

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



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN VIRTUAL (VDC) PARA LA
PRECONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES
DE CONCRETO ARMADO EN UNA OBRA PORTUARIA**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

EARNEST RICH MEZA LEÓN

ASESOR

Mag. FÉLIX WILFREDO ULLOA VELÁSQUEZ

Lima- Perú

2023

© 2023, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir el Trabajo de Suficiencia Profesional,
en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”**

Meza León, Earnest Rich

emeza@uni.pe

992708837

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres y a toda mi familia
por su soporte incondicional,
a la Universidad Nacional de Ingeniería por lo aprendido,
a mis amigos y compañeros por su valioso apoyo.

ÍNDICE

Resumen	3
Abstract.....	4
Prólogo.....	5
Lista de tablas.....	6
Lista de figuras	7
Lista de símbolos y siglas	11
Capítulo I. Introducción.....	12
1.1. Antecedentes	12
1.2. Planteamiento de la realidad problemática.....	13
1.3. Objetivos.....	14
1.3.1. Objetivo General	14
1.3.2. Objetivos Específicos.....	14
Capítulo II. Marco teórico y conceptual	15
2.1. Diseño y construcción virtual (VDC).....	15
2.1.1. Aplicación temprana de VDC	16
2.1.2. Marco de aplicación VDC.....	17
2.2. Métricas	18
2.3. Modelado de información de la edificación - BIM	19
2.3.1. Beneficios de Modelos BIM.....	20
2.3.2. Plan de Ejecución BIM	21
2.3.3. Entornos Colaborativos	22
2.4. Ingeniería concurrente integrada - ICE.....	23
2.4.1. Trabajo en Cúmulos – “Clusters”.....	25
2.4.2. Interdependencias de procesos	25
2.5. Gestión de procesos de producción - PPM	28
2.5.1. Diferencia entre Control de Proyectos y Control de Producción	29
2.5.2. Diseño de procesos según PPM	30
Capítulo III. Descripción del proyecto	33
3.1. Alcance General del proyecto	33
3.2. AP-12 Muelle 2	34
3.3. AP-13 Muelle 1	38
3.4. AP-15 Y AP-107 Silos para maíz y trigo.....	41
Capítulo IV. Desarrollo y aplicación de la metodología VDC.....	44
4.1. Equipos de trabajo	44

4.2. Definición de objetivos	44
4.3. Pilares VDC y planteamiento de métricas	46
4.4. Pilar BIM – Building Information Modeling	49
4.4.1. Software y soporte en la nube	50
4.4.2. Modelamiento de Estructuras de Concreto Armado	50
4.4.3. Plan de ejecución BIM (PEB)	57
4.5. Pilar ICE – Integrated Concurrent Engineering.....	60
4.5.1. Comunicación entre interesados	61
4.5.2. Sesiones ICE (Integrated Concurrent Engineering).....	64
4.5.3. De la propuesta de trabajo en cúmulos	64
4.6. Pilar PPM – Project Production Management.....	67
4.6.1. Alcance y Calidad	67
4.6.2. Diseño de Procesos	69
4.6.3. Capacidad.....	70
4.6.4. Inventario	71
4.6.5. Variabilidad	73
Capítulo V. Análisis de resultados	74
5.1 Etapa de construcción	74
5.1.1 Proveedores	74
5.1.2 Construcción de Silos y Transportador	77
5.1.3 Construcción del Muelle 2.....	80
5.1.4 Construcción del Muelle 1	82
5.2 Resultados y uso de métricas finales	85
5.2.1 Métricas ICE	86
5.2.2 Métricas BIM.....	90
5.2.3 Métricas PPM	95
Conclusiones	101
Recomendaciones	102
Referencias bibliográficas	103
Anexos	105

RESUMEN

Es común que, durante la etapa de construcción de un proyecto, se afronte una serie de problemas por diferencias en la ingeniería planteada, debido a que buena parte de los trabajos fueron realizados por especialistas en diferentes instancias de tiempo y sin una comunicación fluida. El resultado es que, por las incompatibilidades entre especialidades o falta de información, se genere una serie de reprocesos e inclusive costos adicionales. Por esta razón, se requiere aplicar metodologías y herramientas que reduzcan el impacto de estos problemas, mejorando además la productividad de sus procesos.

La metodología de Diseño y Construcción Virtual o VDC (Virtual Design and Construction), fue acuñada y desarrollada en el CIFE de la Universidad de Stanford en 2001, como una alternativa para impulsar el uso de la tecnología y el trabajo colaborativo para maximizar los resultados de los objetivos requeridos por un proyecto de construcción. Esta metodología plantea el uso de modelos BIM (Building Information Modeling), a través del trabajo colaborativo y sesiones ICE (Integrated Concurrent Engineering), y bajo la gestión de procesos de producción o PPM (Project Production Management); estos tres pilares actúan en sinergia y alineados bajo objetivos de cliente y proyecto, y el registro de métricas de producción y factores controlables.

El presente trabajo aplicó de la metodología VDC en la obra de modernización y desarrollo del terminal portuario multipropósito de Salaverry, el puerto más importante del norte del país. La aplicación realizada durante la etapa de construcción, consideró además el rediseño para la optimización de la ejecución de las estructuras, fue impulsado por el trabajo colaborativo entre ingenieros civiles estructurales, constructores y proveedores. El desarrollo de la ingeniería de detalle basado en el modelamiento, tuvo un cumplimiento de 90 % respecto a la mejora en tiempo pactada entre las partes, lo que permitió que terminar la ingeniería de elementos estructurales un mes antes de lo planificado por el constructor y colaborar con la entrega de la obra a tiempo. Esto reafirma el beneficio de la aplicación de la metodología VDC que utiliza las más recientes herramientas dentro del sector construcción.

ABSTRACT

It is common that, during the construction stage of a project, a series of problems are faced due to differences in the proposed engineering, because most of the work was executed by specialists at different times and without fluid communication. The result is that, due to incompatibilities between specialties or lack of information, a series of reprocesses and even additional costs are generated. For this reason, it is necessary to apply methodologies and tools that reduce the impact of these problems, while improving the productivity of their processes.

The Virtual Design and Construction (VDC) methodology was coined and developed at Stanford University's CIFE in 2001, as an alternative to promote the use of technology and collaborative work to maximize the results of the objectives required by a construction project. This methodology proposes the use of BIM (Building Information Modeling) models, through collaborative work and ICE (Integrated Concurrent Engineering) sessions, and under the management of production processes or PPM (Project Production Management); these three pillars act in synergy and aligned under client and project objectives, and the recording of production metrics and controllable factors.

This work applied the VDC methodology in the modernization and development of the Salaverry multipurpose port terminal, the most important port in the north of the country. The application during the construction stage, which also considered the redesign for the optimization of the execution of the structures, was driven by the collaborative work between structural civil engineers, builders and suppliers. The development of the detailed engineering based on the modeling, had a 90% compliance with respect to the improvement in time agreed between the parties, which allowed to finish the engineering of structural elements one month earlier than planned by the builder and to collaborate with the delivery of the work on time. This reaffirmed the benefit of the application of the VDC methodology using the latest tools within the construction sector.

PRÓLOGO

El presente trabajo de suficiencia profesional detalla la aplicación de la metodología VDC en la modernización y desarrollo del terminal portuario multipropósito de Salaverry, una obra importante para el desarrollo de la infraestructura portuaria del país. Enfocado específicamente en la construcción de veinticuatro silos para almacenamiento y dos muelles, el volumen implicaba un alto esfuerzo de ingeniería y producción, durante el de estado de emergencia sanitaria, lo que implicó retos adicionales para cumplir los plazos solicitados.

Se desarrolló un análisis de los objetivos de proyecto y del cliente, el planteamiento de las métricas y factores controlables que contribuyen a la toma de decisiones concluyendo en una revisión de cada uno de los pilares BIM, ICE y PPM, y como se desarrollaron a través de las etapas concernientes a la construcción.

Finalmente, el aporte al cumplimiento de la entrega final del proyecto se considera positivo, lo cual marcó un precedente en la aplicación de la metodología VDC en obras no convencionales, estimulando el uso de elementos estructurales prefabricados, el trabajo colaborativo y el uso de modelamiento BIM.

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Atributos clave de Controles de Proyecto y de Producción.	29
Tabla 4.1 Métricas de Producción y Factores Controlables	47
Tabla 4.2 Alcance de nivel de detalle de Modelo	58
Tabla 5.1 Resultado de Métricas del primer semestre	85
Tabla 5.2 Resumen de beneficios de VDC en el proyecto	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Curva de MacLeamy de Esfuerzo/Diseño	16
Figura 2.2. Marco de aplicación VDC.....	17
Figura 2.3. Relación entre métricas y objetivos.....	19
Figura 2.4. Modelos BIM de diferentes especialidades	20
Figura 2.5. Información del proyecto durante una construcción con BIM.	23
Figura 2.6. Ejemplo de “Big Room” para Sesiones ICE.....	24
Figura 2.7. Organización de cúmulos de trabajo.....	25
Figura 2.8. Esquema de trabajo agrupado	26
Figura 2.9. Esquema de trabajo secuencial	26
Figura 2.10. Esquema de trabajo recíproco	26
Figura 2.11. Interdependencia de procesos a través del tiempo	27
Figura 2.12. Diferencias entre Gestión de Proyectos y PPM.....	30
Figura 2.13. Ejemplo de Sistema de Producción	31
Figura 3.1. Ubicación general del Puerto Salaverry	33
Figura 3.2. Cimentación de Muelle 2.....	34
Figura 3.3. Aislamiento de base en eje central de Muelle 2	35
Figura 3.4. Losas de Soporte.....	35
Figura 3.5. Elementos prefabricados tipo viga y losa	36
Figura 3.6. Cambio de nivel de recuperación.....	36
Figura 3.7. Tipos de colocación de concreto.....	37
Figura 3.8. Conexión con tierra del Muelle 2.....	38
Figura 3.9. Elementos de borde en Muelle.....	38
Figura 3.10. Diseño inicial de construcción de Muelle 1 (Compuesto de 1A y 1B). ..	39
Figura 3.11. Diseño final de Muelle 1 (Unificado).....	39
Figura 3.12. Estructuración de Muelle 1	40

Figura 3.13. Conexión con tierra del Muelle 1	40
Figura 3.14. Cimentación de silos	41
Figura 3.15. Corte sección transversal de Silos	42
Figura 3.16. Vista superior de Transportador de rastras	42
Figura 3.17. Vista Silo Pulmón y Elevadores	43
Figura 4.1. Metas y objetivos relacionados	46
Figura 4.2. Marco de aplicación VDC.....	49
Figura 4.3. Tekla Model Sharing	50
Figura 4.4. Vista frontal de prefabricado tipo viga	51
Figura 4.5. Prefabricado tipo viga T con barras grifadas(cyan)	52
Figura 4.6. Secuencia de vaciado de tablero	52
Figura 4.7. Conexión de bolardos y defensas con tablero.....	53
Figura 4.8. Prefabricado tipo panel circular típico	53
Figura 4.9. Descomposición de prefabricado tipo panel circular	54
Figura 4.10. Cimentación de silos	55
Figura 4.11. Montaje de prefabricado	55
Figura 4.12. Unión de prefabricados tipo panel circular	56
Figura 4.13. Alcance y Resumen del PEB	57
Figura 4.14. Requerimientos de Detallamiento	58
Figura 4.15. Proyección de Producción en PEB	59
Figura 4.16. Ventana de equipo de trabajo en TC.....	61
Figura 4.17. Organización de Información en TC.....	62
Figura 4.18. Separación por especialidades en TC.....	63
Figura 4.19. Listado de Tareas en TC.....	63
Figura 4.20. Organización por cúmulos	66
Figura 4.21. Registro de Labores Productivas de Ingeniería de Detalle.....	68
Figura 4.22. Flujo tradicional sin VDC.....	69

Figura 4.23. Flujo tradicional con VDC.....	70
Figura 4.24. Comparación de cronogramas de proyecto y de un proveedor	71
Figura 5.1. Planta fabricación de concreto	74
Figura 5.2. Planta producción de acero prearmado	75
Figura 5.3. Carguío de acero prearmado	75
Figura 5.4. Planta producción de prefabricados	76
Figura 5.5. Almacén de prefabricados.	76
Figura 5.6. Cimentación de silos	77
Figura 5.7. Montaje de paneles para silos	77
Figura 5.8. Pórtico de soporte para torres de silos	78
Figura 5.9. Cimentación y portantes de Transportador de Rastras	78
Figura 5.10. Tolvas de Transportador de Rastras	79
Figura 5.11. Montaje de estructuras metálicas e instrumentación	79
Figura 5.12. Accesos a Almacén de Silos	80
Figura 5.13. Demolición antiguo muelle	80
Figura 5.14. Recuperación de pilotes Muelle 2	81
Figura 5.15. Colocación de prefabricados Muelle 2	81
Figura 5.16. Culminación tablero de Muelle 2	82
Figura 5.17. Hincado de pilotes Muelle 1	82
Figura 5.18. Colocación de concreto en pilotes	83
Figura 5.19. Vista general de hincado y colocación de prefabricados	83
Figura 5.20. Ejecución del tablero de Muelle 1A hacia 1B	84
Figura 5.21. Demolición y reconstrucción de Muelle 1B.....	84
Figura 5.22. Culminación del Muelle 1 (Unificado)	85
Figura 5.23 Resultados de métrica I-1.	86
Figura 5.24 Sesión ICE #7 – Estructuras	87
Figura 5.25 Sesión ICE #7 – Compatibilización	87

Figura 5.26 Sesión ICE #11.....	88
Figura 5.27 Sesión ICE #17.....	88
Figura 5.28 Sesión ICE #24.....	89
Figura 5.29 Sesión ICE #30.....	90
Figura 5.30 Tipos de sketch de diseño	91
Figura 5.31 Sesiones de trabajo en cúmulos	92
Figura 5.32 Resultados métrica B-1	93
Figura 5.33 Información requerida en modelo BIM.	93
Figura 5.34 Proyecto completo modelado vs real	94
Figura 5.35 Plano de detalle desde modelo	94
Figura 5.36 Resultado primer trimestre de métrica P-1	95
Figura 5.37 Combinación métricas B-2 y P-3.....	96
Figura 5.38 Resultado de métrica P-1 al 50% de avance de obra.....	96
Figura 5.39 Resultado final de métrica P-1	97
Figura 5.40 Planificación maestra de obra	97
Figura 5.41 Tipos de acero fabricado.....	98
Figura 5.42 Análisis Armadura Tradicional.....	99
Figura 5.43 Análisis Armadura Prearmada	99
Figura 5.44 Resultados de métrica P-4.....	100

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

ACI	: Agua contra incendios
ARQ	: Arquitectura
BIM	: Building Information Modeling
CDE	: Common Data Environment
CIFE	: Center for Integrated Facility Engineering
EST	: Estructuras
ICE	: Integrated Concurrent Engineering
IIEE	: Instalaciones Eléctricas
IISS	: Instalaciones Sanitarias
IPD	: Integrated Project Delivery
LOD	: Level of Detailing
MEP	: Mechanical, Electrical and Plumbing
PEB	: Plan de Ejecución BIM
PPM	: Project Production Management
RFI	: Request for Information
VDC	: Virtual Design and Construction
WIP	: Work in Progress

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Kunz y Fischer (2012) describen en su “paper WP097”, el término Diseño y Construcción Virtual (VDC) como parte de las misiones y métodos del “Center for Integrated Facility Engineering” (CIFE) de la Universidad de Stanford, y han usado explícitamente los métodos de VDC en sus investigaciones desde entonces. Ambos usan VDC como un método en la enseñanza e investigación y uno de ellos lo enseña formalmente en clases desde el año 2001.

Tapia (2018) realizó encuestas a diferentes constructoras y trabajadores y concluye que 22 % de edificaciones urbanas en Lima Metropolitana y el Callao han adoptado el uso de BIM. Sin embargo, de su estudio por especialidades de los proyectos que la implementan, 97 % modelan la especialidad de arquitectura, pero solo 27 % modelan acero de refuerzo. Asimismo, de este 27 % solo 3 % lo aplica para prefabricación de componentes y concluye por tanto que el nivel de uso de prefabricados es muy bajo en el rubro.

Aunque es posible integrar más de cinco dimensiones de información, excesiva información puede producir complejidad e impedir el proceso de implementación VDC. Por un lado, la integración de VDC con BIM 5D promueve la eficiencia y precisión de procesos de planificación de construcción. Por otro lado, también mejora la capacidad de los interesados (ingenieros diseñadores, constructores, cliente final) para tomar decisiones que son convencionalmente restringidas por las limitaciones de un flujo de trabajo en 2D. (Lee et al., 2020)

Un estudio de remodelación de infraestructura vial realizado por Vignali et al. (2021), donde usan datos existentes mediante transformación de nube de puntos y modelamiento virtual BIM de su diseño propuesto para visualización y verificación normativa, además que encontraban necesaria la correcta interacción entre la remodelación propuesta y su entorno pues era un acceso a una ciudad. Una limitación de su trabajo es que aprovecharon la tecnología, pero no usaron una metodología de integración con otros interesados.

Los efectos de los retos asociados a aplicar VDC se pueden reducir al utilizar herramientas y técnicas de Lean. La unión de aplicar Lean y VDC tiene el potencial de remover ineficiencia de procesos para el beneficio completo de la industria de la construcción (Aslam et al., 2021)

Es decir, si bien internacionalmente se tiene más conocimiento de la metodología VDC y sus beneficios, en el ámbito nacional se vienen desarrollando e impulsando su aplicación total, en instituciones académicas o profesionales de empresas capacitados en la metodología con apoyo del CIFE, o parcialmente mediante la difusión del uso de BIM como tecnología más utilizada. Es también importante que se masifique la diferencia entre VDC y BIM, así como un mayor despliegue en ambos casos para que no se enfoque solo en el uso con fines visuales o de modelamiento virtual sin objetivos específicos, en cambio que se logre aplicar VDC con fines de integración y lograr una mayor industrialización en la construcción.

1.2. PLANTEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En octubre de 2018, la empresa Salaverry Terminal Internacional S.A. ganó la concesión del puerto de Salaverry, los cuales asumieron el reto de la modernización con una inversión final de 229 millones de dólares, considerando el plazo de construcción dentro de su periodo de concesión de 30 años.

Esperaban el inicio de construcción en el primer trimestre del año 2020, esto se complicó con la emergencia sanitaria y se planteó realizar un rediseño de los elementos estructurales como elementos prefabricados para optimizar el plazo de construcción. Esto además implicó que la ingeniería de detalle compatibilizada entre especialidades y aprobada para construcción se entregue en paralelo al cronograma de obra sin ocasionar retrasos de tiempo.

Frente al reto en que se encontraba el consorcio que se adjudicó la construcción del proyecto de Modernización del Terminal Portuario Multipropósito Salaverry, era importante implementar una eficiente metodología de trabajo en construcción para cumplir sus objetivos de plazo y costo.

El proyecto requería de un equipo de trabajo amplio para atender los diferentes requerimientos en el menor plazo posible, sin embargo, esto requería de gran inversión es por ello que entre las alternativas analizadas fue implementar el desarrollo de modelamiento virtual BIM para poder desarrollar de manera anticipada toda la ingeniería de detalle posible. Sin embargo, es frecuente que se piense que los modelos virtuales por sí solos resuelvan todos los problemas, cuando en realidad esto es solo el soporte tecnológico y lo que se necesita son metodologías o herramientas que faciliten la integración y que se apoyen en tecnología como los modelos virtuales.

En Perú en los últimos años ya se ha analizado casos de aplicación de la metodología Diseño y Construcción Virtual (VDC) en proyectos de edificaciones multifamiliares y comerciales, probando su efectividad en reducción de latencia de consultas en más de 50 % según Corrales y Saravia (2020) y un ahorro de 5 % en costo de construcción según Uehara (2017), sin embargo, es poco usado en obras civiles de gran envergadura a pesar de su probada efectividad y beneficio en la reducción de plazos de diseño y construcción.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Aplicar la metodología VDC para la preconstrucción de elementos estructurales de concreto armado de una obra portuaria.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Plantear un esquema de aplicación VDC y sus métricas en un proyecto portuario.
- b) Desarrollar las métricas planteadas inicialmente e indicar las principales decisiones basadas en el seguimiento de las mismas.
- c) Cuantificar las mejoras en tiempo de ejecución en los pilares BIM, ICE y PPM planteadas en el esquema de aplicación según los objetivos.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN VIRTUAL (VDC)

La metodología de Diseño y Construcción Virtual (VDC) es el uso integrado de modelos de tipo multidisciplinarios en proyectos de diseño y construcción para apoyar objetivos de negocio explícitos y públicos (Kunz y Fischer, 2012)

Diseño y Construcción Virtual (VDC) es el uso de modelos de desempeño multidisciplinario de proyectos de edificaciones, incluidos sus productos (instalaciones), organizaciones y procesos de trabajo para los objetivos de negocio. Toda organización de un proyecto debe contar con las perspectivas de todos los interesados (ingenieros diseñadores, constructores, proveedores, cliente final) para poder entender los objetivos de negocio del cliente y traducirlos a objetivos de proyecto que son cuantitativa y/o cualitativamente medibles. Luego, el equipo debe crear una organización integrada e implementar procesos de trabajo “lean” para simular y probar diferentes alternativas para obtener la solución óptima. Finalmente, el equipo debe integrar sus soluciones de diseño virtualmente para poder construir sistemas integrados que resulten en un edificio de alto desempeño. (Fischer et al., 2017)

A diferencia de BIM, que parece más enfocado en la producción de un modelo virtual, VDC se enfoca más en el proceso completo y toma BIM como una de las herramientas para incluir producción 4D, herramientas de procesos y organizaciones, y técnicas colaborativas como parte del alcance. Sin embargo, mientras la academia y la industria ya pudieron notar la importancia de incluir a las personas (organización) y procesos, ahora existe una necesidad de asegurar que dicho modelo de procesos está formado en bases sólidas y tiene potencial para mejorar las principales funciones de la industria de la construcción (Mandujano et al., 2021).

2.1.1. Aplicación temprana de VDC

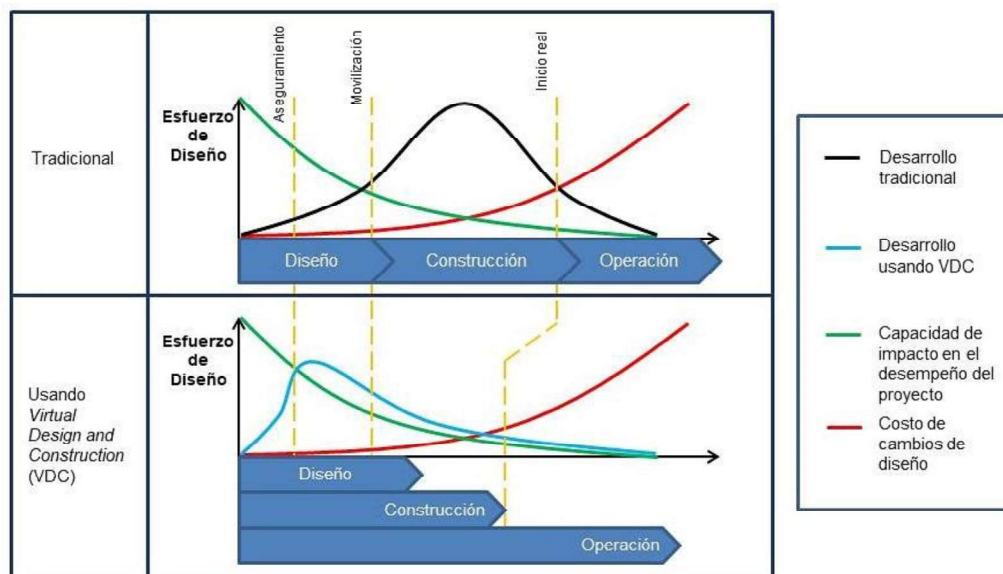


Figura 2.1. Curva de MacLeamy de Esfuerzo/Diseño. Adaptado de Aceves (2014)

La Figura 2.1 muestra el esfuerzo de diseño versus el tiempo, para ilustrar la diferencia en resultados de aplicación de una estrategia tradicional versus el uso de VDC. La curva que representa el proceso tradicional muestra que el principal esfuerzo se presenta en la etapa de construcción pues en esa etapa se hace el mayor gasto general, trabajo con proveedores, compra de materiales y uso de equipos, por tanto, cada cambio tiene un mayor costo.

En cambio, con el uso de VDC, dicha curva de esfuerzo se traslada hacia las etapas tempranas de diseño, y si se gestiona el diseño incluyendo el equipo de ingenieros constructores y los principales proveedores, se puede retroalimentar el diseño inmediatamente y en caso requiera cambios se pueden realizar sin impactar en un alto costo por pérdida de materiales o equipos. Esto además puede simplificar el trabajo de construcción, reduciendo plazos innecesarios durante su ejecución y por tanto una reducción del tiempo para su finalización.

2.1.2. Marco de aplicación VDC

De la certificación VDC del CIFE (2020), toda la información de objetivos, los pilares y sus métricas de producción, se pueden representar en el llamado Marco VDC, que es una representación gráfica de la información mostrada en la Figura 2.2.

