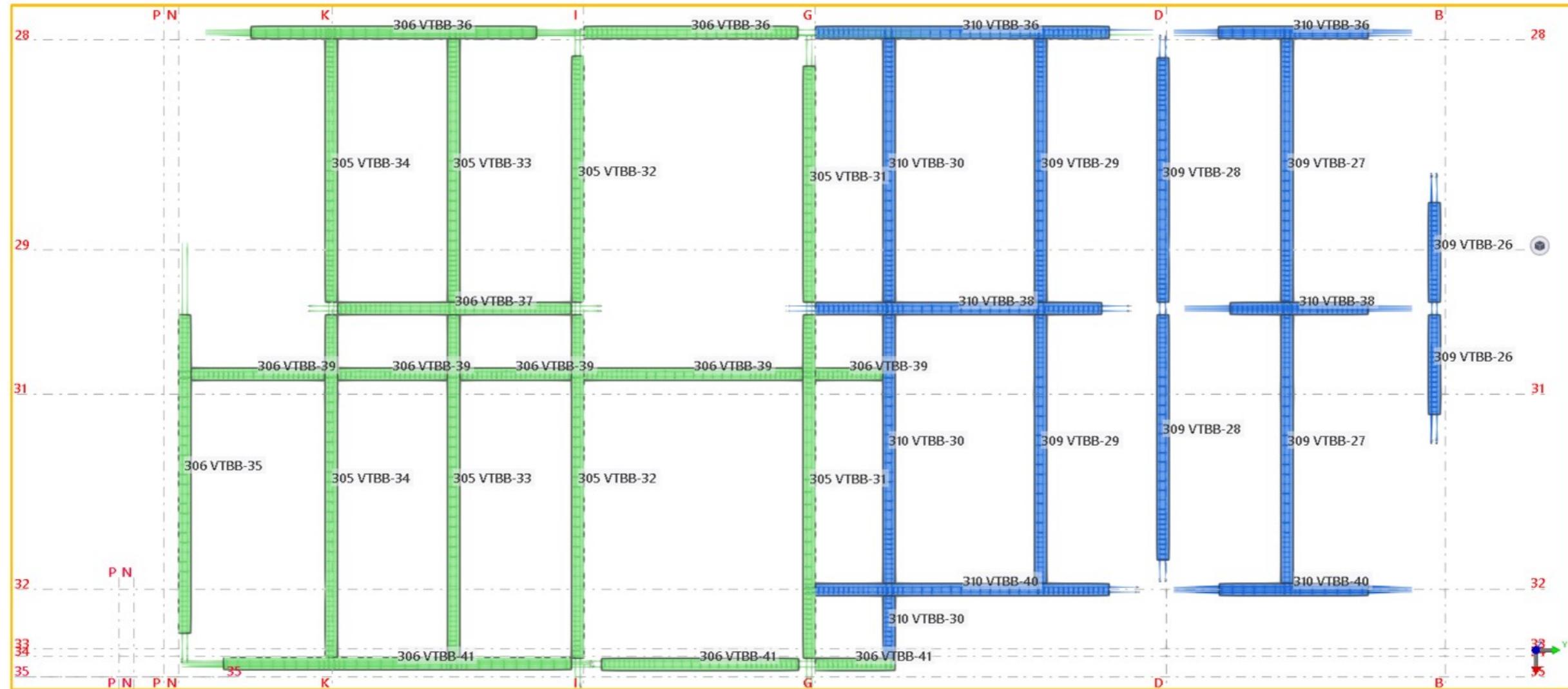
 <b>ACEDIM</b> <b>ACEROS AREQUIPA</b>	<b>PREARMADO DE ACERO CORRUGADO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>																																																																																																	
<b>1. DATOS GENERALES</b>																																																																																																		
OBRA: TIPO: SECTOR: ELEMENTO:				FECHA:																																																																																														
<b>2. DIMENSIONES</b>																																																																																																		
DIAMETRO USADO	6mm	8mm	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	1"	1 3/8"																																																																																										
<b>3. IMAGEN</b>																																																																																																		
																																																																																																		
<b>4. CONTROL DE CALIDAD</b>																																																																																																		
ITEM 1	DESPACHO	<b>VERIFICACIÓN</b>																																																																																																
		A B C D E F G H I																																																																																																
		C=CONFORME NC= NO CONFORME NA= NO APLICA																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">PUNTO DE CONTROL</th> <th colspan="8" style="text-align: center;">SOLICITUD PARTICULAR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">A DIAMETRO DE VARILLAS</td> <td colspan="8"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">B LONGITUD DE TRASLAPE / UBICACIÓN DE BARRAS</td> <td colspan="8"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">C LONGITUD DE GANCHOS</td> <td colspan="8"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">D ESPACIAMIENTO ENTRE BARRAS VERTICALES</td> <td colspan="8"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E ESPACIAMIENTO EN ESTRIPOS</td> <td colspan="8"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F VERIFICACIÓN DE SOLDADURA</td> <td colspan="8"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">G AMARRE DE ALAMBRE</td> <td colspan="8"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">H RIGIDEZ DEL ELEMENTO</td> <td colspan="8"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">I</td> <td colspan="8"></td> </tr> </tbody> </table>									PUNTO DE CONTROL	SOLICITUD PARTICULAR								A DIAMETRO DE VARILLAS									B LONGITUD DE TRASLAPE / UBICACIÓN DE BARRAS									C LONGITUD DE GANCHOS									D ESPACIAMIENTO ENTRE BARRAS VERTICALES									E ESPACIAMIENTO EN ESTRIPOS									F VERIFICACIÓN DE SOLDADURA									G AMARRE DE ALAMBRE									H RIGIDEZ DEL ELEMENTO									I								
PUNTO DE CONTROL	SOLICITUD PARTICULAR																																																																																																	
A DIAMETRO DE VARILLAS																																																																																																		
B LONGITUD DE TRASLAPE / UBICACIÓN DE BARRAS																																																																																																		
C LONGITUD DE GANCHOS																																																																																																		
D ESPACIAMIENTO ENTRE BARRAS VERTICALES																																																																																																		
E ESPACIAMIENTO EN ESTRIPOS																																																																																																		
F VERIFICACIÓN DE SOLDADURA																																																																																																		
G AMARRE DE ALAMBRE																																																																																																		
H RIGIDEZ DEL ELEMENTO																																																																																																		
I																																																																																																		
MEJORA A CONSIDERAR: 																																																																																																		
<b>5. APROBACIÓN FINAL</b>																																																																																																		
<b>PRODUCCIÓN</b> Nombre: Carlos Rivas			<b>CALIDAD I</b> Nombre: Hans Moore			<b>CALIDAD II</b> Nombre: Sybila Lloclla																																																																																												
CAASA-Protocolo de Acero Prearmado																																																																																																		

Figura 7-02: Formato Checklist Protocolo Calidad de Prearmados. Fuente: Aceros Arequipa