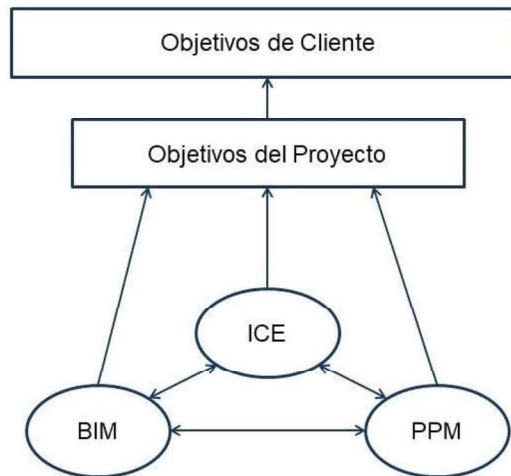


Figura 2.2. Marco de aplicación VDC. Adaptado de CIFE (2020)

Las principales tareas del desarrollo de un proyecto y su equipo de operación son:

1. Identificar apropiadamente las metas y objetivos principales que son importantes para el cliente.
2. Traducir en objetivos específicos de funcionamiento para el uso y operación de las instalaciones y del desarrollo del proyecto.
3. Un cuidadoso diseño de la organización del proyecto y los procesos de trabajo, además de los correspondientes objetivos y métricas.
4. Diseño y construcción de la mejor instalación posible que permite una operación y uso sostenible a través del tiempo.

Esto parece sencillo de seguir, pero es por supuesto difícil de ejecutar a través de las organizaciones, el tiempo y las barreras físicas, asimismo de las diferentes metas económicas, ambientales y sociales que son únicos para cada proyecto de infraestructura. (Fischer et al., 2017)

Por tanto, es entendible que usualmente los proyectos estén separados por diferentes objetivos por cada grupo específico, los cuales pueden estar trabajando para un mismo proyecto, pero tener diferentes intereses. El tener diferentes intereses por grupo no está mal, pero la aplicación de VDC busca que, sin perjudicar las metas propias de cada parte, se pueda tener un mismo objetivo común y que esté alineado a los requerimientos de negocio del cliente y de los usuarios finales de la infraestructura a diseñar o construir. Es pues, en resumen, bajo la visión del CIFE (2020) que la aplicación de VDC se realice mediante un trabajo por objetivos.

2.2. MÉTRICAS

Escoger y tomar mediciones son el primer paso para llevar el control (del proyecto). Pero para que sea útil, la información debe ser agregada y resumida de manera que permita la gestión del proyecto para poder tener una visión completa de su desempeño. Desde esta visión holística, el equipo de gestión del proyecto puede tomar decisiones que sean consecuentes con los objetivos del proyecto y que pueden optimizar el valor del mismo. Un “dashboard” de proyecto, reduce el desorden de información, crea sinergia entre las diferentes fuentes de información y comunica las decisiones. (Fischer et al., 2017)

Secuencialmente, si el mantener objetivos claros y en común es el primer paso, lo siguiente es saber cómo un proyecto se mantiene alineado a esos objetivos. Para esto es necesario llevar métricas a lo largo del desarrollo del proyecto. Kunz y Fischer (2012) sugieren que cada proyecto debe mantener métricas del tipo: Factores controlables, de desempeño de procesos y de resultado de objetivos. Bajo la indicación del CIFE (2020) en cambio, detalla que se puede simplificar solo en: Métricas de producción y Factores controlables.

- a) Métricas de Producción: Son mediciones de los procesos de trabajo que contribuyen directamente al producto físico de un edificio o en el entregable final que es entregado al cliente. Son típicamente indicadores que marcan el desempeño de la organización del proyecto.

- b) Factores Controlables: Son las acciones que un equipo se compromete a manejar y controlar para poder cumplir con los resultados que se han comprometido realizar. Estos son clave para producir valor porque convierte las posibilidades de visión creativa y estratégica en una acción. Las personas deciden porque lo están haciendo, lo hacen y luego miden lo cumplido de manera puedan aprender y mejorar. Los factores controlables siempre están vinculados hacia una métrica de producción. (Fischer et al., 2017)

Sin embargo, tanto las métricas de producción y factores controlables guardan una relación directa con los objetivos del proyecto, que a su vez están alineados a los objetivos de cliente, tal como lo indica la Figura 2.3, a partir de cada objetivo se puede aplicar una métrica y para esta, un factor controlable que permita su medición. (CIFE, 2020)

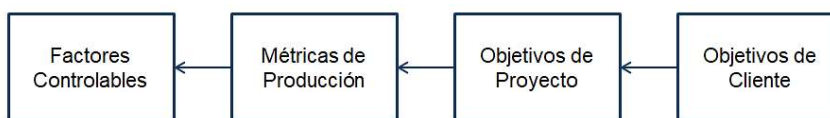


Figura 2.3. Relación entre métricas y objetivos. Adaptado de CIFE (2020)

2.3. MODELADO DE INFORMACIÓN DE LA EDIFICACIÓN - BIM

El modelado digital o modelado de la información de la edificación (BIM) es un término frecuentemente utilizado desde 2012 en la industria de construcción. Esto corresponde al crecimiento exponencial de la industria tecnológica y el mayor alcance que tienen las personas involucradas a estos desarrollos tecnológicos. Si bien cada vez hay más fuentes que definen BIM, todos están de acuerdo en referirse a BIM como las herramientas tecnológicas usadas para una construcción virtual. Lo importante, es que muy aparte de las diferentes definiciones, se tienen además diferentes estudios que indican sus beneficios.

2.3.1. Beneficios de Modelos BIM

El realizar un modelado BIM de la edificación permite equivocarnos virtualmente en el modelo 3D y no en campo, ahorrando costos por procesos mal diseñados. El modelo no solo se utiliza para identificar conflictos entre disciplinas, sino que se convierte en una herramienta de análisis para revisar criterios de diseño y la adecuada funcionalidad entre las distintas instalaciones que operan de forma dependiente. Además, permiten evaluar aspectos constructivos que faciliten un mejor planeamiento y control de las actividades de construcción a través de la gestión de subcontratistas. (Alcántara, 2013)

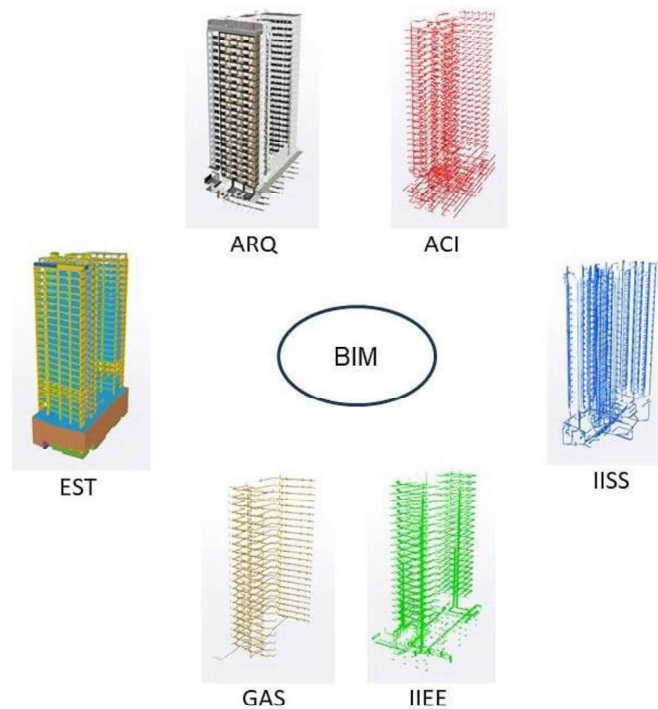


Figura 2.4. Modelos BIM de diferentes especialidades. Elaboración propia

En la Figura 2.4 se muestra un ejemplo de una edificación representada virtualmente con 6 modelos de diferentes especialidades, los cuales independientemente sirven para validar el diseño y unidos permiten realizar una compatibilización completa para beneficio de la construcción real.

Chingay (2015) mencionó que, de un total de 16 aplicaciones posibles estudiadas por una empresa extranjera, solo 4 de ellas fueron directamente implementadas en corto plazo por constructoras de nuestro medio. Estas aplicaciones están vinculadas a un beneficio directo de cada una. Siendo estas:

1. Estimación de la cantidad de materiales o metrados, directamente de un reporte desde los modelos.
2. Detección de conflictos. Esto debido que en un diseño tradicional no se suele compatibilizar y el uso de BIM facilita la detección de interferencias que finalmente minimiza reprocesos y desperdicio al construir.
3. Mejor visualización que facilita labores como planeamiento y el entendimiento de documentos tradicionales como planos y especificaciones técnicas.
4. Simulación 4D. Al combinar los modelos con las duraciones en tiempo de las tareas de construcción programadas en un calendario.

Mohamed (2019) consideró como base tres etapas de un proyecto: Preconstrucción, Construcción y Postconstrucción, como fases del desarrollo de un proyecto. Dentro de esto, la preconstrucción la subdivide en: Planeamiento conceptual, Desarrollo del diseño y Procura. Su estudio evaluó la implementación de BIM en proyectos de construcción sostenible, concluyó que mejoró la calidad de los entregables (de ingeniería) durante la preconstrucción, facilita la colaboración entre equipos, mejora el análisis de impacto ambiental del proyecto, además que contribuye a la reducción del desperdicio de material.

2.3.2. Plan de Ejecución BIM

Un plan de ejecución BIM adecuadamente elaborado es un ejemplo de herramienta que reduce el desperdicio al dar claridad a los roles y entregables. Usualmente describe:

1. Las metas del uso de BIM en el proyecto, que puede incluir coordinación, estimación de costos, plano llave o guía, generación de dibujos, gestión de la infraestructura, entre otros usos.

2. Los roles y responsabilidades de los usuarios involucrados en el proceso BIM y una descripción detallada de las tareas que realiza cada uno.
3. El nivel de detalle (LOD) que los modelos van a desarrollar, la secuencia en que este nivel de detalle se realizará y los responsables del desarrollo del mismo.
4. La convención de nomenclaturas y la interoperabilidad de los diferentes sistemas que se usarán, así como la fuente confiable de la información para cada una de las diferentes especialidades en el modelo BIM.
5. Los protocolos para compartir los modelos y los procesos para usar los modelos según los objetivos planteados

De esta manera el equipo entero puede desarrollar un entendimiento cabal de como BIM se puede usar en el proyecto. Además, es un buen ejemplo de cómo realizar la información integrada. (Fischer et al., 2017)

2.3.3. Entornos Colaborativos

Durante la ejecución de un proyecto de construcción, los arquitectos e ingenieros involucrados, cooperan por un largo periodo en diferentes disciplinas y áreas. Además, un proyecto de construcción es una composición de distintas fases, empezando con el diseño, seguido de la construcción y finalmente la fase de operación; la Figura 2.5 muestra cómo evoluciona la información dependiendo de la fase. Debido a la cantidad de disciplinas, existe un gran número de involucrados en diferentes fases y los requerimientos de soporte técnico para esta colaboración en términos de consistencia y coherencia son bastante altos. Un requerimiento esencial para el planeamiento basado en BIM es resiliente y con soporte técnico para gestión, información y procesos de comunicación. (Preidel et al., 2016)

Un Entorno Colaborativo o “Common Data Environment” (CDE) es aquel que representa un espacio central para colaboración, gestión, evaluación y compartir información. Todos los participantes del proyecto, reciben información del entorno colaborativo y devuelve su información a la misma. El entorno colaborativo almacena el modelo de coordinación, todos los modelos adicionales o parciales, las

bases de datos y documentos, que son necesarios para el desarrollo del proyecto. (Preidel et al., 2016)

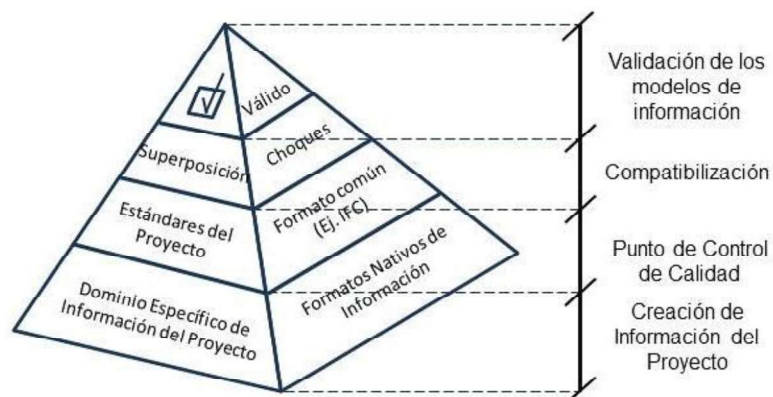


Figura 2.5. Información del proyecto durante una construcción con BIM. Adaptado de Preidel et al. (2016)

2.4. INGENIERÍA CONCURRENTE INTEGRADA - ICE

La Ingeniería Concurrente Integrada o ICE por sus siglas en inglés, es una manera de organizar un equipo de diseño que permite a los interesados de un proyecto de diferentes disciplinas el participar de manera conjunta para desarrollar diseños integrados de manera rápida. (Kunz y Fischer, 2012)

Chingay (2015) señaló que ICE puede trabajar potentemente el producto y producción de un proyecto en sus etapas de definición, diseño e ingeniería y construcción. La agrupación de las partes con autoridad para dar las soluciones de los problemas que conllevan un proyecto, usando ICE, les permite lo siguiente:

- a) Evitar discusiones innecesarias y acciones de retrabajo.
- b) Mejorar la gestión del tiempo.
- c) Lograr un ambiente de trabajo productivo.
- d) Asegurar la reducción de los tiempos de respuesta de las partes involucradas.

- e) Mejorar la calidad del producto final.
- f) Mayor integración de procesos.

Bajo el enfoque de Fischer et al. (2017), debido a que hay demasiadas prácticas de trabajo integradas que se basan en la colaboración y consistentemente en tener rápida retroalimentación por sus compañeros, es extremadamente importante que el equipo este parcial u ocasionalmente co-localizado. Es decir, la co-localización se refiere a la ubicación de los involucrados en un mismo espacio físico. Para permitir el trabajo co-localizado, en un proyecto grande los miembros del equipo deben ser localizados en una sola oficina, grande y abierta, llamada usualmente como “Big Room” como se aprecia en la Figura 2.6; en proyectos más pequeños, pueden pasar dos o tres días por semana o intersemanal, trabajando de manera conjunta en un “Big Room” o durante Sesiones ICE.

Si bien de lo descrito, se entiende que es importante la interacción de los involucrados y es recomendable que sea un mismo espacio físico, es relevante entender cómo se puede organizar los equipos de trabajo de modo que el estar reunidos y co-localizados no genere tiempos improductivos. Además, que requiere un análisis especial del tipo de actividades que se realizarán, pues ICE al ser el pilar relacionado a la interacción de personas, va a ser el soporte de los otros dos pilares BIM y PPM.



Figura 2.6. Ejemplo de “Big Room” para Sesiones ICE. Propiedad TSC-AASA

2.4.1. Trabajo en Cúmulos – “Clusters”

En procesos que involucran equipos multidisciplinarios y multifuncionales, es importante organizarlos en cúmulos o “clusters” por su nombre original en inglés y algunas veces en Equipos de Implementación de Proyecto o PIT por sus siglas en inglés, compuesto de personas con la capacidad requerida para el diseño, construcción y de proveedor. Cada cúmulo debe tener un líder y entre los líderes de cúmulo se debe tener comunicación directa de modo que cada cúmulo deba saber lo que está realizando el otro y a su vez, los líderes pueden asumir o formar parte del equipo de gerencia del proyecto que finalmente toman decisiones basados en el trabajo de los equipos y dichas indicaciones son dirigidas luego por los líderes a sus respectivos equipos. En la Figura 2.7 muestra cómo se organizan. (Fischer et al., 2017)

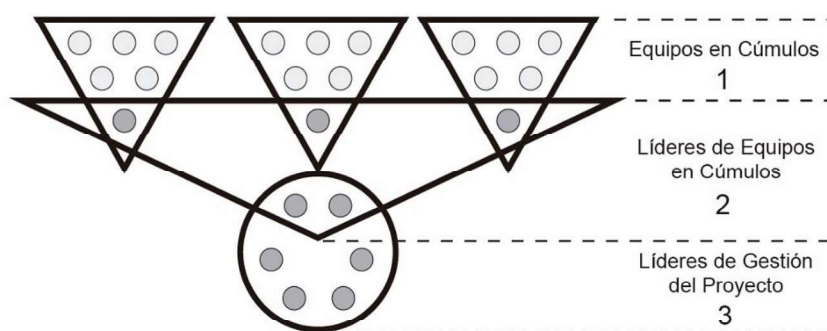


Figura 2.7. Organización de cúmulos de trabajo. Adaptada de Fischer et al. (2017)

2.4.2. Interdependencias de procesos

Fischer et al. (2017), basado en términos sociológicos, resumen la interdependencia de procesos en tres tipos: agrupados, secuenciales y recíprocos:

- (a) Agrupados: Es el trabajo generado en grupos, equipos, departamentos independientemente y luego contribuyen a lo que otros grupos trabajaron como se muestra en la Figura 2.8, para formar un único producto o servicio íntegramente.

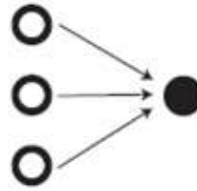


Figura 2.8. Esquema de trabajo agrupado. Fischer et al. (2017)

- (b) Secuenciales: Es el trabajo donde una unidad de trabajo generado por un grupo, necesita como base el trabajo que otro grupo generó y a su vez su trabajo funciona de base para el trabajo de un grupo siguiente como se muestra en la Figura 2.9.



Figura 2.9. Esquema de trabajo secuencial. Fischer et al. (2017)

- (c) Recíprocos: Es el trabajo donde el trabajo de un grupo A contribuye al trabajo de un grupo B y viceversa como se muestra en la Figura 2.10. Justamente este tipo de interdependencia necesita un fluido envío de información entre todos los grupos involucrados.

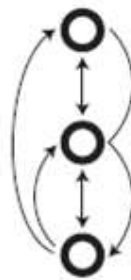


Figura 2.10. Esquema de trabajo recíproco. Fischer et al. (2017)

La Figura 2.11 muestra lo que Fischer et al. (2017) señala como los procesos agrupados, secuenciales y recíprocos en el diseño y construcción interactúan en el tiempo. Un pequeño grupo multidisciplinario – multifuncional diseña el producto, organización y procesos a través de alta interacción. Una vez que los equipos en cúmulos están organizados y empiezan a funcionar, estos pueden trabajar en desarrollar sus propios conceptos originados desde los líderes de diseño y construcción, pasando del trabajo en su propio grupo a tener la confianza para solicitar información en otros cúmulos de trabajo. Tradicionalmente, la proporción de interdependencia secuencial era alta tanto en diseño como en construcción, especialmente cuando los contratistas eran excluidos completa o parcialmente de participación en el diseño. Con un aumento en las últimas décadas, los contratistas generales han optado por más interdependencias agrupadas para acelerar el trabajo de construcción. A pesar que el trabajo recíproco es más valorado durante el diseño y preconstrucción, este puede ser muy costoso durante la construcción en términos de productividad, tiempo, seguridad y calidad, llevando a quejas de los subcontratistas debido a baja productividad y alto costo.

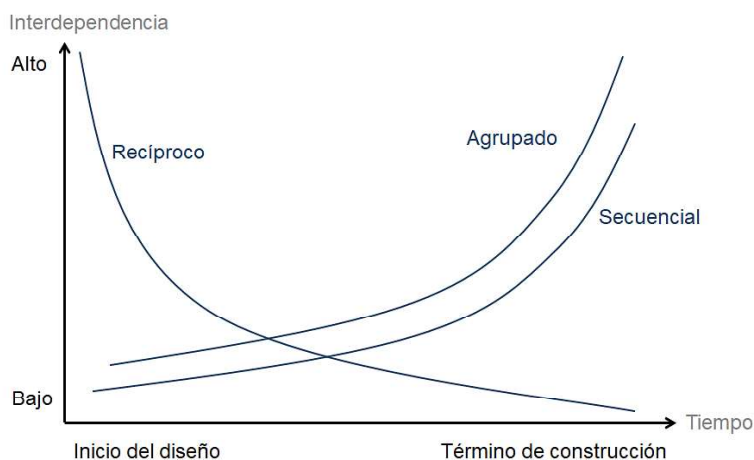


Figura 2.11. Interdependencia de procesos a través del tiempo. Adaptado de Fischer et al. (2017)

2.5. GESTIÓN DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN - PPM

Según el Project Production Institute (2022), la gestión de procesos de producción, o PPM por sus siglas en inglés, es el desarrollo y aplicación de teorías modernas de producción, principios y métodos para el mejor entendimiento, control y mejora de la entrega de un proyecto. Esto incluye la aplicación de ciencia de operaciones y tecnologías digitales y autónomas.

Según Shenoy y Zabelle (2016) desde el año 2000 estamos durante la Era 3 de la gestión de proyectos, una era donde se consideran los proyectos como sistemas de producción y donde se busca utilizar la menor cantidad de recursos para obtener la máxima rentabilidad para los inversores del proyecto. En esta era, es clave la aplicación de la filosofía “Lean Construction” como base para todo óptimo trabajo de construcción la cual justamente busca lograr estos objetivos mediante diferentes herramientas de gestión.

El “Lean Construction” surge en agosto de 1992, cuando el investigador finlandés Lauri Koskela publicó en la Universidad de Stanford el reporte “Technical Report #72, Application of the New Production Philosophy to Construction”. Un año más tarde, el Dr. Koskela invitó a un grupo de especialistas en construcción al primer workshop de esta materia en Finlandia, dando origen al International Group for Lean Construction (IGLC) lo que ha permitido extender la filosofía a Estados Unidos, Europa, América, Asia y Oceanía. (Alarcón, 2012)

Posteriormente, nace la Gestión de Producción de Proyectos, que busca optimizar el costo, el tiempo y el alcance con el diseño de procesos, capacidad, inventario y variabilidad como “palancas”. Su enfoque de diseño es diferente del convencional porque busca como diseñar procesos contando con el impacto de variabilidad a través de la ubicación estratégica de “buffers” dentro del proceso. Más aún, la ciencia de gestión de operaciones dicta que los “buffers” son una combinación de inventario, capacidad y tiempo y no solo de capacidad. PPM toma en consideración todo esto para la optimización de la entrega de proyectos. (Shenoy y Zabelle, 2016)

2.5.1. Diferencia entre Control de Proyectos y Control de Producción

Es pues el Project Production Institute quien, a través de sus profesionales, fomenta esta nueva forma de ver la construcción bajo una visión más enfocada en manufactura. Si bien el término como tal no se usa hace más de una década atrás, todo lo que implica es fruto del desarrollo de técnicas que se vienen usando tiempo atrás, ya sea en la construcción misma o en otras industrias. La crítica esencial que se hace al sistema tradicional de gestión de proyectos, como indica Arbulú et al. (2016), es que han establecido los controles de proyectos habituales en herramientas contables y de reporte, más que en algo que efectivamente puede controlar y planificar producción.

Sin embargo, esto no implica que sean conceptos que se contradicen o que se debe escoger uno en lugar del otro, en cambio, como se aprecia en la Tabla 2.3 son dos fuentes diferentes de conocimiento y prácticas que se complementan y se dan soporte entre sí. La gestión de proyectos es dirigida por requerimientos contables y de estimación de control de costos, para actualizar sistemas financieros y reportar el estado del proyecto para dar soporte a dicho requerimiento del negocio. La gestión de producción en cambio dirige el cómo es que el trabajo es ejecutado para entregar el requerimiento de negocio. El control de producción otorga los puntos a través de los cuales el progreso real es medido, controlado y entregado. Los datos de salida de los controles de producción, son los datos de salida para los controles de proyecto. (Arbulú et al., 2016)

Tabla 2.1 Atributos clave de Controles de Proyecto y de Producción. Arbulú et al. (2016)

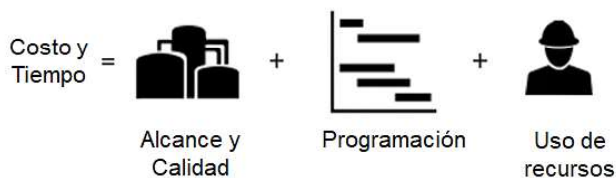
Control de Proyectos	Control de Producción de Proyectos
Planificación centralizada	Planificación distribuida
Descripción de Tareas	Tareas específicas a realizar
Enfocado en reportes	Enfocado en optimización de la ejecución del trabajo

Tanto la Gestión de Proyectos y la Gestión de Producción de Proyectos es una suma de factores, tal como se aprecia en la Figura 2.12. Es por tanto que para

poder aplicar correctamente lo recomendado por la Gestión de Producción de Proyectos se debe:

- Realizar el Diseño de Procesos y no solo una Programación de Obra tradicional.
- Tener una medición de la capacidad de cada ejecutor de procesos (normalmente de proveedores).
- Tener en cuenta la variabilidad en los procesos y ante esto manejar inventario (o WIP) para equilibrar estos.

Gestión de Proyectos



Gestión de Procesos de Producción (PPM)

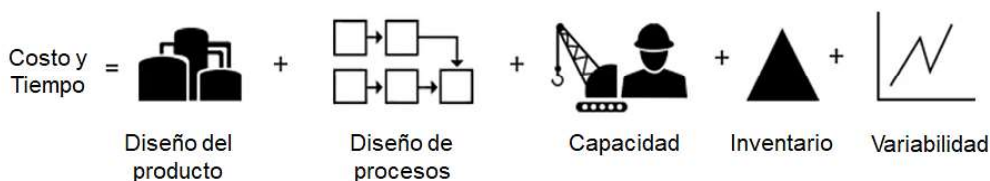


Figura 2.12. Diferencias entre Gestión de Proyectos y PPM. Arbulú et al (2016)

2.5.2. Diseño de procesos según PPM

Basado en lo analizado en la Era 3 que describe Shenoy y Zabelle (2016), y la aplicación de Gestión de Producción de Procesos como nuevo paradigma, se debe entender los proyectos como un producto y para tal, se debe diseñar los procesos a seguir que obtienen como resultado dicho producto requerido. Para esto se debe revisar algunos conceptos básicos y lo que es un sistema de producción en sí.