ANEXO 03: HOJA DE CÁLCULO DE PLANILLA DE ENVÍO A PRODUCCIÓN

DESP	ENTREGABLE	PLANO ACEDIM	AREA	ETAPA	NIVEL	SECTOR	APLICACION	ESTRUCTURA	TIPO	CANT. DE ELEM.	PIEZA	FORMA	RADIO	a	b	c	CANT. X ELEM.	CANT TOTAL	DIAM	LONGITUD	TOTAL	REV.	TP	PRODUCTO	TIPO DE ACERO
0578	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-10	1	Es1	600	0.020M	0.17M	0.17M	0.13M	32	32	3/8"	0.94M	16.8Kg		DO	PREARMADOA	A615
0578	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-10	1	Es2	600	0.020M	0.17M	0.30M	0.13M	34	34	3/8"	1.20M	22.8Kg		DO	PREARMADOA	A615
0578	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-10	1	Es3	600	0.020M	0.17M	0.52M	0.13M	34	34	3/8"	1.64M	31.2Kg		DO	PREARMADOA	A615
0578	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-10	1	H1	611	0.020M	0.10M	0.17M	1.32M	56	56	3/8"	1.86M	58.3Kg		DO	PREARMADOA	A615
0578	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-10	1	Ra1	100	0.020M	0.15M			8	8	3/8"	0.15M	1.0Kg		DO	PREARMADOA	A615
0578	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-10	1	Ra2	100	0.020M	0.50M			16	16	3/8"	0.50M	4.5Kg		DO	PREARMADOA	A615
0578	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-10	1	Ra3	100	0.020M	1.30M			8	8	3/8"	1.30M	5.8Kg		DO	PREARMADOA	A615
0578	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-10	1	Rg1	309	0.040M	0.30M	0.57M	0.30M	8	8	1/2"	1.17M	9.3Kg		DO	PREARMADOA	A615
0578	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-10	1	Tr1	616	0.020M	0.13M	0.17M	0.13M	34	34	3/8"	0.43M	8.2Kg		DO	PREARMADOA	A615
0578	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-10	1	V1E	100	0.050M	6.10M			14	14	5/8"	6.10M	132.5Kg		DO	PREARMADOA	A615
0578	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-10	1	V2E	100	0.020M	5.80M			8	8	3/8"	5.80M	26.0Kg		DO	PREARMADOA	A615
0571	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-2a	1	aEs1	600	0.020M	0.22M	0.26M	0.13M	68	68	3/8"	1.22M	46.5Kg		DO	PREARMADOA	A615
0571	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-2a	1	aH1a	617	0.020M	2.28M	0.22M	0.10M	72	72	3/8"	2.60M	104.8Kg		DO	PREARMADOA	A615
0571	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-2a	1	aRa1	100	0.020M	0.20M			10	10	3/8"	0.20M	1.1Kg		DO	PREARMADOA	A615
0571	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-2a	1	aRa2	100	0.020M	1.72M			8	8	3/8"	1.72M	7.7Kg		DO	PREARMADOA	A615
0571	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-2a	1	aRa3	100	0.020M	2.09M			8	8	3/8"	2.09M	9.4Kg		DO	PREARMADOA	A615
0571	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-2a	1	aSp1	300	0.020M	0.25M	0.20M	0.25M	12	12	3/8"	0.70M	4.7Kg		DO	PREARMADOA	A615
0571	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-2a	1	aV1E	100	0.050M	6.10M			8	8	5/8"	6.10M	75.7Kg		DO	PREARMADOA	A615
0571	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-2a	1	aV2E	100	0.020M	5.80M			20	20	3/8"	5.80M	65.0Kg		DO	PREARMADOA	A615
0571	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-2c	1	bEs1	600	0.020M	0.22M	0.26M	0.13M	68	68	3/8"	1.22M	46.5Kg		DO	PREARMADOA	A615
0571	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-2c	1	bEs2	600	0.020M	0.22M	0.27M	0.13M	34	34	3/8"	1.24M	23.6Kg		DO	PREARMADOA	A615
0571	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-2c	1	bH1c	617	0.020M	2.28M	0.22M	0.10M	72	72	3/8"	2.60M	104.8Kg		DO	PREARMADOA	A615
0571	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-2c	1	bRa1	100	0.020M	0.20M			10	10	3/8"	0.20M	1.1Kg		DO	PREARMADOA	A615
0571	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-2c	1	bRa2	100	0.020M	1.72M			8	8	3/8"	1.72M	7.7Kg		DO	PREARMADOA	A615
0571	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-2c	1	bRa3	100	0.020M	2.09M			8	8	3/8"	2.09M	9.4Kg		DO	PREARMADOA	A615
0571	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-2c	1	bSp1	300	0.020M	0.25M	0.20M	0.25M	12	12	3/8"	0.70M	4.7Kg		DO	PREARMADOA	A615
0571	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-2c	1	bTr1	616	0.020M	0.13M	0.22M	0.13M	34	34	3/8"	0.48M	9.1Kg		DO	PREARMADOA	A615
0571	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-2c	1	bV1E	100	0.050M	6.10M			14	14	5/8"	6.10M	132.5Kg		DO	PREARMADOA	A615
0571	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-2c	1	bV2E	100	0.020M	5.80M			18	18	3/8"	5.80M	58.5Kg		DO	PREARMADOA	A615
0572	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-3a	1	cEs1	600	0.020M	0.17M	0.17M	0.13M	26	26	3/8"	0.94M	13.7Kg		DO	PREARMADOA	A615
0572	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-3a	1	cH1a	617	0.020M	1.58M	0.17M	0.10M	52	52	3/8"	1.85M	53.9Kg		DO	PREARMADOA	A615
0572	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-3a	1	cRa1	100	0.020M	0.15M			10	10	3/8"	0.15M	1.0Kg		DO	PREARMADOA	A615
0572	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-3a	1	cRa2	100	0.020M	1.02M			8	8	3/8"	1.02M	4.6Kg		DO	PREARMADOA	A615
0572	22p		EDIFICIO	TORRE B	PISO 16-17	SA	PORTANTE	MUROS	M-3a	1	cRa3	100	0.020M	1.58M			8	8	3/8"	1.58M	7.1Kg		DO	PREARMADOA	A615
0572	22p																								

## ANEXO 04: PLANO DE RECEPCIÓN DE ACERO DIMENSIONADO PARA VIGAS



Nivel	Sector	Tipo	Despacho	Producto	SUM de Peso Diseñado (tn.)
PISO 07	SC	VTBB-31	305	ACEDIM	0.3842
PISO 07	SC	VTBB-32	305	ACEDIM	0.3728
PISO 07	SC	VTBB-33	305	ACEDIM	0.2274
PISO 07	SC	VTBB-34	305	ACEDIM	0.3640
PISO 07	SC	VTBB-35	306	ACEDIM	0.2146
PISO 07	SC	VTBB-36	306	ACEDIM	0.4053
PISO 07	SC	VTBB-37	306	ACEDIM	0.1759
PISO 07	SC	VTBB-39	306	ACEDIM	0.1943
PISO 07	SC	VTBB-41	306	ACEDIM	0.3971

**PISO 07  
TORRE B2**

Nivel	Y	Sector	Tipo	Despacho	Producto	SUM de Peso Diseñado (tn.)
PISO 07		SD	VTBB-26	309	ACEDIM	0.1866
PISO 07		SD	VTBB-27	309	ACEDIM	0.1919
PISO 07		SD	VTBB-28	309	ACEDIM	0.1819
PISO 07		SD	VTBB-29	309	ACEDIM	0.1860
PISO 07		SD	VTBB-30	310	ACEDIM	0.1873
PISO 07		SD	VTBB-36	310	ACEDIM	0.2257
PISO 07		SD	VTBB-38	310	ACEDIM	0.3290
PISO 07		SD	VTBB-40	310	ACEDIM	0.3224

Figura 7-04: Plano de recepción de acero dimensionado para vigas. Fuente: TSC innovation

ANEXO 05: ENCUESTA REALIZADA A EXPERTOS

ENCUESTA: VARIABILIDAD EN EL SUMINISTRO DE ACERO DIMENSIONADO EN EDIFICACIONES MULTIFAMILIARES (PARTE 1-1)	
<p>La presente encuesta tiene como finalidad validar la experiencia correspondiente de profesionales que han trabajando con el acero dimensionado en proyectos de Edificación Multifamiliar. (Los datos personales son confidenciales)</p>	
1.- Nombres y Apellidos [REDACTED] (EXP 1)	7.- Respecto a proyectos de edificación multifamiliar ¿En qué tipos de magnitud de obra ha participado? <b>SÓTANOS</b> (Puede marcar más de 1)
2.- Grado de Instrucción Ingeniero Civil	<input checked="" type="checkbox"/> Semisótano - 01 Sótano <input checked="" type="checkbox"/> 02 Sótanos - 03 Sótanos <input checked="" type="checkbox"/> 04 Sótanos - 06 Sótanos <input checked="" type="checkbox"/> más de 07 Sótanos
3. ¿Cuántos años de Experiencia en el Sector Construcción tiene? (años) 15	8.- Respecto a proyectos de edificación multifamiliar ¿En qué tipos de magnitud de obra ha participado? <b>TORRE</b> (Puede marcar más de 1)
4. ¿Cuántos años de experiencia tiene trabajando con acero dimensionado en proyectos de construcción? <input type="checkbox"/> menos de 2 años <input type="checkbox"/> entre 2 a 5 años <input type="checkbox"/> entre 5 a 10 años <input checked="" type="checkbox"/> más de 10 años	<input checked="" type="checkbox"/> Entre 1-5 pisos <input checked="" type="checkbox"/> Entre 6 - 10 pisos <input checked="" type="checkbox"/> Entre 11 - 20 pisos <input checked="" type="checkbox"/> Mayor a 21 Pisos
5.- ¿En qué tipos de proyectos de construcción ha participado? (Puede marcar más de 1) <input checked="" type="checkbox"/> Edificaciones comerciales <input checked="" type="checkbox"/> Edificaciones multifamiliares <input checked="" type="checkbox"/> Obras civiles (Transporte, Hidráulicas, etc) <input checked="" type="checkbox"/> Obras civiles mineras	9. Mencione 2 o 3 proyectos de edificación multifamiliar en el cual haya participado y la magnitud de esta. Ejemplo: • VistaMar (Miraflores) 6S+20P 1. Edificación Ejemplo 1 (Rímac) 4S+20P 2. Edificación Ejemplo 2 (Ate) 2S + 8P 3. Multifamiliar Ejemplo 3 (Miraflores) 4S+12P
6.- ¿Cuántos años de experiencia tiene trabajando en proyectos de edificación multifamiliar con acero dimensionado? <input type="checkbox"/> menos de 1 año <input type="checkbox"/> entre 1 y 3 años <input type="checkbox"/> entre 3 y 5 años <input checked="" type="checkbox"/> más de 5 años	Muchas gracias. Sus datos ayudarán a validar la experiencia como experto en el rubro de edificaciones multifamiliares trabajando con acero dimensionado.