La Figura 2.13 muestra un Sistema de Producción en el cual las operaciones están lo suficientemente bien definidas como para que cada una tenga un tiempo

individual de ciclo y un resultado, y los inventarios resultantes satisfacen los requerimientos básicos para que una teoría de predicción pueda ser aplicada (por ejemplo, una teoría de tiempos de espera). Considerando esto, es posible aplicar herramientas analíticas como la Ley de Little o la Fórmula de Kingman para poder obtener conclusiones del tiempo total de ciclo y los resultados de todo el sistema de producción, el nivel máximo de WIP en el sistema y la respuesta a la variabilidad. Los sistemas de producción son simples redes formadas por la secuencia de operaciones en serie y paralelo, que cumplen ciertas reglas, alimentadas por inventarios y “stocks”, para las cuales se pueden aplicar técnicas matemáticas, de predicción, teorías gráficas u otros campos de ciencia de operaciones. (Shenoy, 2017)

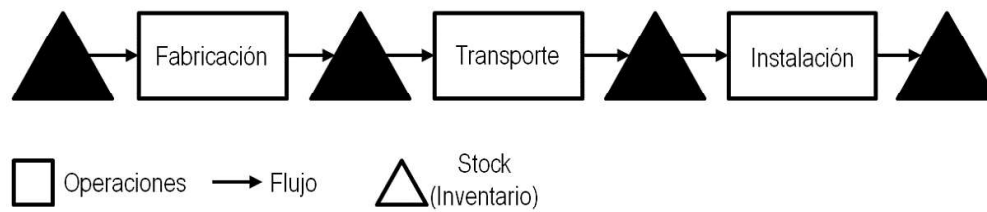


Figura 2.13. Ejemplo de Sistema de Producción. Shenoy (2017)

Las siguientes definiciones son importantes para entender los sistemas de producción:

- Operación:** En el contexto de un Sistema de Producción, se usa la palabra operación para referirse a una acción discreta que implica una transformación, por ejemplo, el más básico elemento que tiene un resultante definido, tiempo de ciclo y un “stock” o inventario.
- Proceso:** Un uso común es “una serie sistemática de operaciones mecánicas o químicas que se realizan para producir algo”. Expandiéndose a la manufactura o construcción para incorporar los servicios o trabajos de conocimiento (como diseño e ingeniería), adoptamos “una serie de acciones o paso para lograr algo”. Implícitamente en esto es cuánto tiempo toma, y la secuencia de operaciones logradas al conectarlas.

- c. Sistema: Una serie de procesos trabajando juntos para un trabajo interconectado. Las características principales son las nociones de operaciones individuales concatenados juntos en una ruta o línea, o con conexiones más complejas dónde se tengan otras líneas o rutas (de producción) en paralelo conectadas. Esta característica esencial hace que el concepto sea ameno para aplicar herramientas matemáticas o investigación de operaciones, como teoría de grafos o de predicciones.
- d. Producción: Redes de procesos interconectadas, donde cada proceso es una secuencia de operaciones, que transforma material de ingreso en material resultante. En cada ingreso y resultante de cada operación, se acumula trabajo en procesos, así se generan colas de espera en cada espera a la siguiente operación. Cada operación tiene un tiempo de ciclo y un resultante de producción (con ratios de tiempo donde se completan cierto paquete de producción). Una unidad de trabajo en proceso en un inventario, tiene un tiempo de espera hasta que pueda aceptarse en el siguiente proceso. Considerando esta serie de estipulaciones, los sistemas de producción permiten aplicar toda la potencia de ciencia de análisis de ciencia de operaciones. (Shenoy, 2017)

Las aplicaciones de la metodología VDC en proyectos en Perú están enfocadas en edificaciones comerciales, dentro de las cuales se ha tenido buenos resultados, aunque su aplicación se ha enfocado en el desarrollo del modelamiento virtual BIM y la coordinación bajo ingeniería concurrente ICE. Chingay (2015) implementó VDC a través del equipo contratista de construcción en una edificación comercial, lo que concluyó en una reducción del tiempo de compatibilización entre especialidades y logró un 80% de ingeniería resuelta previo al inicio de construcción. Corrales y Saravia (2020) implementaron VDC en la etapa de diseño para la reducción de plazo en tres proyectos de edificaciones, donde su principal impacto fue en la reducción del tiempo de respuesta a los RFI a través de sesiones ICE. Celis y Huamani (2020) propusieron el uso de VDC para la gestión de proyectos, sugiriendo su aplicación dentro de un modelo de producto, organización y procesos, aunque con orientación a la aplicación de PPM como una propuesta teórica.

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

3.1. Alcance General del proyecto

El proyecto Modernización del Terminal Portuario Multipropósito de Salaverry, está compuesto por dos (2) muelles y cuatro (4) almacenes de los cuales salvo dos están divididos en dos subetapas, además de edificios y estructuras auxiliares. Específicamente, están comprendidas las siguientes áreas:

- a) Muelle 1
- b) Muelle 2
- c) Silos para Maíz y Trigo (Etapas 1 y 2)
- d) Almacén para Soya (Etapas 1 y 2)
- e) Almacén para Fertilizantes (Etapas 1 y 2)
- f) Almacén para Minerales
- g) Edificios Auxiliares

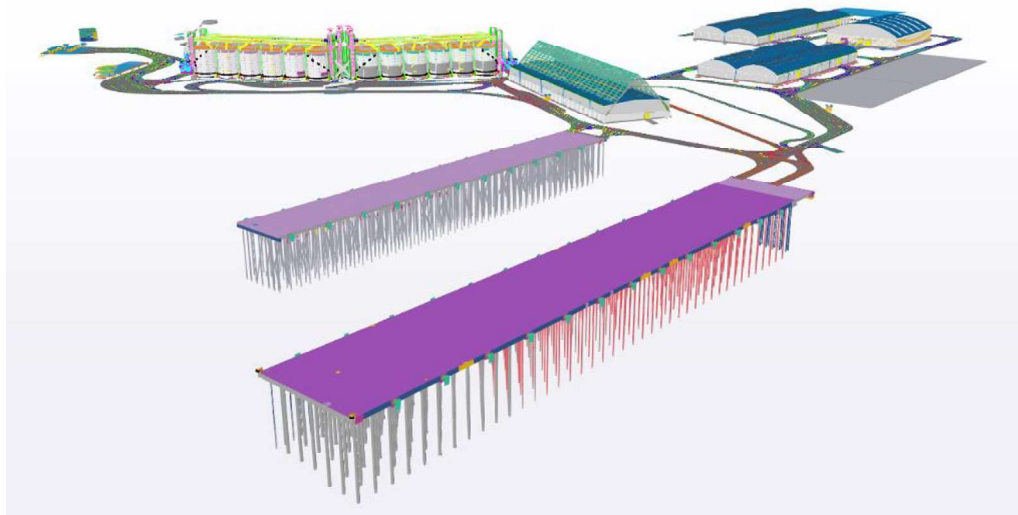


Figura 3.1. Ubicación general del Puerto Salaverry. Elaboración propia

El proyecto total involucró 65 000 m³ de concreto, 100 000 m² de encofrado y 7000 toneladas de acero, la etapa de obra civil se desarrolló desde mayo del 2020 hasta abril del 2022.

Todas las áreas están subdivididas con un índice AP (Área Portuaria), para su identificación. El proyecto inicial contempló que el Muelle 1 fuera dividido en dos etapas, la primera de reparación del muelle existente y la segunda de ensanchamiento del mismo. El Muelle 2 si bien representaba una construcción completa, involucraba la recuperación de las cabezas de pilotes ya existentes. En las obras de tierra además de los almacenes descritos, se tienen salas eléctricas, garitas, edificios administrativos y demás estructuras que permitan el correcto funcionamiento de toda la infraestructura portuaria. Si bien el proyecto incluyó la construcción de almacenes para soya, fertilizantes y minerales, el presente documento describirá la construcción de los Muelles 1, 2 y los Silos para Maíz y Trigo (Etapas 1 y 2)

3.2. AP-12 MUELLE 2

El Muelle 2 comprende un área de un aproximado de 7000 m², con 30 m de ancho y 230 m de largo más los elementos de conexión terreno. La cimentación es en base a pilotes (Figura 3.2), pero dado que existía un muelle antiguo se contempló que se corte los pilotes existentes hasta cierto nivel y se recupere los cabezales de todos los pilotes. Superior a la cabeza del pilote, se tienen capiteles prefabricados en cada uno de los nudos. Asimismo, en todo el eje longitudinal central, donde se tienen grupos de pilotes inclinados, se usaron losas de soporte de forma rectangular para la colocación aisladores sísmicos en la parte superior (Figura 3.3).

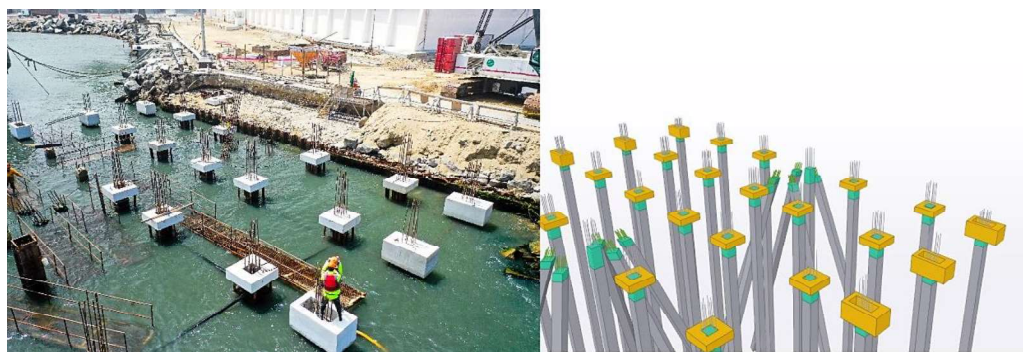


Figura 3.2. Cimentación de Muelle 2. Elaboración propia-CRT

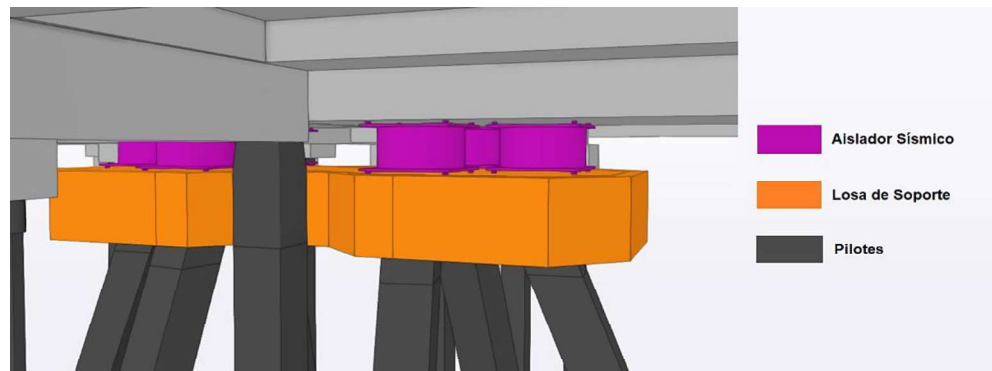


Figura 3.3. Aislamiento de base en eje central de Muelle 2. Elaboración propia

En la Figura 3.3 se puede diferenciar en color naranja los elementos tipo losa de soporte, que sirven de conexión entre el grupo de pilotes y la losa de tablero, a través de los aisladores sísmicos. Con la validación estructural y de secuencia constructiva, en la Figura 3.4 se puede diferenciar tres etapas de construcción de esta conexión, de izquierda a derecha: Recuperación de pilotes, colocación de losa de soporte, colocación de aisladores.



Figura 3.4. Losas de Soporte. Elaboración propia-CRT

La superestructura que soporta el tablero, está compuesta de vigas transversales (al eje principal), vigas y losas (Figura 3.5) apoyadas sobre ellas que componen toda la estructura principal de conexión a la cimentación. Si bien en el proyecto inicial se consideraron elementos prefabricados para las vigas y losas, estos solo eran en los elementos sobre las vigas transversales lo cual era solo a nivel de tablero. Posteriormente, se amplió la cantidad de elementos a construir, debido a motivos tanto constructivos y de condiciones estructurales, considerando así vigas transversales, capiteles y recuperación de pilotes (Figura 3.6)



Figura 3.5. Elementos prefabricados tipo viga y losa. Elaboración propia-CRT

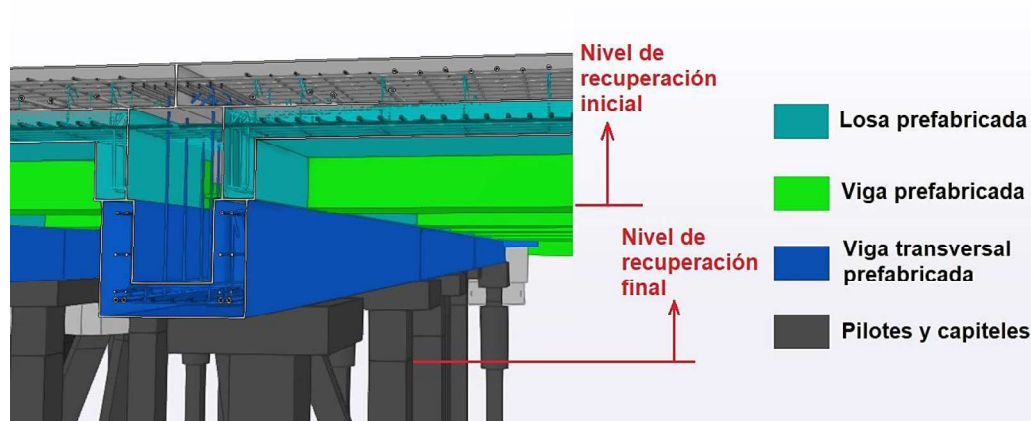


Figura 3.6. Cambio de nivel de recuperación. Elaboración propia

Se debe tener en cuenta que habían elementos prefabricados, pero estos no incluían el total de concreto a colocarse, sino un porcentaje. Estos prefabricados estaban pensados para ser en parte moldajes de lo que se iba a colocar en sitio, evitando que se necesite encofrado en el lugar de vaciado final. Las vigas tenían forma de U, con paredes delgadas (15 a 20 cm) que posteriormente iban a complementarse con el vaciado en sitio (Figura 3.7). Esta forma también permitía que tengan un peso controlado, no más de 20 Ton, el promedio final oscilaba entre 7 a 15 Ton.

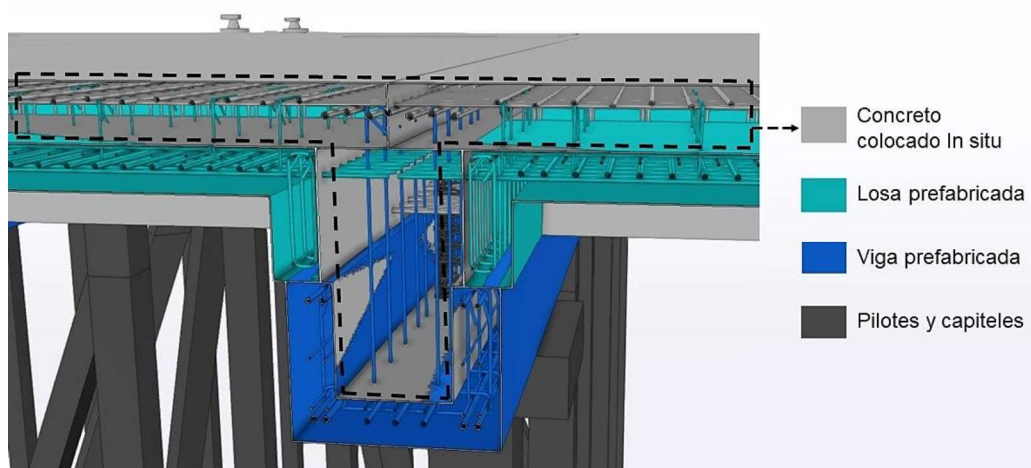


Figura 3.7. Tipos de colocación de concreto. Elaboración propia

La conexión con el terreno es mediante una viga transversal en L en el primer eje, como se muestra en la Figura 3.8, esta viga no fue prefabricada y se ejecutó al iniciar la colocación de prefabricados pues este era un extremo de apoyo para los primeros ejes. Sobre este también se apoyaban losas de transición (hacia tierra) inclinadas, en la Figura 3.9 se ven en color azul, con una junta metálica a lo largo de todo el ancho. Los elementos adicionales para la infraestructura son elementos metálicos tipo defensas laterales ancladas en paramentos de concreto armado, color naranja en la Figura 3.9, y defensas frontales en las esquinas del lado mar y bolardos para el amarrado de las embarcaciones distribuidos a lo largo de todo el tablero, que implicaban una cantidad considerable de conexiones con insertos metálicos.

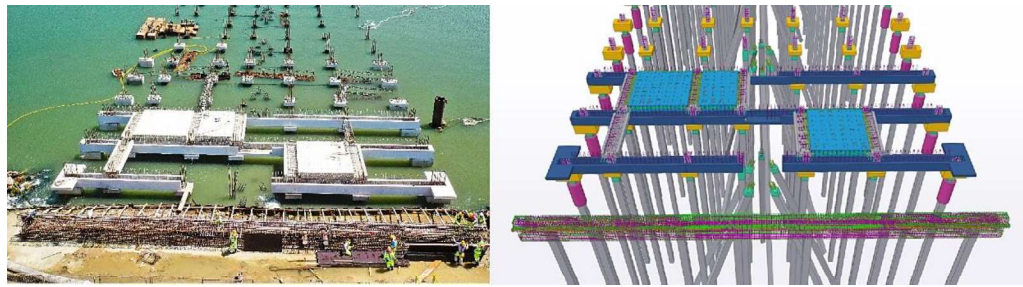


Figura 3.8. Conexión con tierra del Muelle 2. Elaboración propia-CRT

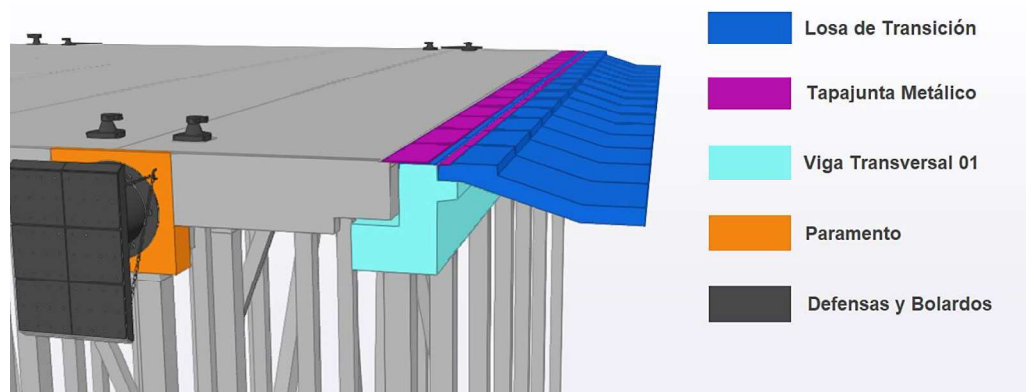


Figura 3.9. Elementos de borde en Muelle. Elaboración propia

3.3. AP-13 MUELLE 1

El Muelle 1 originalmente estaba compuesto por la reparación del muelle existente y una extensión al mismo, como se muestra en la Figura 3.10. Posteriormente, por motivos constructivos y de condiciones estructurales, se construyó un muelle nuevo (Figura 3.11), es decir demoliendo todas las estructuras existentes y manteniendo el ensanche y extensión previsto. El área total del muelle son aproximadamente 11 500 m², con 43 m de ancho y 267 m de largo. La cimentación fue igualmente construida sobre pilotes completamente, sin recuperación. Posteriormente y similar al muelle contiguo, la conexión es subestructura basada en capiteles y vigas transversales (Figura 3.12). Sobre estos se apoyan vigas y losas prefabricadas.

Finalmente, la superestructura es losa de tablero de concreto colocado en sitio y demás elementos complementarios a la estructura.

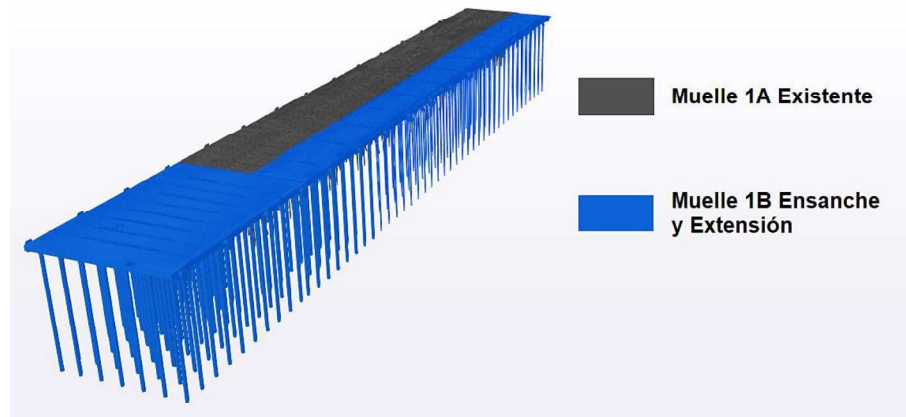


Figura 3.10. Diseño inicial de construcción de Muelle 1 (Compuesto de 1A y 1B). Elaboración propia

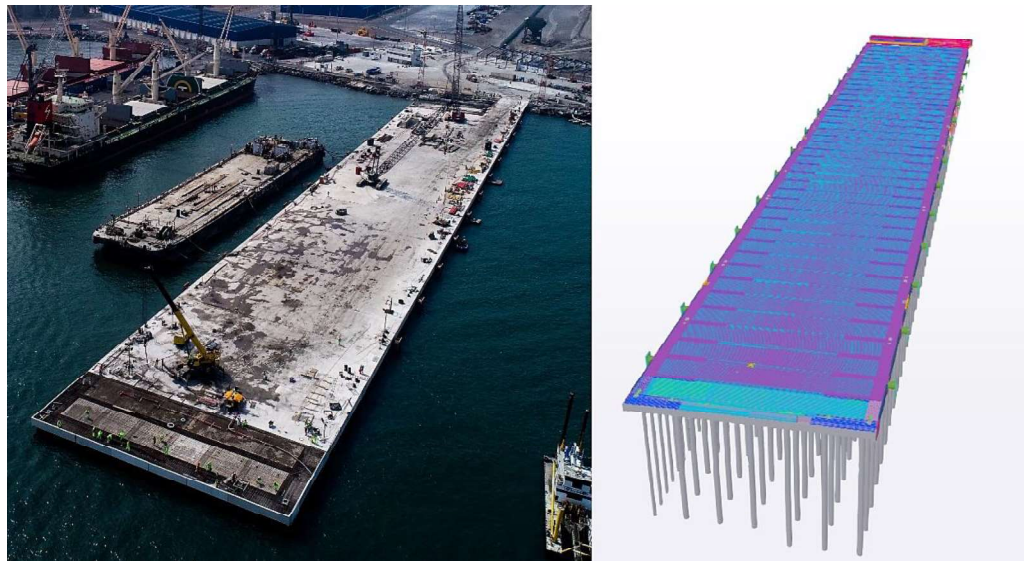


Figura 3.11. Diseño final de Muelle 1 (Unificado). Elaboración propia-CRT

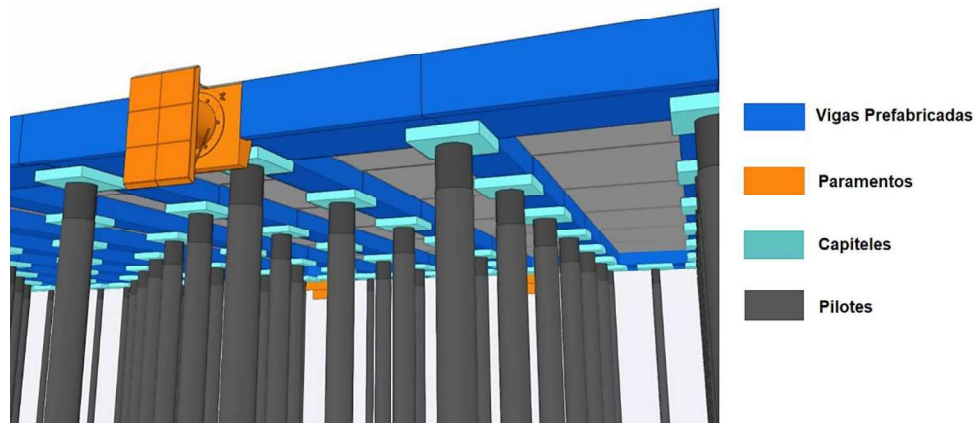


Figura 3.12. Estructuración de Muelle 1. Elaboración propia

A diferencia del muelle contiguo, la conexión con el lado tierra debido al ensanchamiento, necesitaba una estructura especial debido a motivos estructurales y de cimentación, finalmente realizado similar a un puente de pequeña longitud (Aproximadamente 20 metros de longitud). Este es compuesto por vigas longitudinales tipo T prefabricadas y un tablero como losa de concreto colocado en sitio como aprecia en la Figura 3.13. En el extremo con conexión a tierra tiene viga transversal donde descansa toda la estructura.