Figura 7-05: Validación de experiencia de Expertos. Fuente: Elaboración propia.

**ENCUESTA: VARIABILIDAD EN EL SUMINISTRO DE ACERO DIMENSIONADO EN EDIFICACIONES MULTIFAMILIARES (PARTE 1-2)**

Definiendo a la Variabilidad como:

-> La ocurrencia de eventos que dificultan que las actividades de la construcción se ejecuten de forma predecible.

10. ¿Considera que el proceso estándar de trabajo para suministrar acero dimensionado es afectado por factores que producen variabilidad?\*

Sí  
 No

11. Liste a continuación las fuentes de variabilidad que detecte en los proyectos de edificación multifamiliar referentes a:

<b>CLIENTE:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Demora cierre comercial</li><li>• Falta de información del proyecto</li><li>• Problemas comerciales</li><li>• Línea de crédito insuficiente</li><li>• Demora revisión</li><li>• Cambio</li></ul>
<b>INGENIERÍA DE DETALLE:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Errores de detallado</li><li>• Validación de criterio</li></ul>
<b>PLANTA DE PRODUCCIÓN:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Leyanía de planta</li><li>• Demanda de fabricación</li></ul>
<b>GENERAL:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Deficiente canal de comunicación</li><li>• flujo no coordinado</li><li>• falta de involucamiento</li></ul>

**Muchas gracias por su tiempo! ¡Se espera su participación en la parte 2!**

Figura 7-06: Identificación de Fuentes de Variabilidad de Expertos. Fuente: Elaboración propia.

**ENCUESTA: VARIABILIDAD EN EL SUMINISTRO DE ACERO DIMENSIONADO EN  
EDIFICACIONES MULTIFAMILIARES – IMPACTO Y FRECUENCIA (PARTE 2-1)**

De la PARTE 1-2 de la encuesta, se obtuvo un listado de fuentes de variabilidad.

En la PARTE 2, se requiere evaluar el IMPACTO y FRECUENCIA de las fuentes detectadas en base a una escala de Likert.

1. FUENTES DE VARIABILIDAD - **FRECUENCIA DE LA OCURRENCIA**  
(Marque solo 1 alternativa por fila)

CÓDIGO	CRITERIOS FRECUENCIA	Nunca	Raramente	Ocasionalmente	Frecuente	Muy Frecuente
CL1	[(CL) Cambio de diseño]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CL2	[(CL) Demora en respuesta/revisión]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CL3	[(CL) Información faltante/desactualizada]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CL4	[(CL) Cambio de prioridades o atraso del cliente (Deficiente Planificación, Falta de Espacio)]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CL5	[(CL) Bajo entendimiento del flujo de trabajo]	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CL6	[(CL) Problemas comerciales (Línea insuficiente, facturas vencidas, etc.)]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CL7	[(CL) Espacio en Obra]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PL1	[(PL) Problemas en Planta (Proyección, Inform. faltante, Postergaciones)]	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PL2	[(ID) Lejanía de Planta Producción]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ID1	[(ID) Errores de Fabricación / Armado]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ID2	[(ID) Errores de detallamiento (Reprocesos, Experiencia, Criterios)]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
G1	[(G) Cambio de equipo de proyecto]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
G2	[(G) Deficiente canal de comunicación y gestión de información]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
G3	[(G) Incumplimiento de compromisos]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¡Muchas gracias por su participación y valioso tiempo!

Figura 7-07: Respuesta de Encuesta Fuentes de Variabilidad - Frecuencia. Fuente: Elaboración propia.

ENCUESTA: VARIABILIDAD EN EL SUMINISTRO DE ACERO DIMENSIONADO EN EDIFICACIONES MULTIFAMILIARES – IMPACTO Y FRECUENCIA (PARTE 2-2)						
CÓDIGO	CRITERIOS IMPACTO	Sin impacto	Casi sin impacto	Poco impacto	Impacto Considerable	Impacto crítico
CL1	[(CL) Cambio de diseño]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CL2	[(CL) Demora en respuesta/revisión]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CL3	[(CL) Información faltante/desactualizada]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CL4	[(CL) Cambio de prioridades o atraso del cliente (Deficiente Planificación, Falta de Espacio)]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CL5	[(CL) Bajo entendimiento del flujo de trabajo]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CL6	[(CL) Problemas comerciales (Línea insuficiente, facturas vencidas, etc.)]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CL7	[(CL) Espacio en Obra]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PL1	[(PL) Problemas en Planta (Proyección, Inform. faltante, Postergaciones)]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PL2	[(ID) Lejanía de Planta Producción]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ID1	[(ID) Errores de Fabricación / Armado]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ID2	[(ID) Errores de detallamiento (Reprocesos, Experiencia, Criterios)]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
G1	[(G) Cambio de equipo de proyecto]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
G2	[(G) Deficiente canal de comunicación y gestión de información]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
G3	[(G) Incumplimiento de compromisos]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¡Muchas gracias por su participación y valioso tiempo!

Figura 7-08: Respuesta de Encuesta Fuentes de Variabilidad - Impacto. Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 06: AVANCE DE EJECUCIÓN DE ETAPA 2 Y 3 DE CONDOMINIO ESENCIAL



Figura 7-09: Vista panorámica avance de ejecución de Etapa 3 de Condominio Esencial. Fuente: Aceros Arequipa



Figura 7-10: Avance de inicio de ejecución de Etapa 2 de Condominio Esencial.  
Fuente:Elaboración propia

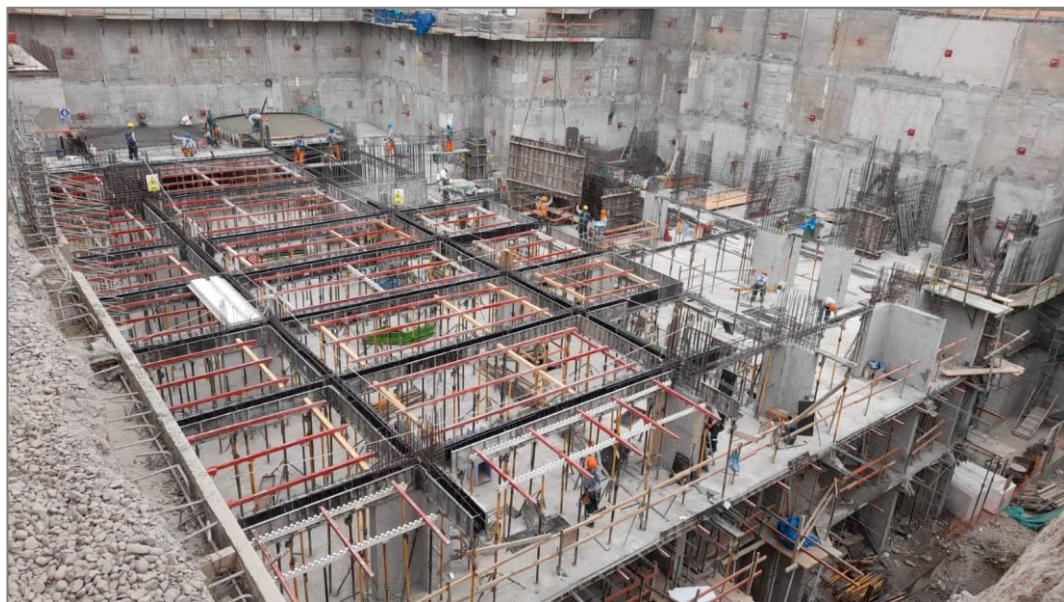


Figura 7-11: Avance de ejecución de Etapa 2 de Condominio Esencial. Fuente: Elaboración propia