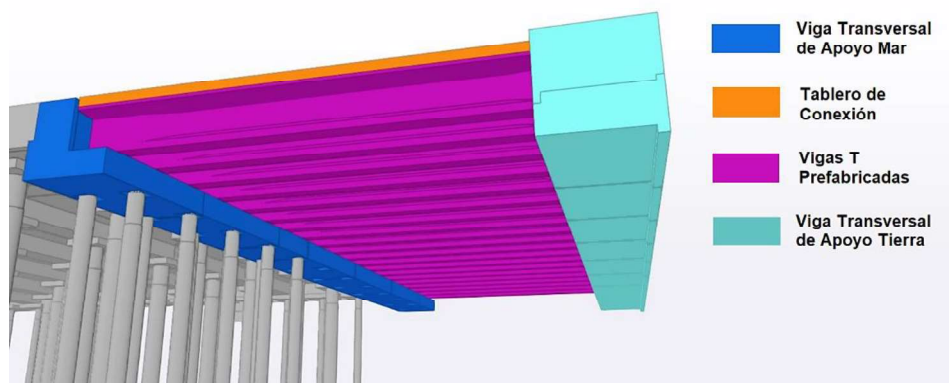


Figura 3.13. Conexión con tierra del Muelle 1. Elaboración propia

3.4. AP-15 Y AP-107 SILOS PARA MAÍZ Y TRIGO

El área de Silos para Maíz y Trigo comprende un total de 24 silos (12 silos por etapa). Cada silo de concreto armado de 16 m de diámetro y 21 m de alto, está subdividido por cuatro partes y cada cuadrante unido por una columna hacia el siguiente. La cimentación de cada silo es formada por una zapata circular y un cáliz conectado a este, en donde los muros circulares tipo prefabricado se unen al cáliz mediante barras colocadas en cajuelas y vaciadas posteriormente con grout.

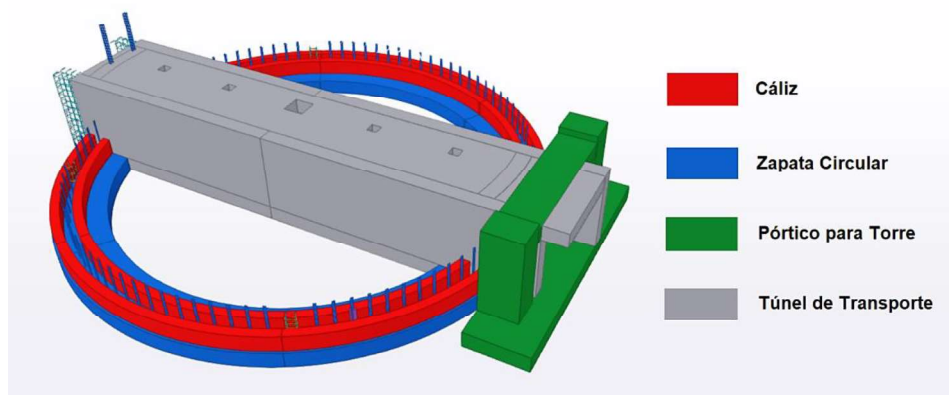


Figura 3.14. Cimentación de silos. Elaboración propia

Todos los silos tienen una puerta de inspección, localizada justo encima de un túnel (Figura 3.15) que une cada hilera de seis silos hacia la zona de elevadores central, ubicada en la parte central que funciona como transportador, donde la parte electromecánica se conecta para que la instrumentación permita el flujo de granos. Cada túnel a su vez tiene pedestales y viga de conexión ubicados entre cada silo para servir de cimentación a las torres que conectan hacia el techo metálico de cada silo. Los silos a su vez tienen en la parte inferior una ventana lateral a cada lado para ventilación y a lo largo del túnel llevan puertas que permiten inspección y mantenimiento de la faja transportadora que pasa a lo largo de este.

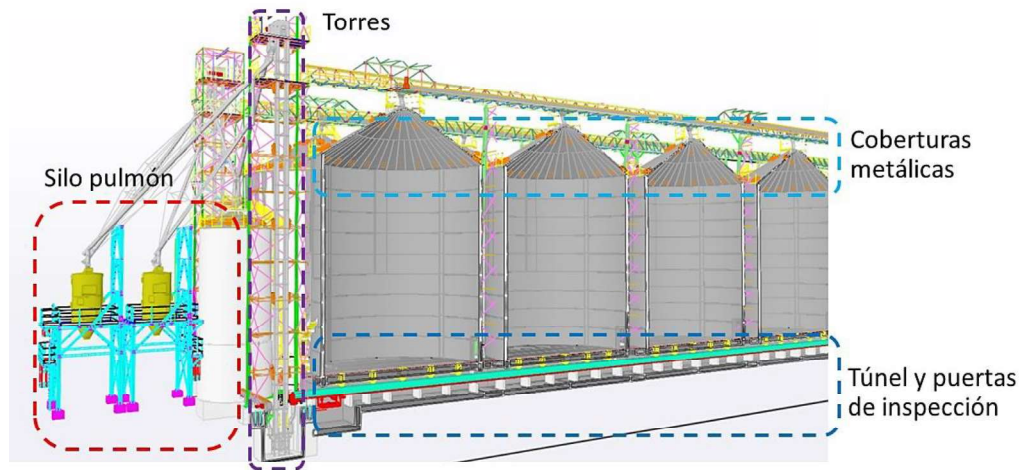


Figura 3.15. Corte sección transversal de Silos. Elaboración propia-CRT

El transportador central, está formado por cuatro tolvas en un extremo (Figura 3.16), desfasadas de modo permita el funcionamiento paralelo para recibir descargas del grano (el nivel superior del transportador coincide con el nivel de la vía para el transporte). Internamente está conectado hacia cuatro elevadores, que se conectan a cada línea de seis silos, como se describió anteriormente. Si bien cada elevador tiene una zapata o zapata combinada (para los elevadores traseros), todo el transportador central está cimentado sobre una platea.

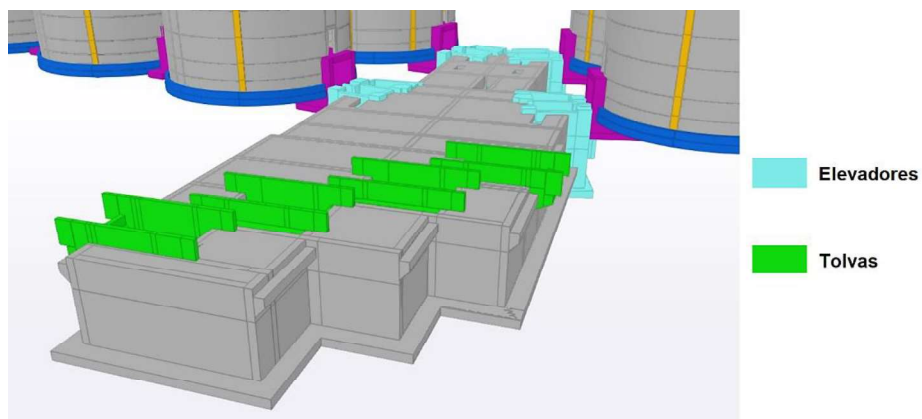


Figura 3.16. Vista superior de Transportador de rastras. Elaboración propia

Finalmente, en ambos extremos del total de los silos, está ubicado un silo central, denominado Silo Pulmón, conformado por un fuste en el base cimentado en una sola zapata circular (Figura 3.17) y que sirve de aporte al funcionamiento electromecánico de las instalaciones. Por sobre el fuste, se erigen niveles de silo también divididos en elementos prefabricados y columnetas de conexión. Este silo pulmón está centrado al final de los túneles que tienen un elevador cada uno y una zona de elevadores central y propia para acceso al propio silo.

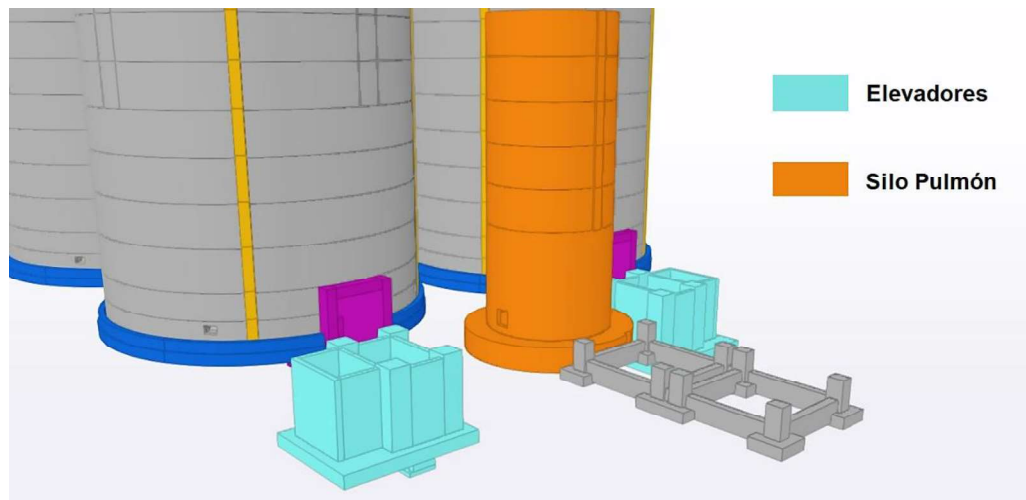


Figura 3.17. Vista Silo Pulmón y Elevadores. Elaboración propia

CAPÍTULO IV. DESARROLLO Y APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA VDC

4.1. EQUIPOS DE TRABAJO

Para poder maximizar la eficiencia del proyecto, evitando errores de alto impacto o prever contradicciones dentro de este, la aplicación de VDC se usó como la mejor alternativa para la etapa de diseño. Para ello, el equipo de construcción que fue adjudicado al proyecto tuvo bastante en claro que parte complementaria a esto era intentar industrializar de la manera posible, ya sea mediante elementos en serie o prefabricados. Por supuesto esto implicaría un trabajo de rediseño asumido por ellos, pero que en el balance final aportaría positivamente para el desarrollo de la construcción y mantenimiento del mismo.

De este modo, el constructor optaría por sumar equipos con diseñadores y proveedores que se ajusten a sus requerimientos. Así los equipos quedaron conformados por:

Construcción:

- a) Consorcio Redram Tucuman

Diseño:

- b) Redav Engenharia
- c) Baggio Engenharia

Proveedores:

- d) Aceros Arequipa
- e) Cementos Pacasmayo

4.2. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

Según lo expuesto y desarrollado por CIFE (2020) a comparación del desarrollo tradicional de un proyecto, donde cada interesado tiene objetivos particulares, en un proyecto donde se aplica VDC es imperativo que todos los participantes tengan un objetivo general común y que sea este el que los mantenga alineados.

Si bien los proveedores y diseñadores descritos anteriormente impulsan el desarrollo del proyecto, evidentemente todo el grupo era dirigido por el equipo de construcción. Con las primeras reuniones en la cotización y cierre comercial de contratos con proveedores y diseñadores se tuvo definido los principales objetivos individuales. De manera resumida, estos se detallan por equipos:

- a) Cliente Final: Enfocado en la operación de la infraestructura a tiempo
- b) Constructor: Enfocado en optimizar tiempos y costos
- c) Diseñadores: Enfocado en minimizar reprocesos de diseño y cambios
- d) Proveedores: Enfocado en maximizar su suministro especializado

Sumado a cada uno de los objetivos individuales, en el primer mes de desarrollo del proyecto, se enfoca todos objetivos hacia uno en común. Según recomendaciones de Kunz y Fischer (2012), una limitante de la aplicación de VDC es que generalmente todos buscan minimizar costos, pero lo que debe buscarse en realidad es maximizar el valor del producto o proyecto en esta aplicación. Para consensuar objetivos y lograr sentar las bases del trabajo, se llevaron a cabo reuniones presenciales y virtuales para poder sintetizar sus requerimientos y dar forma a los objetivos, priorizando el valor del proyecto y su pronta puesta en marcha.

La Figura 4.1 resume de manera sencilla los dos principales tipos de metas y los principales tipos de objetivos de funcionamiento necesarios para definir el valor del proyecto. Siguiendo esto y teniendo en cuenta que la Figura 4.1 está adaptada para la aplicación de proyectos contemplados desde el diseño y por tanto enfocados en el funcionamiento y sostenibilidad, en el caso de la construcción del Puerto Salaverry la etapa de diseño inicial fue previa a la aplicación de VDC y por tanto los objetivos serán más ceñidos a la parte productiva y de construcción real.

Por este motivo, lo valioso para el cliente final es que su proyecto tenga puesta en marcha a tiempo, en cambio para el equipo de construcción es aumentar su productividad, buscando en lo posible maximizar el rendimiento de los recursos y en caso tenga que hacerse reprocesos, sean durante etapas donde no generen alto impacto en costo.

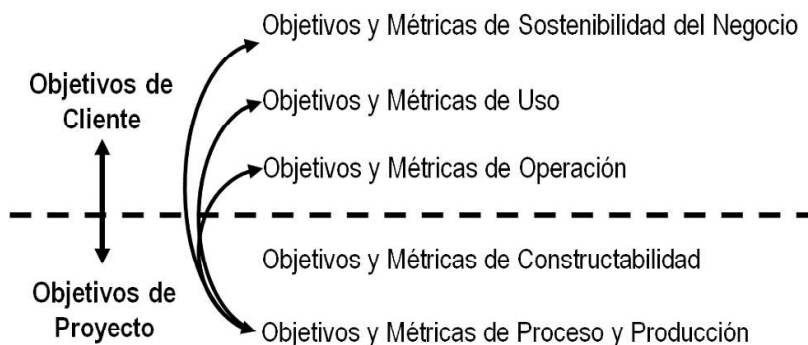


Figura 4.1. Metas y objetivos relacionados. Adaptado de Fischer et al. (2017)

Finalmente, siguiendo estos lineamientos, las metas del proyecto bajo el enfoque IPD, que bajo la aplicación de VDC en realidad son llamados objetivos de cliente y proyecto, fueron los siguientes

- a) Objetivo del Cliente: Completar la construcción del nuevo Puerto Salaverry a tiempo, en el primer trimestre del 2022
- b) Objetivo del Proyecto: Cumplir el cronograma de entrega de ingeniería de detalle al 100%

4.3. PILARES VDC Y PLANTEAMIENTO DE MÉTRICAS

Para los tres pilares BIM, ICE y PPM se deben plantear las métricas que serán usadas para llevar el registro de cumplimiento de tareas o toma de decisiones durante el proyecto. Las cuales, por supuesto, deben estar alineadas a los objetivos de cliente y proyecto. El número de estas puede ser variable o cambiante durante el desarrollo del proyecto, según se requiera o sea favorable para la toma de decisiones. La relación de métricas tomadas para el proyecto se presenta en la Tabla 4.1, con sus categorías y una codificación (para una mejor ubicación en tablas o diagramas de flujo) según a que pilar de VDC corresponden, también se asignó un color de referencia para facilitar su lectura en los reportes compartidos con los demás involucrados en el proyecto.

Tabla 4.1 Métricas de Producción y Factores Controlables. Elaboración propia

Código	Categoría	Descripción	Tipo Métrica	Línea Base	Frecuencia
I-1	ICE	RFIs resueltos	MP	100%	Semanal
I-2	ICE	Sesiones ICE Semanales	FC	1	Semanal
B-1	BIM	Fabricación desde modelo	MP	95%	Diario
B-2	BIM	Modelos a tiempo	MP	100%	Diario
B-3	BIM	Días para revisión ID	FC	5	Diario
P-1	PPM	Cumplimiento de Cronograma de ID	MP	100%	Semanal
P-2	PPM	Registro de Producción	FC	100%	Diario
P-3	PPM	Urgencia de Producción	FC	1	Mensual
P-4	PPM	Porcentaje de prefabricación	MP	30%	Semanal

A continuación, se resume cada una de las métricas según su descripción y método de medición:

- a) I-1: RFI o solicitudes de información son todas las consultas hechas del equipo ya sea por proveedor o constructor hacia los diseñadores. Si bien las consultas pueden ir en todas las direcciones de los equipos, para esta aplicación de VDC se cuantifica las que tienen impacto sobre Ingeniería de Detalle. Esta métrica registra que las consultas emitidas semanalmente sean respondidas al 100%, idealmente en sesiones ICE programadas.
- b) I-2: Sesiones ICE semanales, idealmente todos los equipos de suministro, diseño y construcción se debe reunir para poder resolver consultas o tomar decisiones respecto al desarrollo del proyecto.
- c) B-1: Fabricación desde el modelo. Esto está enfocado a que en lo particular ya sea el acero o encofrado sea hecho a partir de los modelos de ingeniería de detalle y reduciendo así los elementos que son construidos o dimensionados directamente en obra, sin pasar por un modelo de preconstrucción. Cabe resaltar que los modelos BIM de los elementos, eran la base para dos tipos de planos de ingeniería de detalle, de Detallamiento de acero y de formas para encofrado.
- d) B-2: Modelos a tiempo. Esto está enfocado a la producción de acero, encofrado y concreto. Se debe priorizar que los modelos estén alineados los tiempos de producción y transporte de los materiales requeridos para construcción.

- e) B-3: Los días para validación de la ingeniería de detalle de igual modo a la métrica anterior, deben estar alineados a sus tiempos estándar de producción. En este caso sujetos al tiempo de revisión de modelos y planos de detalle como sistema de aprobación. Idealmente los tiempos de ingeniería siempre deben estar holgados, dado que es virtualmente posible tener un stock de ingeniería que no genera restricciones físicas de espacio o material perdido.
- f) P-1: El cumplimiento del cronograma de Ingeniería de Detalle. Esta métrica es clave, pues está directamente relacionada al cumplimiento del objetivo del proyecto de aplicación VDC. Para esto se va a comparar semanalmente el porcentaje de producción planeada versus real. La producción planeada es un cronograma obtenido en consenso con el diseñador y constructor.
- g) P-2: Registro de Producción. Esto es un factor controlable de soporte a la métrica anterior. Puesto que es importante conocer el porcentaje de avance, en específico es importante el conocer cuanto son los avances diarios en modelado, lo cual permitirá llevar la métrica de producción principal.
- h) P-3: Debido a que puede darse el caso que el avance o requerimiento de obra necesite que el tiempo de producción de ingeniería o suministro sea menor a lo contemplado, se debe tener al menos una reserva de producción que sea consensuada con los proveedores para que no se afecte el avance de producción esperado en obra. Esto es entendido como una urgencia de producción, y considerado como un factor controlable de la aplicación de VDC.
- i) P-4: Dentro de la cultura de optimización de procesos que tiene todo el equipo de diseño, suministro y construcción, su meta es poder maximizar la cantidad de elementos estructurales prefabricados, toda vez que de esta manera pueden reducir la variabilidad típica en este tipo de proyectos de infraestructura. Si bien el número es ideal que sea el mayor posible, lo sugerido por el constructor en base a experiencia, es lograr el 30% del total de elementos.

De la certificación de VDC por el CIFE (2020), se sugiere una manera de presentar un marco VDC, que es un esquema gráfico con la información de los objetivos y los

pilares con principal idea fuerza o métrica y que sirve para llevar de manera sencilla pero directa (con el equipo de trabajo) todos los componentes de la aplicación. En este caso el marco que representa la aplicación para el Puerto Salaverry se muestra en la Figura 4.2, donde se muestra tanto el objetivo de Cliente y Proyecto con una idea fuerza de su principal motivación; líneas abajo las tareas principales a realizar o medir correspondientes a cada pilar VDC.



Figura 4.2. Marco de aplicación VDC. Elaboración propia

A continuación, por cada pilar de VDC se detallará lo desarrollado a través del tiempo en las tres áreas de aplicación del proyecto. Enfocándose en lo discutido y resuelto en cada ámbito.

4.4. PILAR BIM – Building Information Modeling

En este caso, el consorcio constructor adjudicó el suministro de acero a la empresa Corporación Aceros Arequipa y a su subsidiaria Tecnología y Soluciones Constructivas S.A.C todo el modelamiento BIM de Estructuras, Arquitectura y MEP, en adelante llamado AASA-TSC. Para el caso de elementos estructurales, la labor productiva para la fabricación está enfocada en el modelamiento del concreto y acero de refuerzo, y para las demás especialidades solo como geometría, no para

fabricación. Estos niveles de detalle, bajo la concepción de la Asociación Americana de Arquitectos son llamadas LOD 400 y LOD 350 respectivamente.

4.4.1. Software y soporte en la nube

El software utilizado para el modelamiento de estructuras de concreto armado es Tekla Structures® de la compañía Trimble, el cual se especializa justamente en este tipo de elementos y su conexión para fabricación. Dado que el proyecto se inició en el primer semestre del año 2020, se tuvo que ajustar las condiciones de trabajo al trabajo remoto debido a la cuarentena global. Para ello, más allá de licencias físicas, se optó por el trabajo usando licencias de Tekla Model Sharing, o de modelos compartidos, el cual almacena todos los datos en servicios en la nube y permite su acceso a cualquier usuario ubicado en cualquier lugar (Figura 4.3). Además, que los cambios y actualizaciones realizados son automáticamente transmitidos, siempre que se tenga conexión a internet.

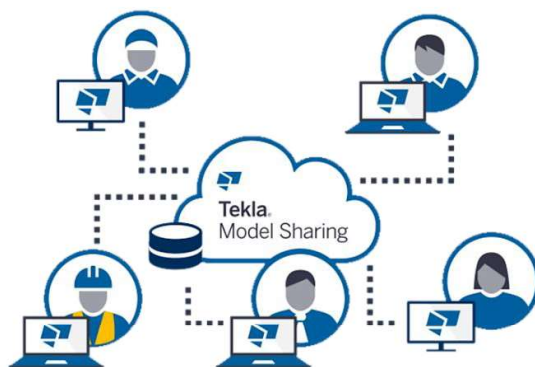


Figura 4.3. Tekla Model Sharing. Corporación Trimble

4.4.2. Modelamiento de Estructuras de Concreto Armado

El inicio del modelado fue con los elementos prefabricados proyectados, en este caso con capiteles, vigas transversales, vigas y losas. Si bien inicialmente las vigas transversales y capiteles fueron planteadas como recuperables del muelle existente, debido a las condiciones reales de la estructura y razones constructivas, se determinó que fueran construidas nuevamente y precisamente se rediseñó

como elementos prefabricados. Para el caso de elementos prefabricados, debido a la tipificación, el tiempo de modelamiento era menor para elementos iguales o similares.

Los principales detalles a tener en cuenta en el modelamiento de elementos prefabricados son:

- a) Principal atención a los recubrimientos. Debido a que los prefabricados deben tener pesos reducidos, sus paredes de concreto se hacen delgadas y considerando que en una zona con exposición al mar debe tener recubrimiento suficiente para asegurar la salud estructural apropiada, el espacio disponible para las piezas de acero y el espaciamiento mínimo para la colocación de concreto es de suma importancia. La Figura 4.4 muestra una viga prefabricada donde su base y paredes laterales contienen estribos y acero de conexión hacia otros elementos, pero a su vez estas paredes actúan de encofrado para el concreto colocado en sitio.

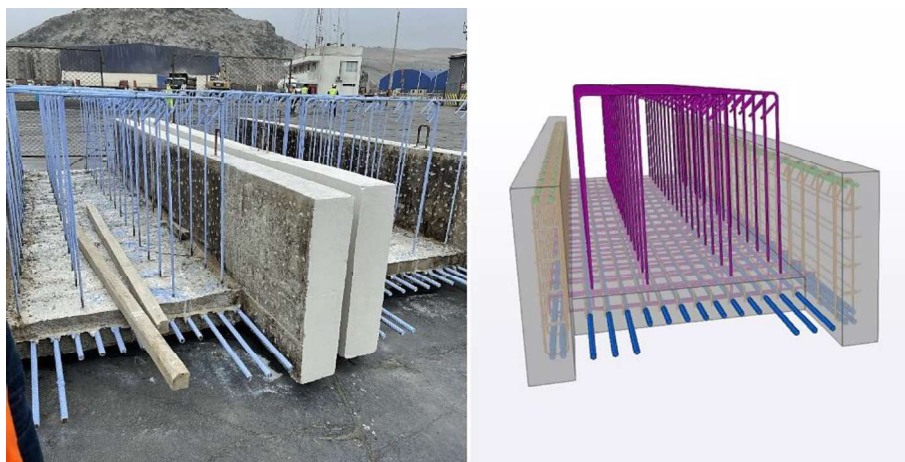


Figura 4.4. Vista frontal de prefabricado tipo viga. Elaboración propia-CRT

- b) Descongestionamiento de nudos en zona de encuentro de paredes de prefabricados. Teniendo en cuenta que el espacio libre es poco, se debe definir con precisión la disposición del refuerzo de modo permita un armado factible, analizando su ejecución y con traslapes o grifados que faciliten esto. La Figura 4.5 muestra barras color cyan a las que se aplicó un grifado

para que puedan pasar por debajo de los estribos de una de las paredes y puedan atarse correctamente.

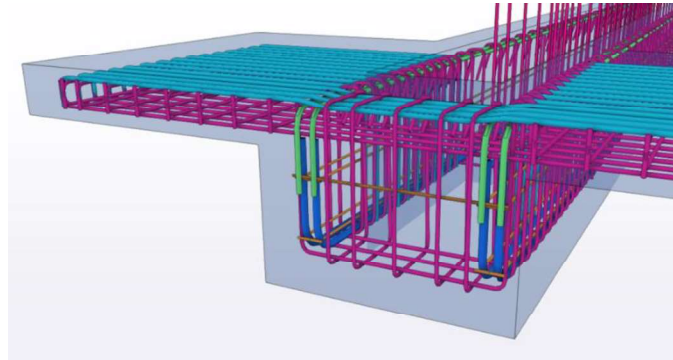


Figura 4.5. Prefabricado tipo viga T con barras grifadas(cyan). Elaboración propia

- c) Lograr contribuir con las opciones para la mejor secuencia constructiva y posterior a este ser modelado siguiendo dicho orden. Esto por supuesto corresponde a la fase de vaciado y su sectorización. Como aprecia en la Figura 4.6, dependiendo del ancho del muelle (por tanto, los m^2 de área), se determina la lotización del tablero según un número específico de ejes o por el largo en metros de manera longitudinal. Un primer tramo (en rojo) es vaciado considerando una mayor cantidad de acero para que pueda dejar el acero de traslape hacia los siguientes tramos, así continúa con los siguientes tramos siguiendo el mismo criterio.