Figura 7-12: Avance de ejecución de Etapa 2 (Sótano 01) de Condominio Esencial.  
Fuente:Elaboración propia



Figura 7-13: Avance de ejecución de Etapa 3 de Condominio Esencial. Fuente: Aceros Arequipa

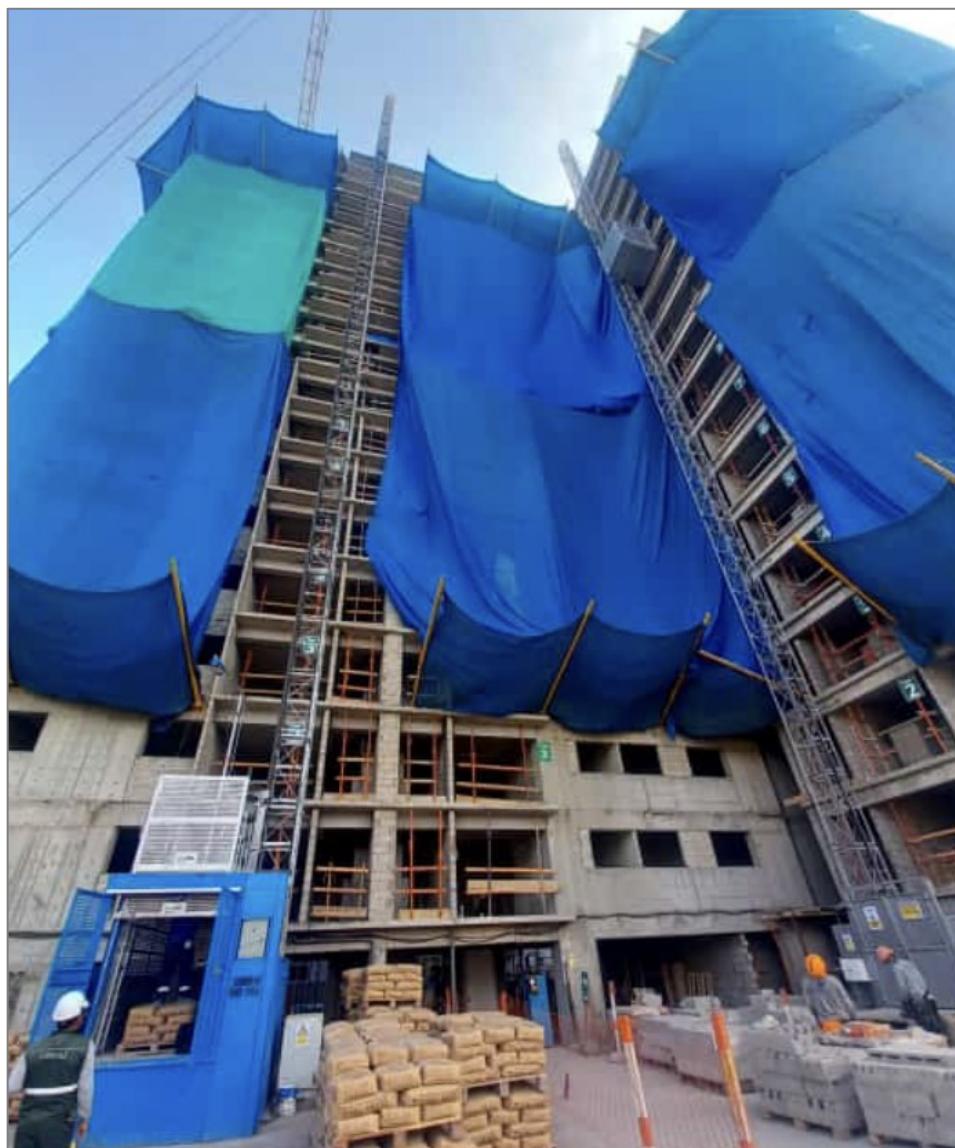


Figura 7-14: Término de casco estructural de Etapa 3 de Condominio Esencial. Fuente: Aceros Arequipa