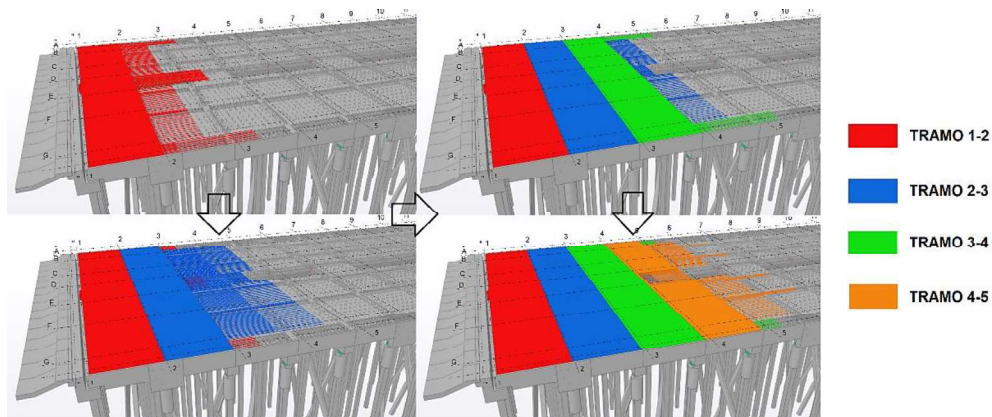


Figura 4.6. Secuencia de vaciado de tablero. Elaboración propia

- d) Verificación de los nudos donde concurren los paramentos que reciben las defensas laterales y los bolardos, dado que ambos llevan insertos metálicos que provocan desplazamiento en las barras de refuerzo. La Figura 4.7 muestra el caso del acero de paramento (azul) cuya disposición es calculada de modo no genere interferencias con los pernos metálicos necesarios para la colocación de bolardos.

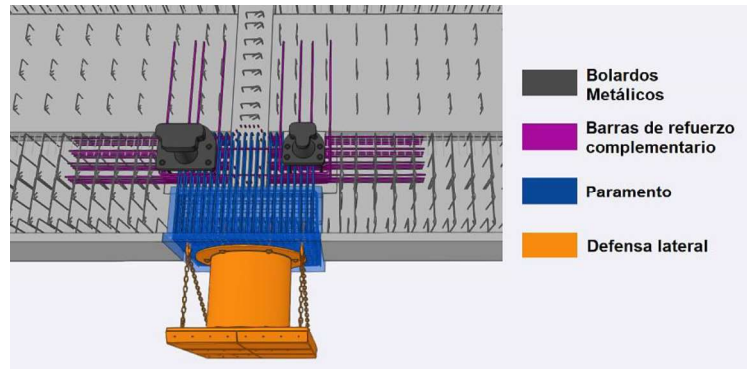


Figura 4.7. Conexión de bolardos y defensas con tablero. Elaboración propia

- e) Evaluación del uso de prefabricados. Los elementos prefabricados con más complicaciones fueron los curvos de 25 cm de espesor y que representaban un cuadrante de circunferencia (Figura 4.8), que tenía más de 12 m de longitud, lo cual era una medida complicada para trabajar (por dimensiones y transporte).



Figura 4.8. Prefabricado tipo panel circular típico. Elaboración propia-CRT

En este caso, se hizo un análisis desde el modelo para poder prearmar estos elementos desde las instalaciones del proveedor. Dado que la longitud del muro ya requería longitudes traslapadas, el único refuerzo adicional para esto fue acero para rigidizar la estructura para su transporte adecuado. En la Figura 4.9 se muestra como cada pantalla curva fue separada en dos sub-pantallas (azul y rojo) de una octava parte de circunferencia aproximadamente, y en obra se completaba traslapando ambas partes y completando el acero vertical de la zona traslapada (verde).

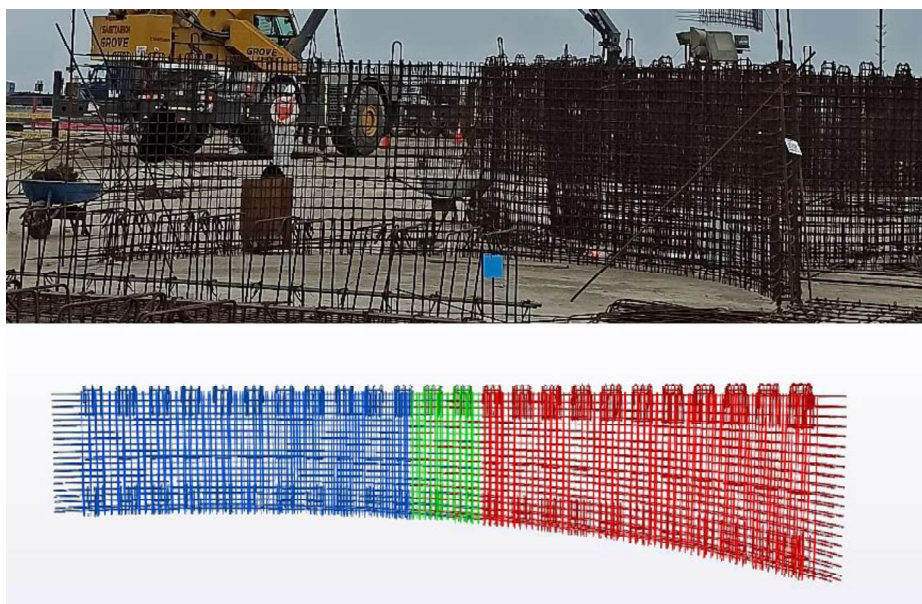


Figura 4.9. Descomposición de prefabricado tipo panel circular. Elaboración propia-CRT

La cimentación de los silos era una zapata circular y un cáliz para contener los paneles circulares, sin embargo, para los demás niveles se unían los diferentes paneles con barras de espera que se colocaban en espacios perforados en los paneles circulares y eran rellenados con grout, posterior a la colocación de los prefabricados. Como se muestra en la Figura 4.10 cada nivel o anillo conservaba sus barras de espera para la colocación del siguiente. Es provechoso que el modelamiento contenga la secuencia completa para poder verificar los largos de barras de espera por niveles (que debía oscilar entre los 1.5m a 4m) y prever consideraciones de seguridad adicionales.

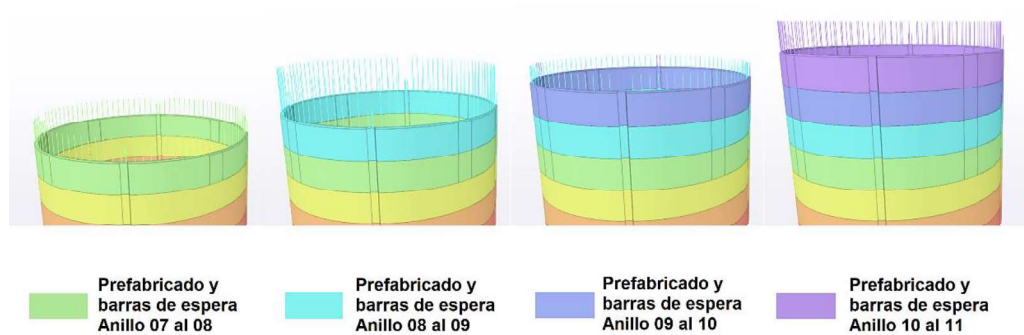


Figura 4.10. Cimentación de silos. Elaboración propia

Siguiendo ese criterio, se debe considerar el análisis del montaje, para determinar los requerimientos de las grúas, sus radios de giro, y es importante que se verifique que es posible la unión entre los elementos. Debido a que los prefabricados son diseñados como elementos individuales, puede provocar que se omitan elementos o que se consideren de tal manera que al ejecutar no permita encajar adecuadamente. Como se aprecia en la Figura 4.11, si bien los elementos prefabricados se pueden modelar independientemente, es adecuado hacerlo en conjunto para verificar su factibilidad de ejecución.

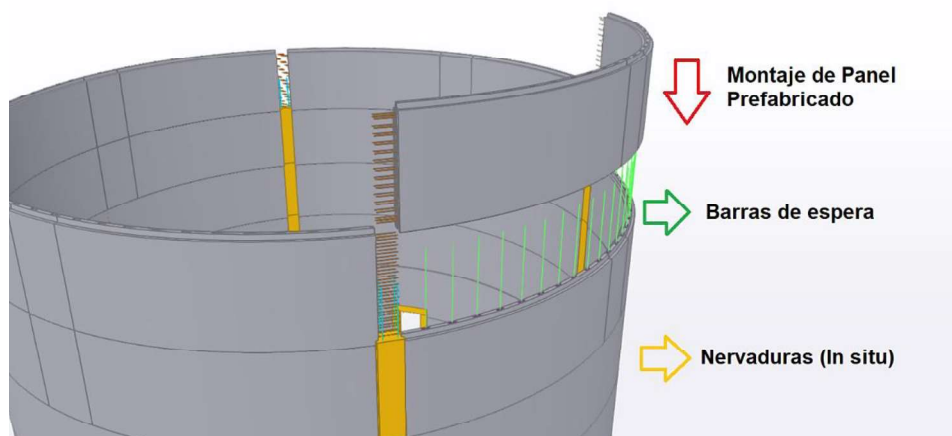


Figura 4.11. Montaje de prefabricado. Elaboración propia

Dado que los espacios ubicados en los paneles para servir de conexión entre todos los elementos eran reducidos, se debía ser precisos en la cantidad de estos además de la ubicación de las barras de espera. Además, que se verifique la colocación de nervaduras, elementos tipo columnas colocadas entre los paneles, como se muestra en la Figura 4.12, resaltado en amarillo. Estos eran vaciados posteriormente a la colocación de los paneles y su función era completar su conexión.

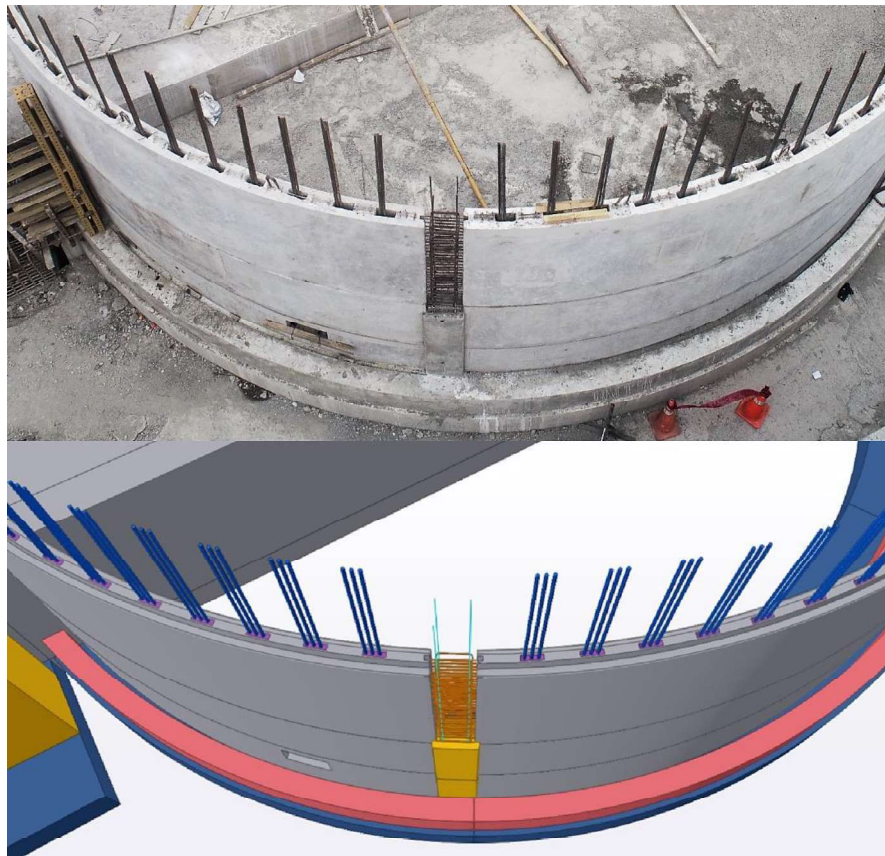


Figura 4.12. Unión de prefabricados tipo panel circular. Elaboración propia-CRT

El desarrollo de todos estos puntos clave dentro de cada área del modelado del proyecto, van alineados a la métrica B-1, puesto que implica el resolver y prever todo lo posible desde modelos y evitando así el construir elementos directamente en campo con planos en 2D del expediente técnico original sin revisión intermedia.

4.4.3. Plan de ejecución BIM (PEB)

Para poder tener una medición del cumplimiento de entregas y de manejo de los tiempos establecidos por acuerdo, se debió generar una proyección de producción de modelado que sea consecuente con la planificación de producción esperada en obra, que se plasmó en un Plan de Ejecución BIM, en la Figura 4.13 se muestra parte del PEB del proyecto enfocado en el alcance y los objetivos a desarrollar durante el modelamiento. Asimismo, el PEB nos indica los acuerdos respecto a los formatos y entregables que son solicitados por el constructor (cliente intermedio) de modo sea útil para ellos.

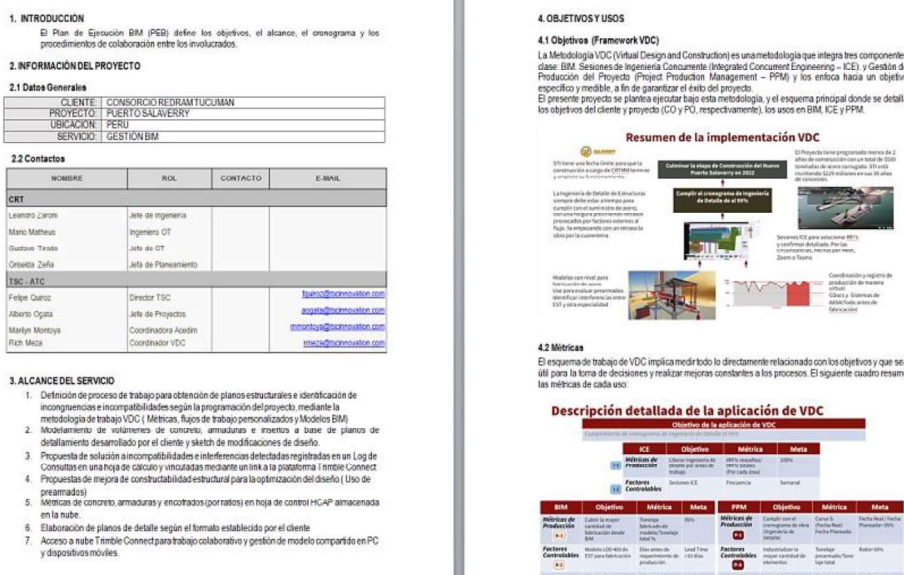


Figura 4.13. Alcance y Resumen del PEB. Elaboración propia

También es conveniente reportar el nivel de detalle a considerar en los diferentes tipos de estructuras, tal como se muestra en la Tabla 4.2 para el proyecto, donde lo que llevaba mayor detalle eran las armaduras de acero. Todos los modelos eran entregados en archivos digitales de extensión IFC y su nivel de detalle o LOD (Level of Detailing) según corresponda, siendo LOD 400 el nivel requerido para la fabricación de elementos, LOD 350 un nivel geométrico de precisión para compatibilización y LOD 300 geometría referencial.

Tabla 4.2 Alcance de nivel de detalle de Modelo. Elaboración propia

COMPONENTE ESTRUCTURAS	Georreferenciación	IFC	LOD
CONCRETO	X	X	350
ACERO DE REFUERZO	X	X	400
INSERTOS METÁLICOS	X	X	300
EQUIPOS DE CARGA (GRUA) CAMIONES, ETC)		X	200

Más allá del modelamiento, según sea el caso se puede indicar detalle de otro tipo de entregables. En este caso, se acordó la generación de planos de detallamiento Acedim® pues estaban asociados a la compra de acero dimensionado al proveedor de acero y por tanto se necesitaban para el armado en obra del mismo. Estos debido al nivel de detalle, se usaban finalmente como entregable al cliente final pues eran documentos llamados comúnmente como As-Built. En la Figura 4.14 se muestra la convención de parámetros y leyendas a utilizar en los modelos y planos para poder realizar una correcta lectura de planos y colocación del acero en obra.

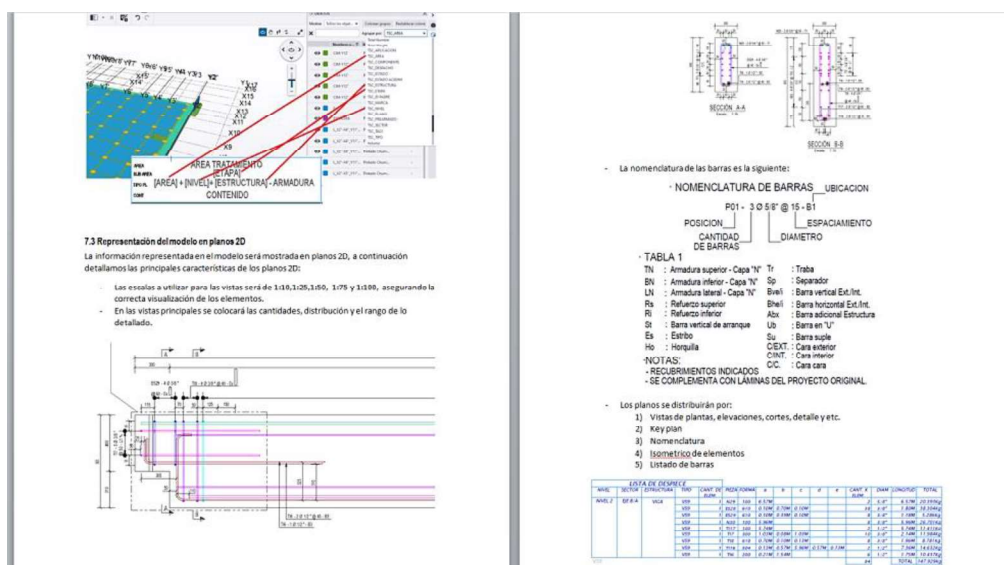


Figura 4.14. Requerimientos de Detallamiento. Elaboración propia

Finalmente, tal como se necesita para las métricas B-2, B-3 e inclusive P-1, es necesario tener un dato base para poder comparar con el avance real de lo que se proyecta. Es decir, en cada área se debe desglosar y proyectar el avance esperado

La figura 4.15 muestra parte del PEB que resume el plan de modelado y la proyección en forma de curva que, si bien se ve constante, es porque esta contemplaba todas las áreas del Puerto y que, bajo la planificación del constructor, debía mantenerse lo más constante posible. Para el caso de las áreas a estudiar en el presente documento, se tuvo una pausa de varias semanas entre los muelles de 2 y 1, debido a los cambios en el muelle 1, lo cual motivó enfocarse en otras áreas (específicamente almacenes).

Es importante aclarar que los documentos del Plan de Ejecución BIM o PEB, si bien van en su mayoría enfocados a la parte técnica y base de BIM, para el caso de aplicación en parte productiva, es importante que contenga la línea base que se usará para la toma de métricas. Aquí es fundamental que se incluya los tiempos de producción de los proveedores y de la planificación de obra, puesto que la línea base de modelado es una regresión de la programación en función a los “lead time”. Asimismo, sirve también para dejar pactados los objetivos tanto del trabajo a realizar como los objetivos finales que se tuvieran por parte del cliente. Si bien este documento fue realizado en base a la experiencia de profesionales certificados en VDC, no está ajustado a normativas. Sin embargo, sirve de apoyo para un correcto desarrollo de la aplicación de la metodología VDC (Anexo 01).

4.5. PILAR ICE – Integrated Concurrent Engineering

El término ICE hace mención originalmente a un método de trabajo desarrollado el equipo del “TeamX” del Jet Propulsion Laboratory de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) de Estados Unidos. El cual involucra una cultura y serie de métodos para diseñar misiones al espacio con un ritmo acelerado en comparación a los métodos tradicionales. A pesar que la ingeniería que involucra una misión al espacio y la de construcción son diferentes, ambos buscan crear nuevas capacidades y los proyectos involucran colaboración entre múltiples disciplinas e involucrados para una correcta combinación de objetivos y métodos compartidos. (Kunz y Fischer, 2012)

La aplicación de este pilar está basada en dos elementos, el intercambio de información y las personas. El intercambio de información está desarrollado bajo lo analizado por Preidel et al (2016), que indican una metodología de integración en la que se debe reducir el esfuerzo y complejidad de varios procesos al comunicarse e intercambiar datos entre sí. Además de que los diferentes usuarios tengan acceso a la fuente de datos todo el tiempo y de toda la información procesada, por tanto, un mejor entendimiento de los procesos del proyecto.

Asimismo, para la gestión con las personas en el proyecto, bajo las recomendaciones de Kunz y Fischer (2012) y del CIFE (2020), se debe implementar ICE incrementando elementos como un equipo co-localizado y de amplia experiencia multifuncional, para poder definir objetivos de proyecto en un corto periodo de tiempo y poder implementar los equipos de ingeniería multifuncionales y gestión del proyecto.

4.5.1. Comunicación entre interesados

Para el intercambio de información, se usó un entorno colaborativo, que permite implementar un eficiente flujo de información y comunicación entre los involucrados del proyecto. En este caso se apoyó en Trimble Connect® (en adelante abreviado como TC), un software que está desarrollado por la corporación Trimble y que está pensado para implementarse en proyectos de construcción y especialmente rápido de configurar con modelos basados en Tekla Structures®. A continuación, los puntos clave de organización dentro y fuera de la plataforma son:

- a) Usuarios: Compartir con la mayor cantidad de involucrados que tengan relación directa con el proyecto. La Figura 4.16 muestra los grupos de involucrados registrados en la plataforma. La forma de agrupación de estos participantes se explica en el siguiente subcapítulo 4.5.3.

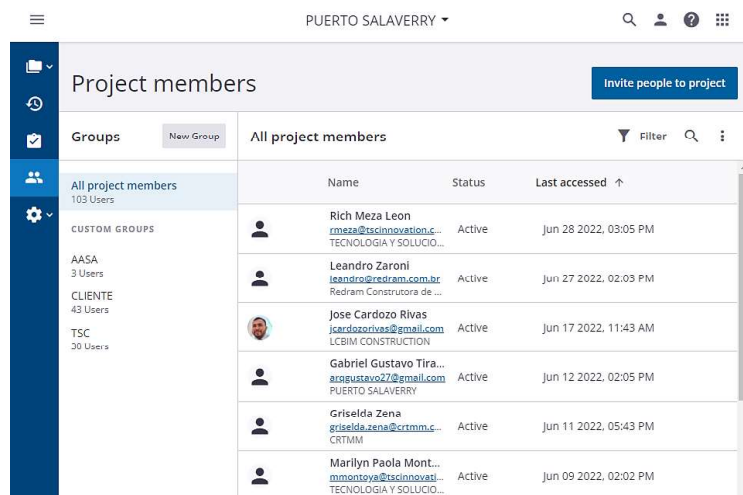


Figura 4.16. Ventana de equipo de trabajo en TC. Elaboración propia

Sin embargo, vale aclarar que agregar al proyecto en línea la mayor cantidad de personas no asegura una alta efectividad en el desarrollo del mismo. Un punto clave es que sea un equipo multidisciplinario pero que tengan diferentes niveles de toma de decisión para los objetivos que estás planteando. Es decir, por ejemplo, en un proyecto que ya superó su etapa de cotizaciones y la aplicación de ICE sea en una etapa constructiva posterior, probablemente ya no sea necesario que este equipo forme parte del proyecto en línea, en cambio es más efectivo agregar a un equipo de subcontratistas que trabaja constantemente con información frecuentemente actualizada.

- b) Organización adecuada de la información a compartirse: Las plataformas como Trimble Connect, que están basados en servicios almacenados en la nube, no tienen un límite de almacenamiento máximo (sujeto al tipo de licencia adquirida) y por tanto se debe tener un orden en el almacenamiento de la información, como se aprecia en las Figura 4.17 y 4.18, el cual puede ser un orden común de un proyecto de ingeniería, pero señalando la prioridad del flujo de información. Así, si una estructura no se encontraba en la carpeta 03, se verificaba en la carpeta 02 y si tampoco se ubicaba se verificaba en la carpeta 01. La ventaja adicional es que la plataforma registra todos los cambios, así se puede identificar la última versión vigente de un archivo y sus anteriores versiones.







Name ↑	Modified on	Tags
 01. MODELO BIM	April 20, 2022	
 02. CONSULTAS	March 04, 2020	
 03. ENTREGABLES	April 20, 2022	
 04. HCAP	July 20, 2020	
 05. GESTIÓN	August 11, 2020	
 06. PROPIEDAD DEL CLIENTE	October 01, 2021	

Figura 4.17. Organización de Información en TC. Elaboración propia

Explorer > 01. MODELO BIM

Explorer

Name ↑	Modified on	Tags
ARQ	August 05, 2021	
EST	April 20, 2022	
INSTALACIONES	October 27, 2021	
MANIOBRAS 3D	January 19, 2021	
NUBE DE PUNTOS	November 03, 2020	
RASANTES	April 28, 2021	

Figura 4.18. Separación por especialidades en TC. Elaboración propia

- c) Asignación de tareas dentro del proyecto: Una de las ventajas de Trimble Connect (y de aplicaciones similares) es la asignación de tareas o consultas directas entre los usuarios dentro del mismo. Estos pueden ser asignados a usuarios específicos o a grupos completos. Además, se puede indicar la importancia, fechas límites y asociarse a vistas del modelo BIM y/o archivos anexos. En la Figura 4.19 se puede ver el reporte de Tareas en TC, que muestra un resumen de la Tarea, los asignados, las fechas y los estados.

ToDo

Owner Users Groups Status Priority Date modified 476 of 476

Title	Assignee	Created on	Modified on	Priority	Status
✓ PUER-486 Muelle 1 - VCP barras superiores	Matheus Leal, Flavia Cabral, Marilyn...	Jan 14, 2022	Jun 28, 2022	Normal	Done
✓ PUER-485 VCP-P01. Se considera rec. externo 7cm y rec. interno 3c	Matheus Leal, Marilyn Paola Monto...	Jan 13, 2022	Jun 28, 2022	Critical	Done
✓ PUER-484 MUELLE 1 - Puente de acceso. Refuerzo in situ y ref. pre	Matheus Leal, Flavia Cabral, Marilyn...	Dec 27, 2021	Jan 13, 2022	Critical	Closed
✓ PUER-483 MUELLE 1 - LOSA IN SITU, ACERO DE TEMPERATURA EJE	Matheus Leal, Flavia Cabral, Marilyn...	Dec 21, 2021	Jan 13, 2022	High	Closed
✓ PUER-482 MUELLE 1 - Bolardos	Matheus Leal, Flavia Cabral, Marilyn...	Sep 27, 2021	Jan 3, 2022	Critical	Closed
✓ PUER-481 MUELLE 1 - Nro de Defensas arreglo general	Matheus Leal, Flavia Cabral, Marilyn...	Sep 27, 2021	Jan 13, 2022	Critical	Closed
✓ PUER-480 MUELLE 1 - Prefabricados. Barras de conexión	Matheus Leal, Marilyn Paola Monto...	Sep 13, 2021	Jan 13, 2022	Critical	Closed

Figura 4.19. Listado de Tareas en TC. Elaboración propia

Todas estas características del entorno colaborativo y la organización dentro y fuera del mismo, permite que se reduzca la cantidad de consultas que se podrían acumular hasta alguna sesión ICE programada que, si no son presentadas a

tiempo, puede impactar en el desempeño del desarrollo de ingeniería de detalle. Es importante aprovechar que en un entorno colaborativo la información está disponible todo el tiempo y para todo el equipo, por tanto, no es necesario que se espere hasta cierta fecha, documento o correo que dirija el flujo. Todos tienen la información a la mano apenas se registra. De esta manera, se dejan solo los RFI que necesitan la colaboración de todos en conjunto para una Sesión ICE programada. Todo esto impacta en la medición de la métrica de producción I-1.

4.5.2. Sesiones ICE (Integrated Concurrent Engineering)

Según lo planteado en la métrica I-2, era importante tener sesiones ICE semanales para poder llevar a cabo y resolver todo lo pertinente al proyecto que requería la intervención de todos los especialistas e interesados posibles. Para tener una línea base en la cual trabajar se debe tener una programación base de las Sesiones ICE con un horizonte suficiente que se alinea a la programación de ingeniería o construcción en obra. Era claro que, por la pandemia global, las Sesiones ICE iban a tornarse virtuales, por lo cual todas se realizaron vía Google Meet®.

Según Chingay (2015), lo esperado también en este tipo de sesiones ICE es una reducción en los tiempos de respuesta (latencias) de los RFI. En su caso reducción tiempos con promedio de un mes a menos de una semana. La ventaja de utilizar un entorno colaborativo como base para el proyecto, permite que toda la información de registro y consulta quede automáticamente registrada en este y mediante un sistema de alertas y practicidad con el modelo, se puedan tener respuestas a nivel de horas. Asimismo, en las sesiones ICE el objetivo específico es llegar solo con las consultas más de alto impacto y que se puedan resolver a nivel de minutos o máximo horas.

4.5.3. De la propuesta de trabajo en cúmulos

Debido a la magnitud del proyecto y a la gran cantidad de involucrados, si bien las sesiones ICE son eficientes con RFI de alto impacto y el entorno colaborativo actúa rápidamente en validaciones o consultas de menor impacto, para el caso de RFI o

consultas de mediano impacto o en procesos que sean recíprocos, se generaba el inconveniente que debían esperar demasiado hasta una Sesión ICE para una respuesta o generaban muchas dudas al revisarse solo desde el entorno colaborativo

La solución prevista fue programar reuniones más cortas y limitadas. La desventaja es que este es un concepto sencillo que puede ser parte de un trabajo tradicional. Es por eso que debía perfilarse para no incurrir en los inconvenientes frecuentes como son sobrecargar agendas, no tener la atención total de todos los participantes, retrabajo, que perjudican directamente al trabajo productivo para el proyecto.

Según Fischer et al. (2017), para lograr una organización integrada, se tienen cuatro pilares:

- a) Conectar las acciones, información y decisiones de las personas.
- b) Usar el lenguaje para coordinar acciones que crean valor.
- c) Crear una organización que este en aprendizaje.
- d) Alinear el trabajo de todos hacia la creación de valor para el cliente.

Una solución fue seguir el primer pilar, una manera de organizar las acciones (Fischer et al., 2017) que implicaba crear cúmulos de trabajo previo a decidir el crear otro tipo de reuniones diferentes a las Sesiones ICE. De esta manera se completaba el tipo de coordinación faltante, pero sin incurrir en los errores tradicionales, además organizando de manera adecuada los procesos recíprocos que requerían trabajo co-localizado pero que debió resolverse con reuniones rápidas de manera virtual.

Las reuniones rápidas eran agendadas con poca antelación (promedio máximo de un día) pues debían ser el equivalente físico a poder estar en un mismo espacio y poder reunirse brevemente, que es la ventaja de un trabajo co-localizado. Esto sin embargo siempre sujeto a la disponibilidad de los equipos y sin sobresaturar la carga de reuniones que se programen a la semana. En otras palabras, no

sobrecargar el tiempo solo en reuniones y minimizar el periodo de producción directa del modelo.

En el caso del proyecto se tuvo trabajo en cúmulos con reuniones rápidas vía virtual, dividido en tres cúmulos, de obras de mar y obras de tierra. Es decir, eran grupos diferenciados que trabajan en los muelles y en almacenes. Siendo específicos, los equipos de trabajo estaban conformados por:

- Coordinador VDC y modelador de estructuras
- Encargado de OT de Constructor a cargo del área
- Diseñador del área o consultor

Los líderes de cada cúmulo se reunían con su equipo por la mañana de modo que se pueda comentar su tarea diaria asignada, avance y resolver alguna duda interna. Posteriormente, cada jefe de cúmulo con su información podía reportar en reunión o por documentos de avance. De este grupo de jefes de cúmulos, los que tenían contacto con el equipo de gestión del proyecto (generalmente las gerencias de construcción y proyecto) podían analizar, sugerir o tener de manera clara toda la información del desarrollo de modelado. La disposición gráfica de estos grupos se describe en la Figura 4.20.

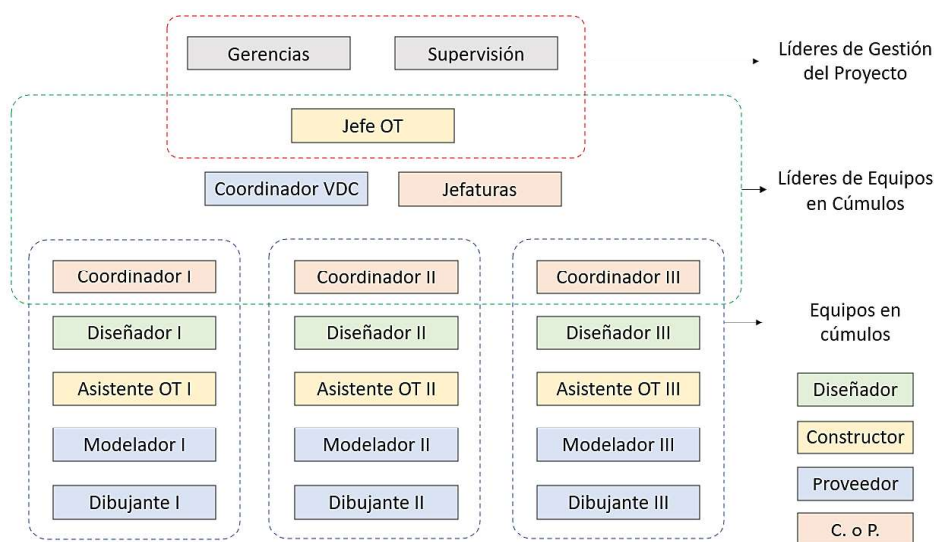


Figura 4.20. Organización por cúmulos. Elaboración propia

4.6. PILAR PPM – Project Production Management

Según Shenoy y Zabelle (2016), la tercera y nueva era de la entrega de proyectos corresponde a la gestión de producción del proyecto. A diferencia de las dos anteriores, esta va enfocada en ver el proyecto como un sistema de producción y que enfoca en como cumplir los objetivos con el uso mínimo de recurso. Para esto, esta gestión de producción está basada en cinco componentes: Alcance y calidad, diseño de procesos, capacidad, inventario y variabilidad.

Para el desarrollo de este pilar se debe analizar los componentes que componen la gestión de producción del proyecto. Considerando que, bajo la visión de los objetivos, lo que debe ser analizado como objetivo principal es el trabajo de diseño en modelo o preconstrucción, no se tomará de base procesos constructivos o ritmos de producción en campo. En cambio, se hizo el análisis de cómo es el desarrollo de modelado en cuanto a lotes de producción, capacidad y como se registra el trabajo productivo en este, pero con algunos ejemplos de cómo se hizo el trabajo productivo real obra, que es finalmente muestra del trabajo hecho en gabinete maximizando el esfuerzo por aplicar tecnología y metodología.

4.6.1. Alcance y Calidad

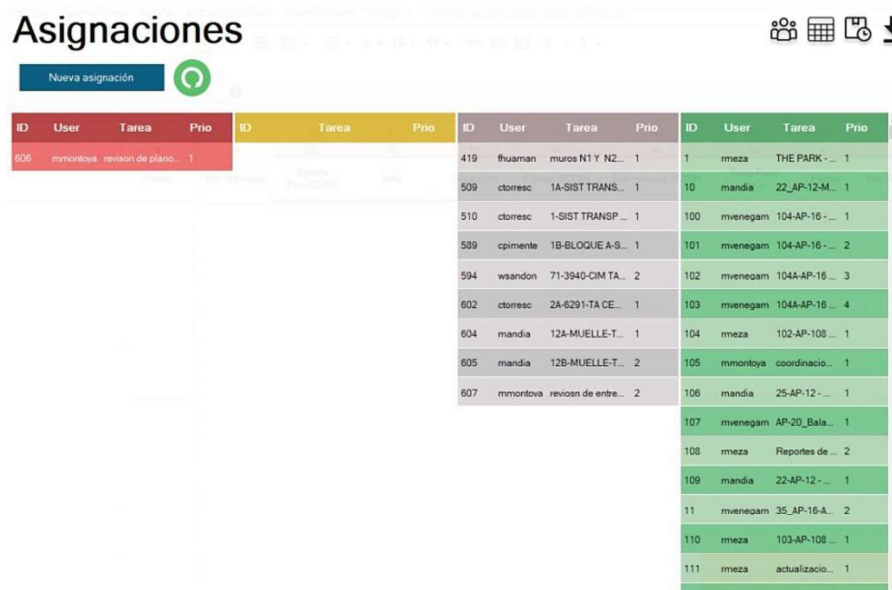
La base del trabajo con PPM es entender lo que se va a entregar como un producto, pero que cumple con ciertas expectativas (alineado a los objetivos del cliente). El alcance que se necesita para una construcción puede ser entendido como las necesidades que tiene el cliente, lo que su infraestructura implica y los detalles de este “producto” que de manera tradicional está reflejado en sus especificaciones técnicas. Asimismo, la calidad del mismo está relacionado también en documentos y que el funcionamiento de la infraestructura sea sostenido. En el caso de construcción o pre construcción, las variables de tiempo y costo suelen ser lo primordial que solicitan los clientes.

En un trabajo de construcción virtual como el desarrollado para el Puerto Salaverry, los alcances y objetivos alineados con la calidad del producto a entregar, se ven

reflejados en documentos como el Plan de Ejecución BIM, los objetivos específicos planteados y el cumplimiento de los entregables pactados entre las partes.

La métrica principal de PPM debe estar, por tanto, relacionada al objetivo principal de la aplicación de VDC. Justamente la métrica principal P-1 debe medir el objetivo principal que es el cumplimiento del cronograma de ingeniería de detalle pactado, esto es medido semanalmente según lo planteado. Poco a poco se va a generar una curva comparativa del avance real y que será comparada con la curva de línea base o avance proyectado, que puede indicar claramente el estado cumplimiento.

Adicionalmente, para poder llevar la medición real del avance, era importante llevar el registro de producción. Para esto fue importante la intervención del proveedor, ya que al ser su trabajo enfocado a la producción y tiene mayor contacto con trabajos productivos industriales, tiene un registro automatizado de sus lotes de producción y el tiempo usado en cada uno como se muestra en la Figura 4.21. A pesar que era esperado que se tenga estos registros, era importante llevar una métrica como factor controlable, en este caso P-2, que gatille el control automático del proceso productivo.



ID	User	Tarea	Prio
606	mmontoya	revisión de plano...	1
419	fluaman	muros N1 Y N2...	1
509	clorresc	1A-SIST TRANS...	1
510	clorresc	1-SIST TRANSP...	1
589	cpimente	1B-BLOQUE A-S...	1
594	wsandon	71-3940-CIM TA...	2
602	clorresc	2A-6291-TA CE...	1
604	mandia	12A-MUELLE-T...	1
605	mandia	12B-MUELLE-T...	2
607	mmontoya	revisión de entre...	2
1	rmeza	THE PARK...	1
10	mandia	22-AP-12-M...	1
100	mvenegam	104-AP-16...	1
101	mvenegam	104-AP-16...	2
102	mvenegam	104A-AP-16...	3
103	mvenegam	104A-AP-16...	4
104	rmeza	102-AP-108...	1
105	mmontoya	coordinacio...	1
106	mandia	25-AP-12...	1
107	mvenegam	AP-20_Bala...	1
108	rmeza	Reportes de...	2
109	mandia	22-AP-12...	1
11	mvenegam	35-AP-16-A...	2
110	rmeza	103-AP-108...	1
111	rmeza	actualizacio...	1

Figura 4.21. Registro de Labores Productivas de Ingeniería de Detalle. Propiedad de TSC-AASA

4.6.2. Diseño de Procesos

Según Georgy (2019), más allá de usar programaciones que son un reflejo de demanda, debemos entender el lado de los proveedores, que se enfocan en producción y por tanto el uso de mapeo de flujo de procesos es necesario. Idealmente, el flujo de trabajo a lo largo de la cadena de actividades estará sincronizado. El ratio de suministro de una estación en la cadena de actividades, coincide perfectamente con la demanda de la siguiente estación. Sin embargo, en la realidad esto es difícil de conseguir.

En este caso, se debió entender a detalle las actividades realizadas por cada participante en el proyecto (estaciones para un proceso de producción). Si bien cada proceso u operación tiene un tiempo determinado, este está basado en su capacidad. Es decir, el mapeo de los procesos va de la mano con el entendimiento de sus tiempos respectivos, ya que esto a la vez puede permitir tener opciones de mejora al mismo.

Finalmente se realizó un mapeo de procesos, identificando los procesos tradicionales a realizarse en el desarrollo de un proyecto. Intentando ser específicos, pero a la vez que sea de rápido entendimiento. En este, como se aprecia en la Figura 4.22, se debió identificar las oportunidades de mejora y que, a partir de esto, se pueda proponer un flujo diferente de modo que sirva de guía para la aplicación de VDC.

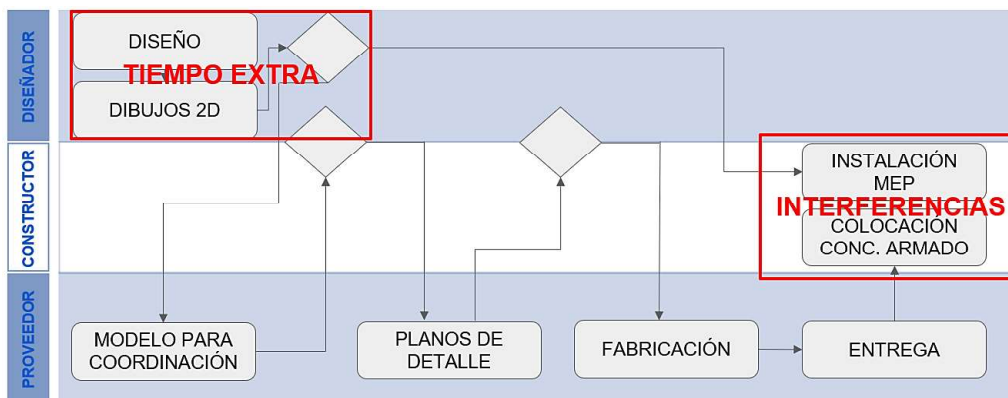


Figura 4.22. Flujo tradicional sin VDC. Elaboración propia

La Figura 4.23 muestra el flujo propuesto considerando la aplicación de VDC. Donde los cambios son: la reducción de tiempo de dibujos de ingeniería base, que la colocación de instalaciones MEP sea compatibilizado durante el flujo de ingeniería de detalle de concreto armado, además de identificar los puntos de control donde medir los objetivos.

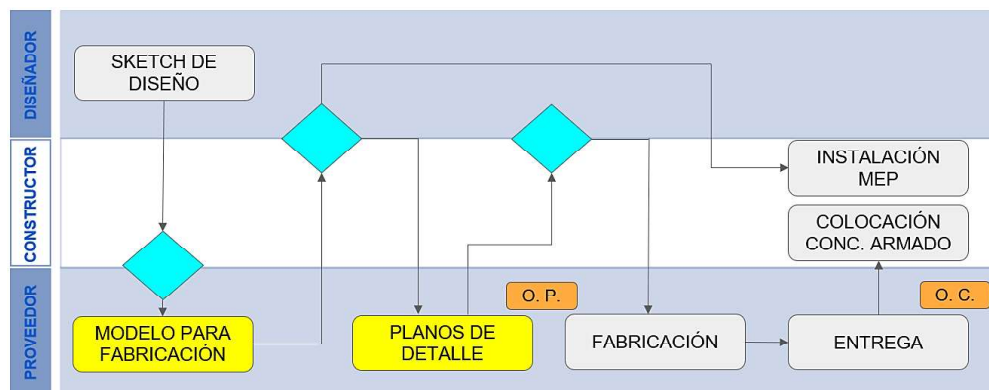


Figura 4.23. Flujo tradicional con VDC. Elaboración propia

4.6.3. Capacidad

Bajo la visión de PPM, al entender el proyecto como producto, debemos ser claros en cuanto es la capacidad real de producción de los procesos que se tienen. Según lo señalado por Pound (2019), si se programa más trabajo que el tiempo posible para realizar el trabajo, no se logra nada. El trabajo no se realizará así la variabilidad sea cero, los lotes son los más grandes posibles o las máquinas no tienen ninguna falla. Por tanto, cada grupo de diseñadores y proveedores debían sincerar al máximo sus procesos. Fue necesario por parte del constructor entender a cada uno y por tanto sus *lead time*, que deben respetar para poder recibir una promesa confiable de parte de estos.

Sin perjuicio a lo anterior, es también una recomendación de Pound (2019) que se pueda hacer que un proveedor entienda su propia capacidad. Una manera de detectar un proveedor con mal manejo de su capacidad de planificación es tener una rigidez en su *lead time* sin importar el tipo de producto o su reserva de trabajo. Entendiendo esto, era necesario tener una medida de control que se pueda registrar trabajo “urgente”, es decir que tuvo un tiempo de ejecución menor al

regular. Esto fue medido en la métrica P-3, en la cual, en base a la capacidad de diseñador y proveedor, se tenía un máximo mensual. En caso este registro sea mayor al fijado, iba a ser reflejo que se estaba planificando mucho más de la capacidad real e implicaba una revisión a la planificación o que se midió mal la capacidad.

Se debe entender que, al estar enfocados en el proceso de producción, que es a su vez sustentado por un proveedor, está más sujeto a constante actualización y por tanto no sufre afectación ante cambios, ya que sus procesos de producción son más cortos y, al estar su producción en constante cambio (como actualización) es más importante en mantener una producción constante y que su capacidad pueda cubrir. La Figura 4.24 muestra de manera sencilla como es la proporción entre las programaciones de un proyecto y sus actualizaciones en comparación a como un proveedor maneja sus programaciones. Siendo así, fue posible realizar modificaciones en la programación de ingeniería de detalle (que era asociada al suministro de acero) de manera mucho más dinámica, aunque siguiendo la pauta de los cronogramas de proyecto.

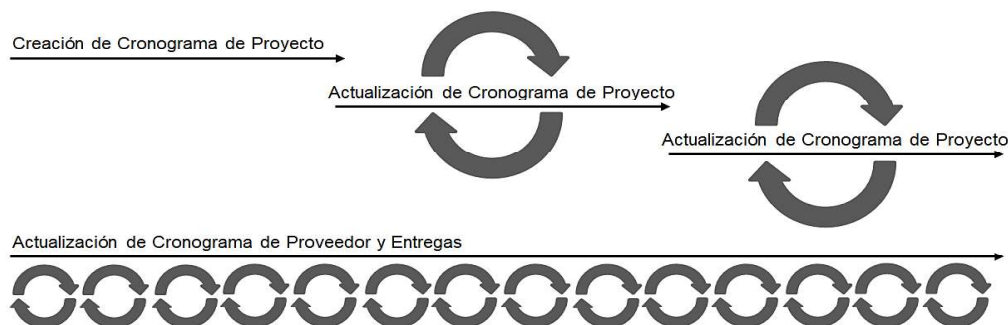


Figura 4.24. Comparación de cronogramas de proyecto y de un proveedor. Pound (2019)

4.6.4. Inventario

Shenoy (2018) señaló que la adquisición prematura de inventario no solo es un mal uso de capital, pero también incrementa los costos y pone en peligro la ejecución del proyecto. Esto no es solo válido para la concepción de un proyecto en físico (es decir ya en construcción), sino que en la preconstrucción o construcción virtual

también tiene validez. Si bien no necesita espacio, buen acopio, seguridad, entre otros y aparentemente es viable acumular información digital sin límites, se tienen otros puntos en contra.

Similar a construcción real, se usa un número controlado de recursos considerados para el modelamiento. Si bien los costos por metro cuadrado, metro cúbico o tonelada quedan fijos en un contrato entre proveedor y cliente, finalmente es traducido en horas hombre (HH) hacia el contratista de modelado. Asimismo, si bien el modelo digital tiene la facilidad de admitir cambios y queden registrados automáticamente, generalmente los entregables finales son planos y esto es un punto variable de HH que puede tomar, si es un cambio de alto impacto y se tiene gran porcentaje de trabajo realizado, va a implicar reprocesos.

Tanto para diseñador, constructor y proveedor (sea de modelado o materiales) es conveniente que la ingeniería de detalle no sea un inventario excesivo. Para el diseñador lleva menor impacto pues su labor suele terminar antes del inicio de preconstrucción o construcción, sin embargo, es conveniente que esté totalmente definida pues le evita RFI innecesarios y posibles retrabajos a lo largo de un tiempo prolongado. Para un constructor, claramente no genera impacto positivo o negativo directo pues está enfocado en producción física, pero dado que le conviene tener entregables cerrados y su modelado finalizado en el menor tiempo posible y aprovechar sus ventajas, es favorable que no se tenga un alto porcentaje de inventario o WIP. Para los proveedores, en caso sea solo modelado digital, por lo indicado anteriormente necesita cerrar sus entregables usando la menor cantidad de HH.

En particular se realizó un trabajo en reversa para detectar los tiempos necesarios por cada proceso y finalmente el máximo inventario factible en términos de tiempo. Debido al flujo propuesto, los tiempos de producción fueron revisados en interna por el proveedor llegando a un límite de 10 días desde inicio de producción, previo a esto se dio un límite de 21 días para modelado y producción de planos, y previo a esto se dio un límite de 14 días para diseño de ingeniería básica. En base a acuerdos entre todas las partes, el límite máximo de trabajo en inventario se establece como la suma de todos estos “lead time”, es decir 45 días por cada

entregable seleccionado. En otras palabras, todo entregable nacía con una fecha asociada de producción y el inicio real de diseño para ingeniería de detalle era preferentemente no mayor a 45 días antes de requerimiento.

Esto, sin embargo, es un límite máximo que podría ser ajustado bajo compromiso de todas las partes mientras que no genere un impacto negativo con ellos. Muchas veces por el porcentaje de uso de prefabricados las fechas eran bastante mayores a 45 días pues entregar una primera estructura resolvía todo el paquete igual o similar que podía tener fechas mayores. Esta era una ventaja más de usar prefabricados, ya que cumplía con minimizar los lotes de producción y simplificaba el diseño de ingeniería básica y detalle, además que daba la sensación típica de alto inventario para el constructor o cliente, pero sin generarle un alto costo y pérdidas asociadas.

4.6.5. Variabilidad

Bajo el objetivo de reducir la variabilidad, en el proyecto se priorizó el uso de prefabricados para la construcción. Básicamente esto gatilló un trabajo de rediseño que fue asumido por el constructor y no por el propietario (en este caso concesionario) del puerto. Si bien esto se puede entender como un reproceso, en suma se esperaba que, dado que se iba a integrar el diseñador, constructor y proveedor al mismo tiempo, genere mayor beneficio en tiempo que en un trabajo convencional, además de reducir errores o desviaciones de calidad que impacten negativamente en la producción.

Para ello, este control se llevaba alineado a la métrica P-4 que de modo mensual se iba controlando el porcentaje total de elementos prefabricados. Si bien en todo el total de áreas del puerto se impulsó el uso de prefabricados, no en todas implicaba el mismo porcentaje, esto dependía también del criterio del diseñador que cumpla las condiciones solicitadas por el cliente, es decir siempre se tendrá un porcentaje de elementos a colocarse in situ dependiendo del tipo de infraestructura a realizar. Para la medición total se tomaba en cuenta el promedio de metros cúbicos de concreto prefabricado y tonelaje de acero para prefabricado, respecto a sus totales respectivos.

CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

A continuación, se desarrollará los principales puntos de control o hitos desarrollados durante la etapa de construcción del proyecto. Inicialmente describiendo el trabajo aplicado de los principales proveedores del proyecto, para posteriormente describir la construcción en orden temporal de los dos muelles y el almacén de silos, a través de los cuales se llevó el registro de las métricas planteadas para su posterior análisis de cumplimiento de objetivos.

5.1.1 Proveedores

En el caso del proveedor de concreto, se optó por tener en terreno un espacio para maquinaria de producción, transporte y almacenaje de los agregados. Con esto se tenía ventajas de evitar tiempos de traslado, ya que la planta era en sitio. Además de poder usar canteras locales que era económicamente favorable.



Figura 5.1. Planta fabricación de concreto. Consorcio CRT

En el caso del proveedor de acero, su taller real está localizado en Pisco, Ica. Es decir, se tenía una distancia considerable entre la ubicación del proyecto y dicha

planta, aproximadamente 800 km equivalente a dos días de tránsito de carga pesada. Sin embargo, con el fin de reducir las HH en terreno, se optó por usar acero prearmado dentro del taller del proveedor de acero, esto reduce el tiempo real de instalado del acero en obra. Se usó tres tipos de producto, acero convencional en barras estándar, acero dimensionado (Acedim®) y acero prearmado.



Figura 5.2. Planta producción de acero prearmado. TSC – Aceros Arequipa



Figura 5.3. Carguío de acero prearmado. TSC – Aceros Arequipa

En el caso de encofrados se optó por proveedores locales y finalmente el moldaje era realizado dentro del proyecto, en la misma zona donde se recibía y finalizaba el armado de acero, colocación de concreto y zona de fraguado.

Finalmente, en el desarrollo de la construcción, en sitio se tuvo un área destinada exclusivamente para la prefabricación, como se ve en la Figura 5.4, esta tenía zonas: 1. Taller de Moldaje de Encofrado, 2. Taller In Situ de Acero y 3. Zona de Fabricación/Vaciado. Luego que se complete el trabajo en las tres estaciones y cumpla cierta resistencia mínima de concreto, se trasladaba a la zona de almacenaje para completar su proceso de curado hasta que se requiera su instalación en terreno.



Figura 5.4. Planta producción de prefabricados. Consorcio CRT



Figura 5.5. Almacén de prefabricados. Consorcio CRT

5.1.2 Construcción de Silos y Transportador

Se tiene una primera etapa de construcción de las cimentaciones (circulares y cáliz para las paredes) y del túnel. En principio se ejecutaron los silos centrales como se muestra en la Figura 5.6, dejando al final los silos colindantes al transportador, debido que necesitaban una excavación más profunda.

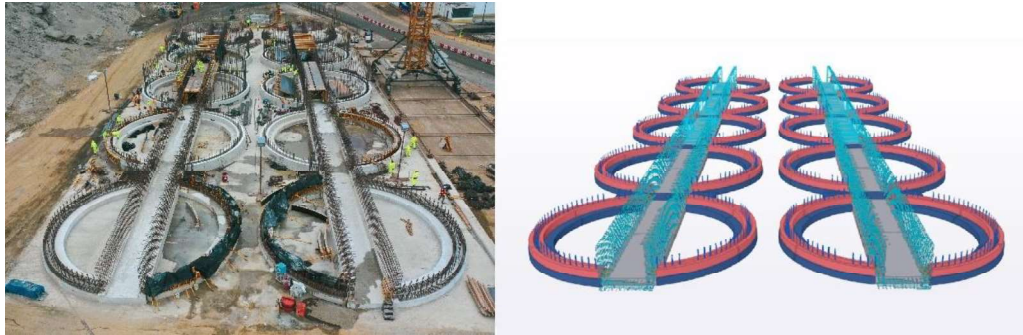


Figura 5.6. Cimentación de silos. Elaboración propia-CRT

Posteriormente, se trabajó en el montaje de los paneles circulares que completan los silos como se aprecia en la Figura 5.7, y completando con las columnetas vaciadas en sitio requeridas por el diseño estructural.



Figura 5.7. Montaje de paneles para silos. Elaboración propia-CRT

Finalmente se colocaron los pedestales que servían de apoyo para las torres centrales que soportaban los elementos electromecánicos para el funcionamiento

de carga y descarga de silos. En la Figura 5.8 se aprecia uno de los pedestales armados a espera de la colocación de sus insertos metálicos para poder ser vaciado con concreto.



Figura 5.8. Pórtico de soporte para torres de silos. Elaboración propia-CRT

En paralelo al montaje de los paneles de silos, se inició la ejecución del transportador que está ubicado al centro de los dos bloques de silos, este se ejecutó de manera tradicional como se aprecia en la Figura 5.9, en este caso no se usaron elementos prefabricados, pero sí con todo el modelamiento y uso de acero dimensionado.

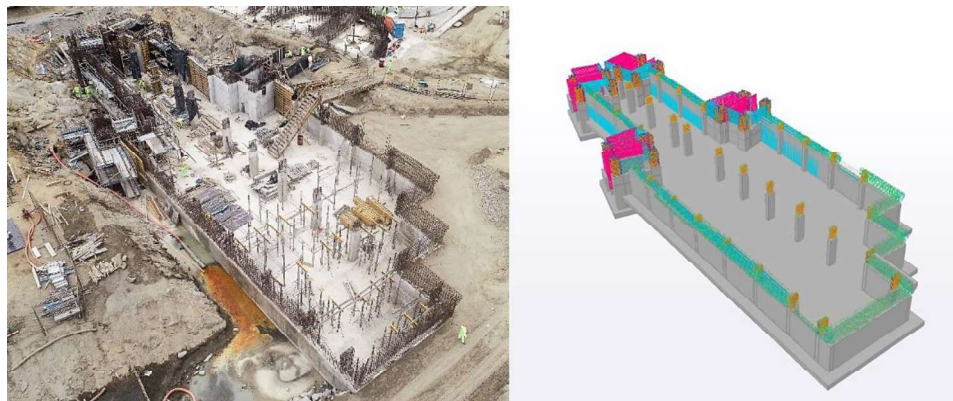


Figura 5.9. Cimentación y portantes de Transportador de Rastras. Elaboración propia-CRT

Finalmente, para cerrar la estructura del transportador, se construyeron las cuatro tolvas proyectadas para el ingreso del grano y ser transportado a los silos como se muestran en la Figura 5.10.

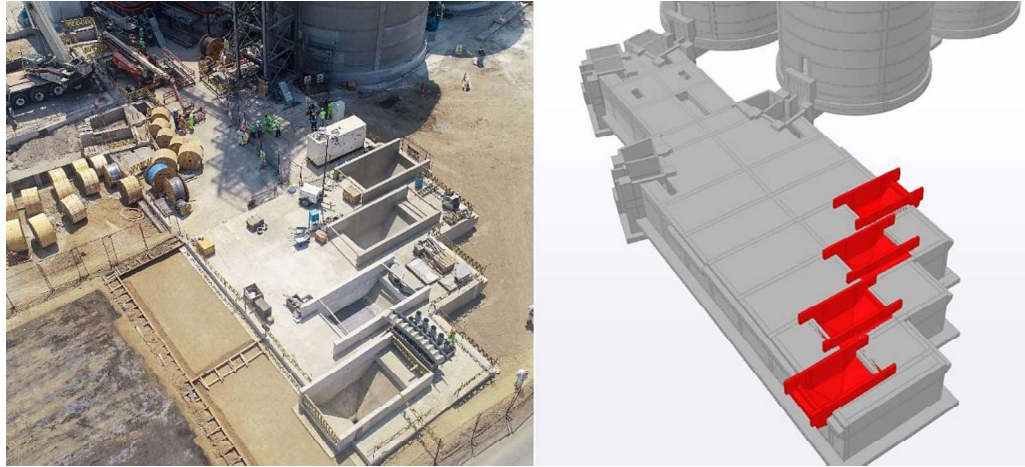


Figura 5.10. Tolvas de Transportador de Rastras. Elaboración propia-CRT

En paralelo al cierre del transportador ya se había iniciado el montaje de los elementos metálicos y la instrumentación electromecánica para el proceso de carga y descarga como se muestran en la Figura 5.11. Asimismo, ya con el transportador terminado, se iniciaron los trabajos en la siguiente etapa de construcción de silos.

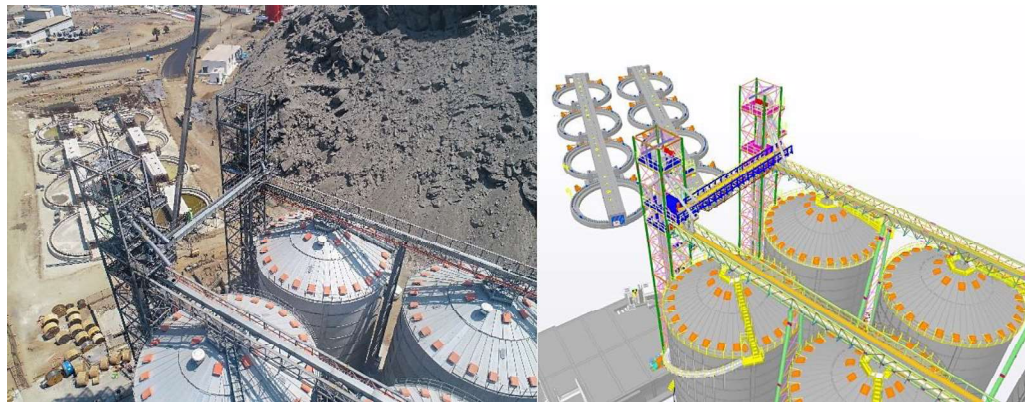


Figura 5.11. Montaje de estructuras metálicas e instrumentación. Elaboración propia-CRT

Finalmente, se culminaron ambas etapas de construcción de silos, del transportador, los elevadores y silos pulmón, y el montaje de todos los elementos metálicos e instrumentación. Asimismo, se tuvo trabajos de movimiento de tierras y pavimentación para definir el acceso a dicha zona como se aprecia en la Figura 5.12.

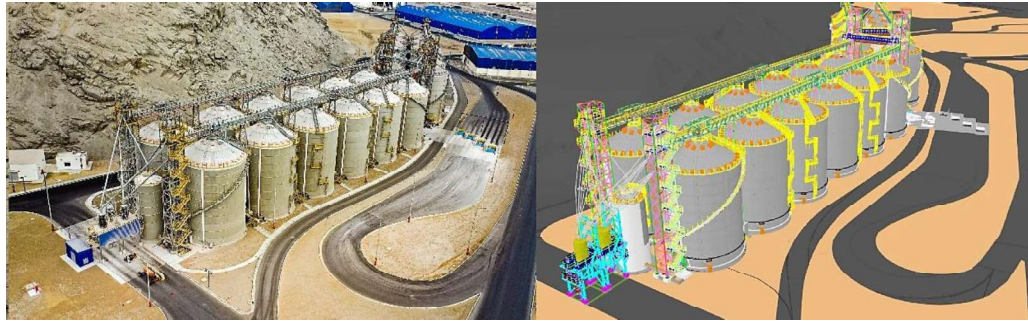


Figura 5.12. Accesos a Almacén de Silos. Elaboración propia-CRT

5.1.3 Construcción del Muelle 2

Para el inicio de trabajos en el Muelle 2, se debía demoler todo el tablero existente como se muestra en la Figura 5.13. Esto con ayuda de maquinaria y barcasas para el manejo de residuos. Los elementos que se mantenían eran los pilotes y sus cabezas (que posteriormente iban a tener una recuperación antes de colocar los nuevos elementos).



Figura 5.13. Demolición antiguo muelle. Consorcio CRT

Posteriormente, luego de la demolición de todo el tablero, se tuvo la etapa de recuperación de pilotes como se muestra en la Figura 5.14, teniendo en cuenta que los pilotes son originales de la construcción original del año 1960, previamente se hizo un estudio patológico que determinó la validez de poder aplicar la recuperación solo en la conexión a capitel.

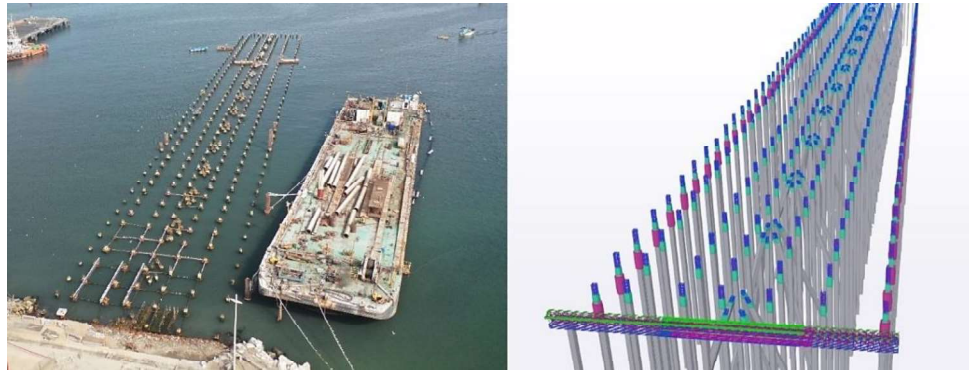


Figura 5.14. Recuperación de pilotes Muelle 2. Elaboración propia-CRT

Para los trabajos en el tablero, se inició con la viga in situ del borde tierra del muelle, asimismo con la colocación de los capiteles, vigas transversales, prelasas y vigas, todas prefabricadas como se aprecia en la Figura 5.15, y que sirve a su vez como encofrado para la colocación de acero y concreto en sitio.

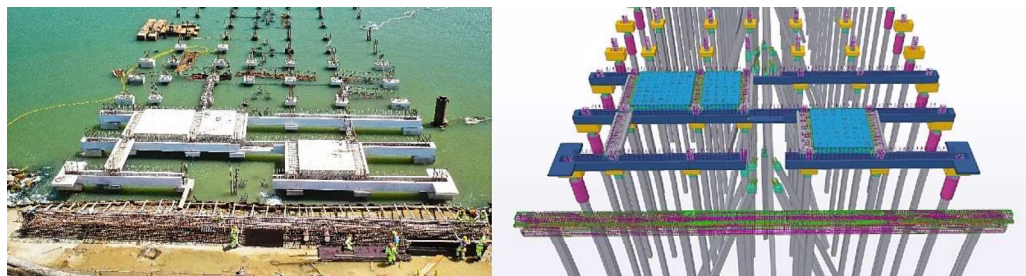


Figura 5.15. Colocación de prefabricados Muelle 2. Elaboración propia-CRT

Finalmente, el acero y concreto colocado en sitio fue progresivo desde la borde tierra hacia el borde mar como se muestra en la Figura 5.16, culminando con la colocación de los implementos para el amarre y protección de los barcos.



Figura 5.16. Culminación tablero de Muelle 2. Elaboración propia-CRT

5.1.4 Construcción del Muelle 1

Según lo proyectado, se inició la construcción de la Extensión del Muelle 1 (La extensión fue nombrada 1A y la recuperación del existente 1B). Se inició de manera similar al Muelle 2, aunque ahora en la extensión se necesitaba hincado de pilotes, todo el proceso siguiente es igual, colocación de capiteles y prefabricados tipo viga y losa.



Figura 5.17. Hincado de pilotes Muelle 1. Consorcio CRT

La Figura 5.17 muestra el hincado de las camisas para los pilotes, posteriormente se retiraba el agua presente en las camisas y se colocaba las canastillas de acero prearmadas, para finalmente colocar el concreto, como se puede apreciar en la Figura 5.18. La Figura 5.19 muestra de forma panorámica el inicio de colocación de pilotes, que finalmente fue paralelo al inicio de demolición del antiguo muelle.

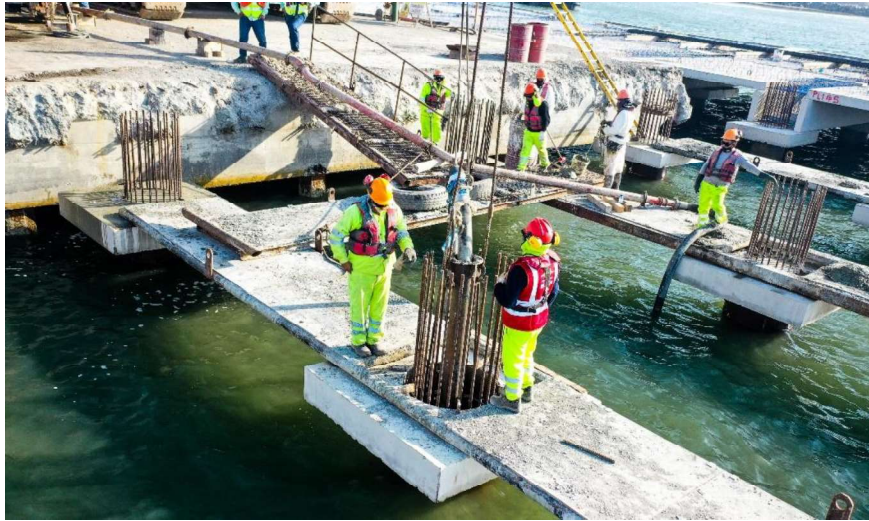


Figura 5.18. Colocación de concreto en pilotes. Consorcio CRT



Figura 5.19. Vista general de hincado y colocación de prefabricados. Elaboración propia-CRT

Luego de colocados los prefabricados, se continuó con el vaciado del tablero propiamente dicho, el acero y concreto colocado en sitio como se muestra en la Figura 5.20, de igual modo no se necesitó encofrado directamente en la colocación del mismo. A diferencia del Muelle 2, en este caso la secuencia de vaciado empezó del lado mar hacia el lado tierra, aunque dejando 3 ejes del lado mar hasta para finalizar la ejecución.

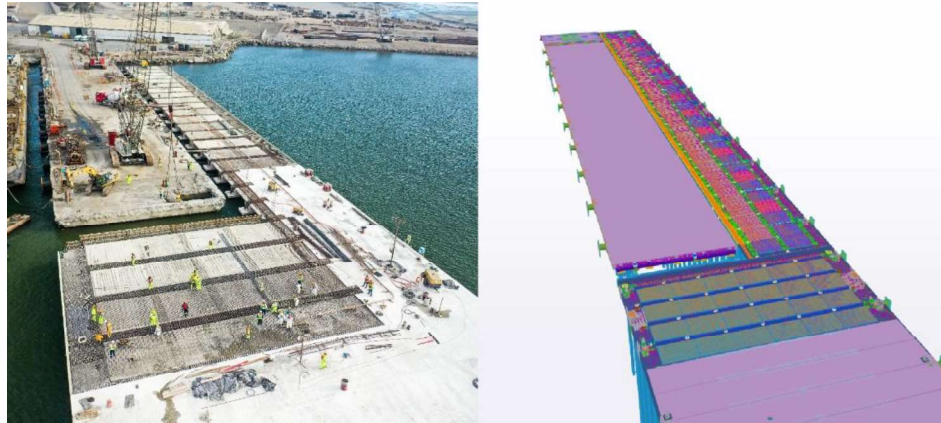


Figura 5.20. Ejecución del tablero de Muelle 1A hacia 1B. Elaboración propia-CRT

Si bien se inició con los trabajos del 1A, que era la extensión nueva, como parte del análisis de la parte 1B (inicialmente recuperación), se tuvo que cambiar la configuración del muelle a uno completamente construido (es decir se demolía y construía de manera progresiva) como se muestra en la Figura 5.21, en adelante por eso se tuvo todo como Muelle 1.

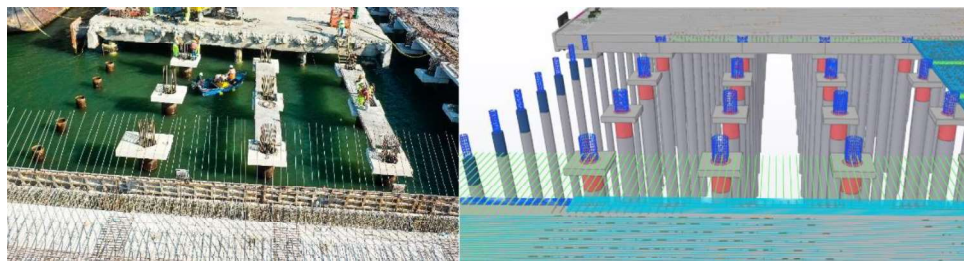


Figura 5.21. Demolición y reconstrucción de Muelle 1B. Elaboración propia-CRT

Finalmente se terminó completando todo el Muelle 1 con reconstrucción total como se aprecia en la Figura 5.22. Los últimos ejes se ejecutaron con la misma secuencia de hincado, colocado de prefabricados y vaciado de acero y concreto en sitio.



Figura 5.22. Culminación del Muelle 1 (Unificado). Elaboración propia-CRT

5.2 Resultados y uso de métricas finales

La tabla de registro de métricas presentado en el Capítulo 4.3 tuvo el seguimiento durante la etapa del proyecto de la obra, los resultados mensuales son mostrados en la Tabla 5.1. Es importante tener en cuenta que más allá de tener el compromiso de usar tomar la medición a las métricas, es también importante que estas se puedan usar para tomar decisiones, que finalmente debe ser su objetivo.

Tabla 5.1 Resultado de Métricas del primer semestre. Elaboración propia

Código	Categoría	Descripción	Tipo Métrica	Línea Base	Frecuencia	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7
I-1	ICE	RFIs resueltos	MP	100%	Semanal	65%	87%	75%	95%	96%	95%	88%
I-2	ICE	Sesiones ICE Semanales	FC	1	Semanal	1	2	2	1	1	1	1
B-1	BIM	Fabricación desde modelo	MP	95%	Diario		100%	98%	97%	97%	97%	96%
B-2	BIM	Modelos a tiempo	MP	100%	Diario		100%	0%	33%	30%	94%	82%
B-3	BIM	Días para revisión ID	FC	5	Diario			4	5	5		
P-1	PPM	Cumplimiento de Cronograma de ID	MP	100%	Semanal	95%	90%	79%	87%	90%	96%	73%
P-2	PPM	Registro de Producción	FC	100%	Diario	100%	100%	88%	100%			
P-3	PPM	Urgencia de Producción	FC	1	Mensual			7	6	6	2	10
P-4	PPM	Porcentaje de prefabricación	MP	30%	Semanal					9%	14%	16%

5.2.1 Métricas ICE

Debemos tener en cuenta que el proyecto inicio en el primer semestre del 2020, justamente cuando se tuvo lugar la emergencia sanitaria en Perú por la covid-19. Por tanto, durante algunas semanas, específicamente entre marzo a mayo del 2020 no se tuvo trabajos en obra y por tanto todas las actividades fueron de manera remota hasta que el Estado Peruano permita las actividades que incluían la construcción. El inicio de actividades en obra fue el 18 de mayo del 2020, según lo estipulado en la Resolución Ministerial RM-087-2020 del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Teniendo este contexto, fue necesario impulsar el trabajo remoto para todos los interesados del proyecto. Fue favorable que parte de las oficinas de ingeniería básica y de detalle no estaban físicamente en obra, por tanto, ya el desarrollo fue pensado para realizarse de manera descentralizada sin embargo debía afianzarse el uso de herramientas virtuales para su desarrollo. Específicamente la métrica I-1 fue más sencilla de desarrollar pues se tenía el entorno colaborativo Trimble Connect presentado en el ítem 4.5, sin embargo, fue más importante capacitarse en el uso de salas de reunión virtual como Zoom®, Microsoft Teams® o Google Meet®, para que se pueda llevar a cabo las Sesiones ICE referentes a la métrica I-2 durante el periodo que no se podía tener aglomeración de personas. Esto se refleja en las primeras mediciones de las métricas del pilar ICE como se muestra en la Figura 5.23, donde los números son más bajos.

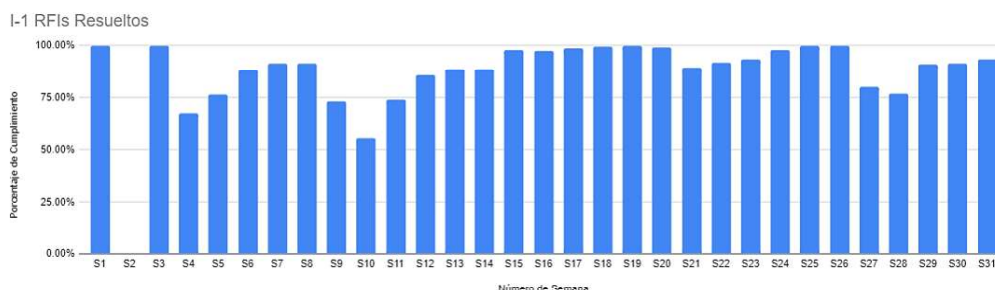


Figura 5.23 Resultados de métrica I-1. Elaboración propia

Resumen de Sesiones ICE

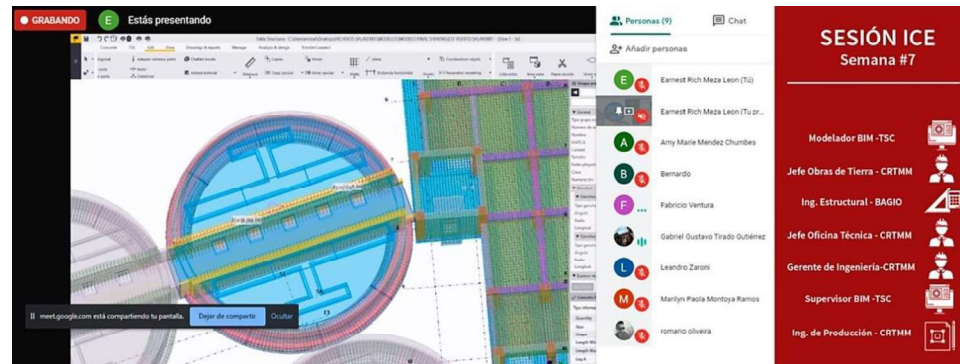


Figura 5.24 Sesión ICE #7 – Estructuras. Elaboración propia

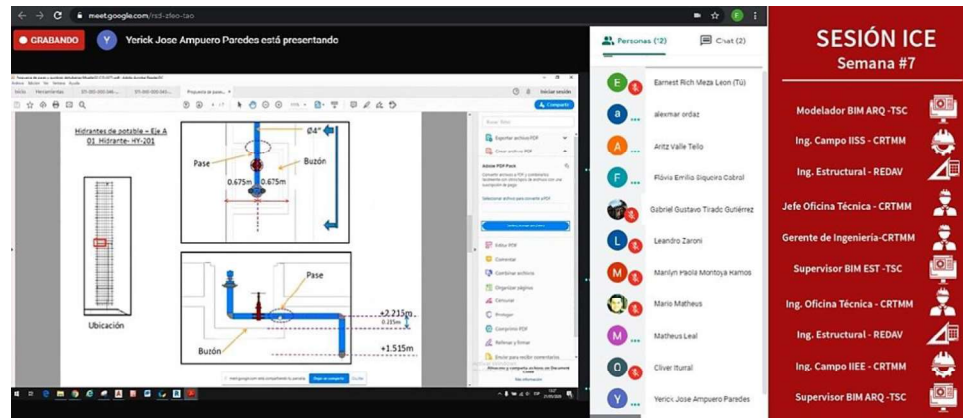


Figura 5.25 Sesión ICE #7 – Compatibilización. Elaboración propia

La Figura 5.24 de la Sesión #7, permitió analizar la longitud y posibles secuencias ejecución del túnel que, al no ser prefabricados, debía tener especial cuidado con los encofrados disponibles, para esto era importante la intervención de los encargados de Producción del Constructor. La Figura 5.25, en la misma Sesión #7 se analizó mediante anotaciones a planos de superposición con MEP, las perforaciones requeridas por tuberías en los prefabricados de borde del Muelle 2.

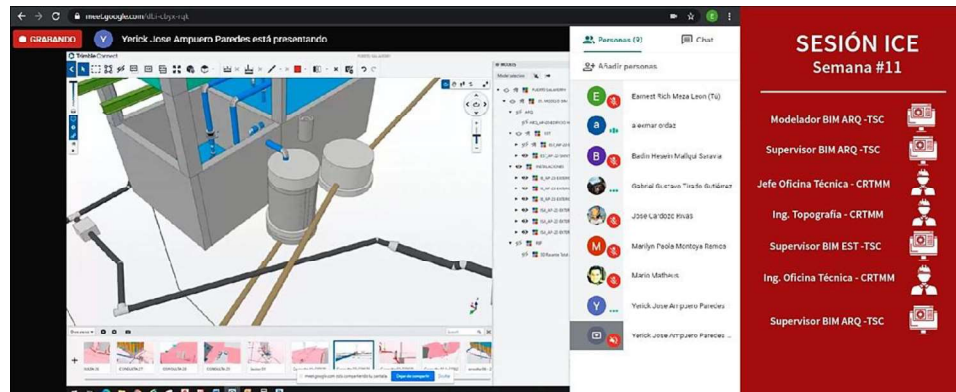


Figura 5.26 Sesión ICE #11. Elaboración propia

Similar caso se muestra en la Figura 5.26, que fue una conexión auxiliar de estaciones de bombeo para los Silos y Muelles, donde al tener toda la red de IISS y los modelos de estructuras, se pudo compatibilizar las conexiones antes de la ejecución. Si bien la estación estaba fuera, era importante su definición para no afectar las conexiones hacia las estructuras principales.

La Figura 5.27, correspondiente a la Sesión #17, se debió revisar la secuencia de ejecución del Transportador de Rastras, debido a la magnitud de la platea, los traslapes en losa debían seguir una secuencia que permita planificar y ejecutar adecuadamente esta estructura.

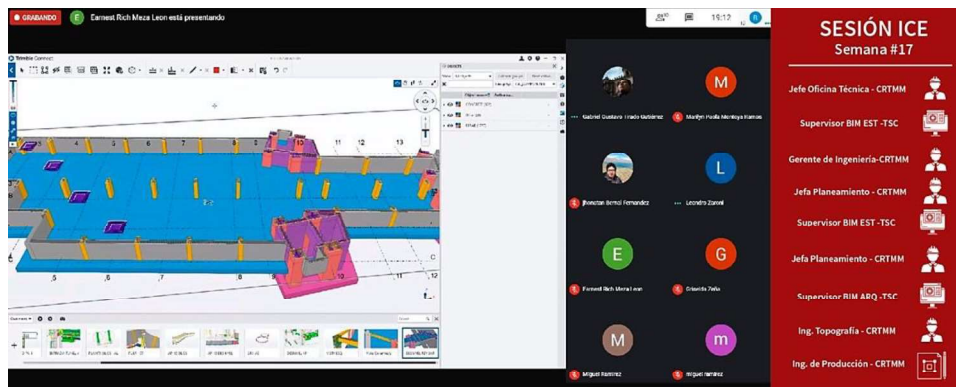


Figura 5.27 Sesión ICE #17. Elaboración propia

En la Sesión #24, como muestra en la Figura 5.28, se necesitó la participación de los especialistas de MEP y Diseñador Estructural para poder elegir la mejor opción de ubicación de aditamentos para la red eléctrica en el Muelle 2. Inicialmente se tuvo dos opciones, ubicarlas por bandejas colgantes o directamente en tablero. Colocar bandejas de manera externa fue lo más conveniente, pero teniendo las consideraciones de protección necesarias. Similarmente, otro punto a discutir fue la colocación de un poste en el extremo mar del muelle que finalmente se resolvió realizando perforación en una losa prefabricada para que pueda colocarse la base y mediante pases circulares en concreto se pueda realizar su conexión a la red eléctrica.

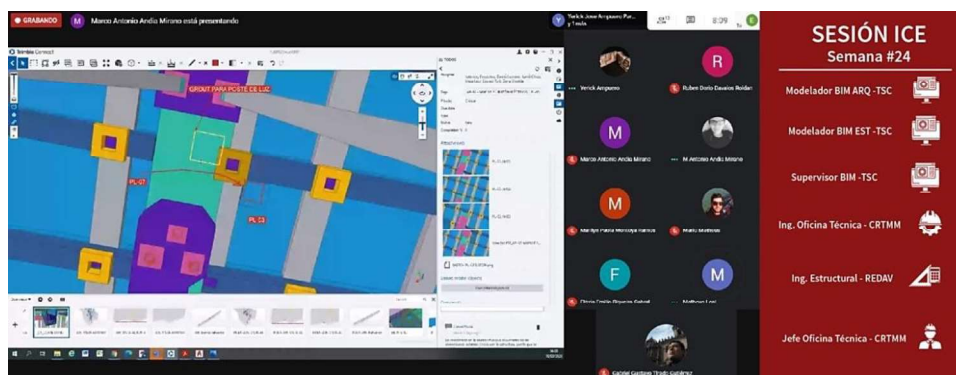


Figura 5.28 Sesión ICE #24. Elaboración propia

En la Sesión #30, como se puede ver en la Figura 5.29, se resolvió la disposición de las barras de acero en los paramentos, de modo que cumplan las cuantías requeridas, pero a su vez permita el traspaso y conexión de los bolardos laterales que sirven de protección para el muelle frente al contacto con embarcaciones. Para esto se tuvo que solicitar al proveedor de los pernos metálicos las especificaciones técnicas de sus elementos, de este modo poder proponer una distribución de las barras de acero corrugado según la cuantía de acero solicitada por el diseñador estructural pero evitando el choque con los pernos metálicos; así también en caso se requiera reforzar con barras adicionales la zona alrededor de los pernos, el diseñador estructural indicaba el acero a colocar y se agregaba dicho detalle al modelamiento.

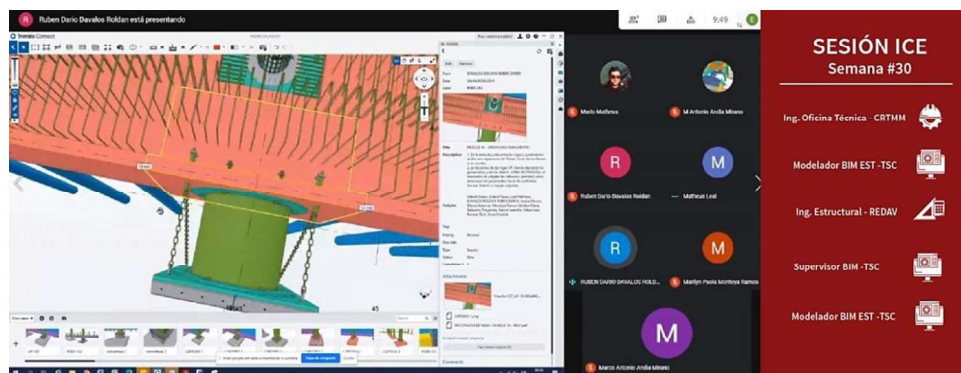


Figura 5.29 Sesión ICE #30. Elaboración propia

5.2.2 Métricas BIM

El pilar principal que se pudo avanzar con antelación fue el pilar BIM, todo el modelado a nivel de fabricación. Si bien se tuvo la paralización por la emergencia sanitaria, el modelado se pudo trabajar de manera remota sin problemas. Fue sí necesario que se adecuen las herramientas disponibles, trasladando todo el “software y hardware” que se usaba de manera local en oficinas, a servicios basados en la nube y que permitan el trabajo colaborativo remoto.

Del lado de producción, el modelo se pudo trabajar en base a la planificación, ya que el objetivo fue avanzar sin generar stock innecesario y con cierta holgura para cada parte del proceso; se tenía la “aparente ventaja” de tener más días para el desarrollo mientras se tenían los permisos para iniciar trabajos en campo. A continuación, se describirá el trabajo de modelado para un entregable específico.

a) Recepción de la ingeniería base

El inicio del flujo de detallamiento, es con los planos o “sketch” de ingeniería base, planos que no requieren mucho detalle o borradores hechos a mano, entregados en proporción 70 % – 30 %, pues los planos finales se obtendrán posterior al modelamiento. En la Figura 5.30 se aprecia un plano de ingeniería base que, si bien no tiene un alto detalle de cortes o indicaciones de geometría, contiene la

The left diagram is a technical drawing of a slab plan. It shows a rectangular slab with dimensions 4000 x 3000 mm. The slab is supported by a central column and has a perimeter of 4000 x 3000 mm. The drawing includes reinforcement details such as top and bottom bars, and a section line A-A. The right diagram is a hand-drawn sketch of a slab cross-section. It shows a rectangular slab with dimensions 4000 x 3000 mm. The slab is supported by a central column and has a perimeter of 4000 x 3000 mm. The drawing includes reinforcement details such as top and bottom bars, and a section line A-A.

Fue durante el primer trimestre que se reflejó un decaimiento fuerte en el tiempo final del desarrollo para ingeniería de detalle y fue motivo para poder usar estas métricas (combinando ICE y BIM) como base para poder cambiar el formato de trabajo de los grupos de coordinación. Evitando consolidar todo en las Sesiones ICE, en cambio generando grupos de trabajos por cúmulos, como se detalla en el ítem 2.4.1 y se muestra en la Figura 5.31. Se formaron tres grupos de trabajo marcados: Obras de mar I, Obras de Tierra I y Obras de Tierra II; basados en los diseñadores estructurales de cada zona.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN VIRTUAL (VDC) PARA LA PRECONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO ARMADO EN UNA OBRA PORTUARIA
Bach. MEZA LEÓN, Earnest Rich

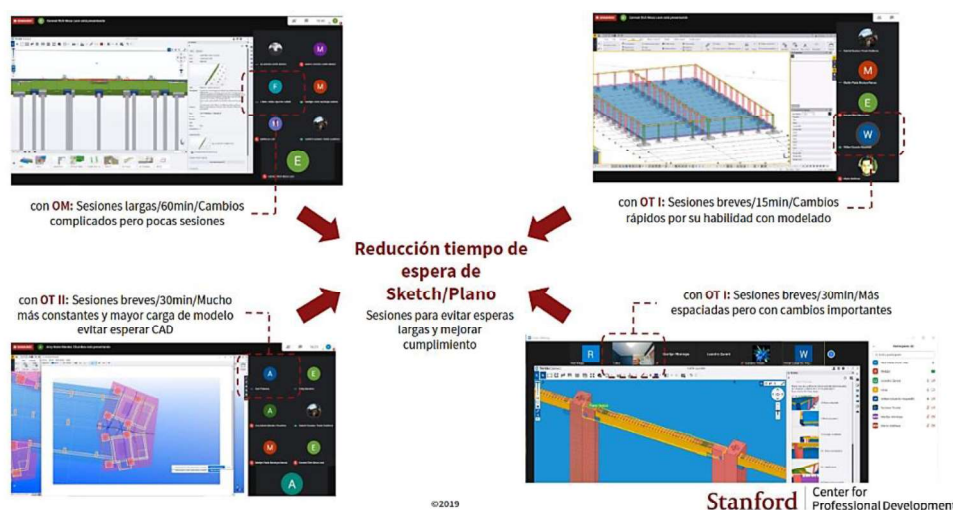


Figura 5.31 Sesiones de trabajo en cúmulos. Elaboración propia

b) Modelamiento BIM

En este punto se desarrolla en detalle todos los elementos para que pueda obtenerse la información requerida para fabricación. Todo el modelamiento de estructuras fue desarrollado en Tekla®, posterior a esto se desarrollaban las Sesiones en cúmulos y Sesiones ICE, donde validado se revisaban las incompatibilidades y constructibilidad, con lo que se procedía a realizar los dibujos finales que aplicaban tanto para la instalación como para el proyecto.

Es necesario indicar que no toda la fabricación fue prevista como acero dimensionado o prearmado que nacía del modelo. En los casos de algunas losas de diámetro menor, fue conveniente para los interesados del proyecto, que se realicen con barras estándar, ya que era más óptimo evitar el tiempo de modelamiento con elementos que finalmente tendrán en su mayoría largos de barra estándar comercial. Sin embargo, era evidente que el número de elementos desarrollados tradicionalmente debía mantenerse en el menor número posible, preferentemente que tienda a cero. Dicho control se llevó con la métrica B-1, ya que el equivalente todos los elementos que se fabricaron fuera del modelado, eran los elementos que se pedían fabricar con acero tipo barra estándar de 9m. Finalmente al terminar las obras civiles, se logró mantener en 5.5 % lo construido a

B-1 Fabricación desde Modelo (Tipo de acero)

Número de Semana	Barra estándar (No fabricado de modelo)	Prearmado	Acero Dimensionado
S18	2,22%	3,77%	94,61%
S19	2,33%	5,97%	91,71%
S20	2,09%	9,79%	87,22%
S21	3,54%	12,50%	83,95%
S22	3,41%	12,21%	84,37%
S23	3,14%	12,81%	84,05%
S24	3,14%	12,95%	83,91%
S25	2,55%	15,28%	81,76%
S26	3,30%	15,54%	81,17%
S27	3,61%	16,61%	80,78%
S28	3,78%	14,67%	81,55%
S29	4,13%	14,52%	81,35%
S30	4,17%	15,21%	80,62%
S31	3,62%	17,92%	78,26%

Es importante destacar que se tuvo que definir la cantidad de información de los modelos, según un estándar del proveedor de modelamiento, pero ajustado a las necesidades del proyecto como se muestra en la Figura 5.33. Si bien es útil que los modelos BIM tengan toda la información posible, esto también puede convertirse en una desventaja si la cantidad de información es excesiva y en vez de facilitar, dificulta la lectura de información para la revisión de la misma.



Finalmente, toda la información fue almacenada en Trimble Connect, que fue el eje central de comunicación para el ingreso y salida de modelos y planos. El modelo consolidado que tiene información con nivel de detalle de fabricación, que involucra los 65 000 m³ de concreto y 7000 Ton de acero, ocupa un total de 37 Gb de almacenamiento en la nube y continuará por un periodo contractual de tiempo

acordado entre el Consorcio y TSC-AASA. Se muestra un comparativo total del proyecto virtual versus el real en la Figura 5.34.



Figura 5.34 Proyecto completo modelado vs real. Elaboración propia - Salaverry Terminal Internacional

c) Dibujo y aprobación de Plano de Detalle

Teniendo ya resueltas todas las consultas por incompatibilidades geométricas o falta de información, y sobrepasadas las sesiones en cúmulos y sesiones ICE, se tenía todo validado para proceder con los dibujos finales, estos dibujos también eran desarrollados desde Tekla® (Figura 5.35) por lo que estaba vinculado directamente al modelado, y en caso se requiera alguna modificación por algún RFI no previsto, se podía modificar directamente sobre la lámina.

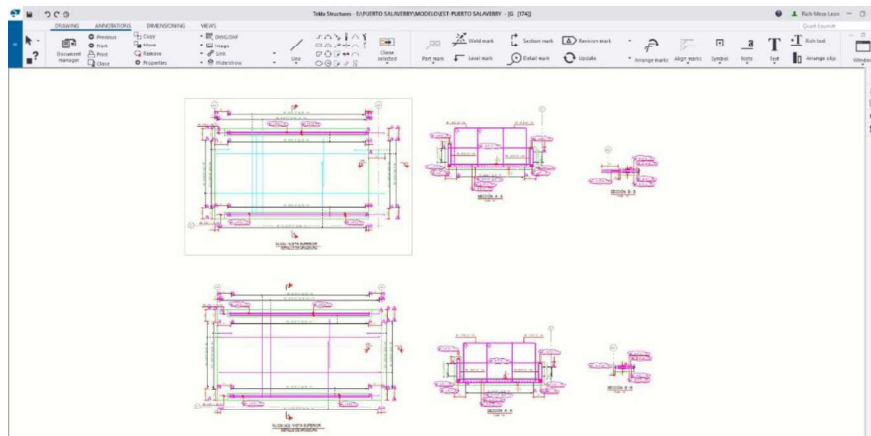


Figura 5.35 Plano de detalle desde modelo. Elaboración propia

Lo siguiente fue que se emitan los planos de detalle y sean validados por el diseñador respectivo y Oficina Técnica de obra para que puedan ser oficializados

para construcción, aunque fue un proceso de trámite más que de revisión, pues todo el detallamiento se revisó y validó en la parte de modelamiento BIM y ICE. Siendo los planos aprobados, estos podían considerarse como un stock (digital) de elementos para fabricar (la fabricación final del elemento de concreto armado), y en caso que alguna estructura hubiese tenido especial prioridad por construirse, se podía solicitar su fabricación desde el punto de validación del modelo en paralelo que la validación se oficializaba, así no se detenían trabajos de campo.

5.2.3 Métricas PPM

Según lo planteado en el ítem 4.3., la métrica principal del pilar PPM debe ser directamente relacionada con el objetivo del proyecto. En este caso la métrica P-1 está vinculada directamente con el objetivo de cumplir el cronograma de ingeniería de detalle planteado. Para ello se usó la data recopilada de la asignación de entregables del proveedor a cargo del modelamiento. Con la fecha planteada inicialmente y la fecha real de cierre del entregable, se verificó el cumplimiento a los 45 días del lead time planteado como base de cumplimiento.

Similar a lo que se reflejó en las métricas analizadas en los pilares ICE y PPM, los primeros meses fueron de aprendizaje lento y con los índices más bajos del promedio, como se muestra en la Figura 5.36.

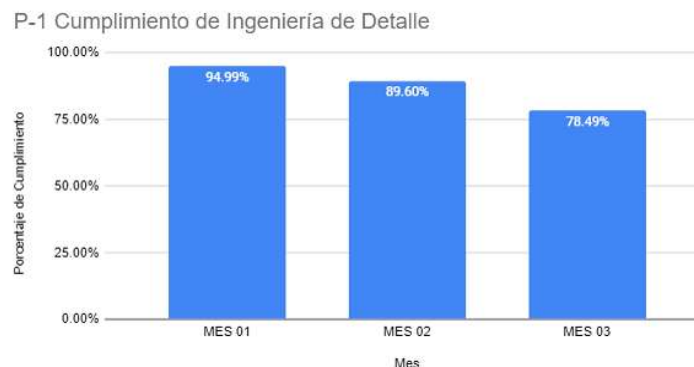


Figura 5.36 Resultado primer trimestre de métrica P-1. Elaboración propia

Fue clave en el Mes 3 que se pudiera analizar la métrica P-3 para llevar un registro de las desviaciones que ocurrían en el tiempo de desarrollo de un entregable de

ingeniería. Teniendo en cuenta que el flujo vinculaba tanto diseñador, constructor y proveedor, se debía registrar en que punto del flujo propuesto se tenían los incumplimientos de tiempos. Como se analizó en la Figura 5.37, una combinación visual de las métricas combinadas justificó la toma de decisiones y validar su progreso.

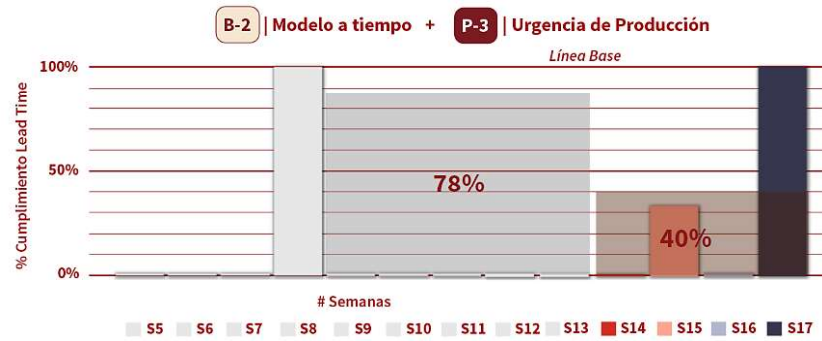


Figura 5.37 Combinación métricas B-2 y P-3. Elaboración propia

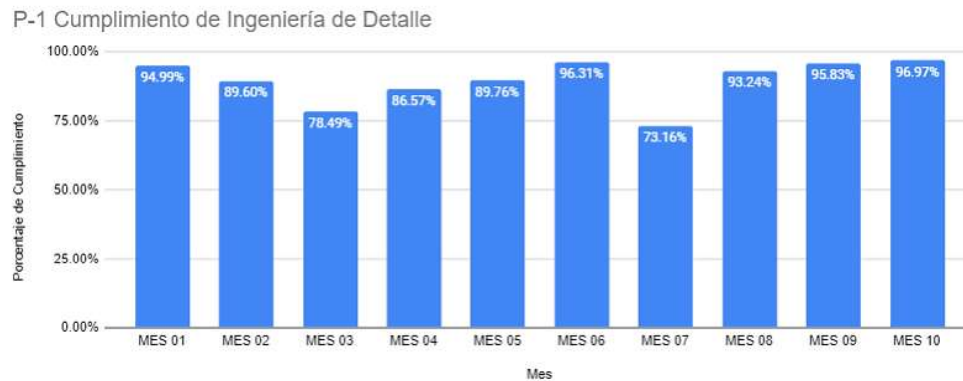


Figura 5.38 Resultado de métrica P-1 al 50% de avance de obra. Elaboración propia

Identificando las urgencias como las desviaciones del tiempo previsto, se pudo analizar el motivo específico para poder tomar medidas correctivas ya sea en el equipo de Diseño, Construcción o Proveedores. Debemos tener en cuenta que el objetivo común era no extender el plazo final del equipo completo, por tanto, una extensión del plazo de un equipo, implicaba reducir el tiempo disponible para otro o finalmente que se incumpla la fecha requerida. Es decir que, al estar en constante comunicación, se podía llegar a un acuerdo mutuo y que el área complementaria pueda absorber la extensión de tiempo del área o actividad precedente. Esto ayudó a poder controlar y estabilizar el cumplimiento de actividades luego de la primera

mitad de ejecución de obra, como se muestra en la Figura 5.39 el Mes 07 tuvo un cumplimiento menor al 70% por tanto los acuerdos realizados entre equipos en el manejo de tiempos fue lo que ayudó a que el cumplimiento posterior se logre y se mantenga casi constante durante el desarrollo del proyecto.

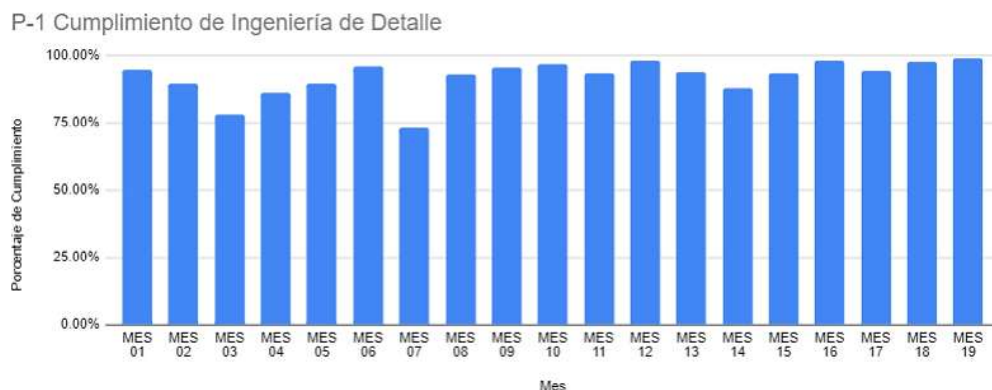


Figura 5.39 Resultado final de métrica P-1. Elaboración propia

Finalmente, el porcentaje de cumplimiento de entrega de ingeniería de detalle fue de 90.6 %, si bien no se cumplió el 95 % planteado inicialmente, si se analiza lo proyectado inicialmente, la fecha de cierre para el hito de ingeniería de detalle (los entregables planos y modelos) como se muestra en la Figura 5.40 se proyectó para el 18/03/2022, aunque finalmente el último entregable se emitió el 15/01/2022 y se tuvo un mes adicional para correcciones. Es decir, se tuvo completada la ingeniería 31 días antes del tiempo proyectado.

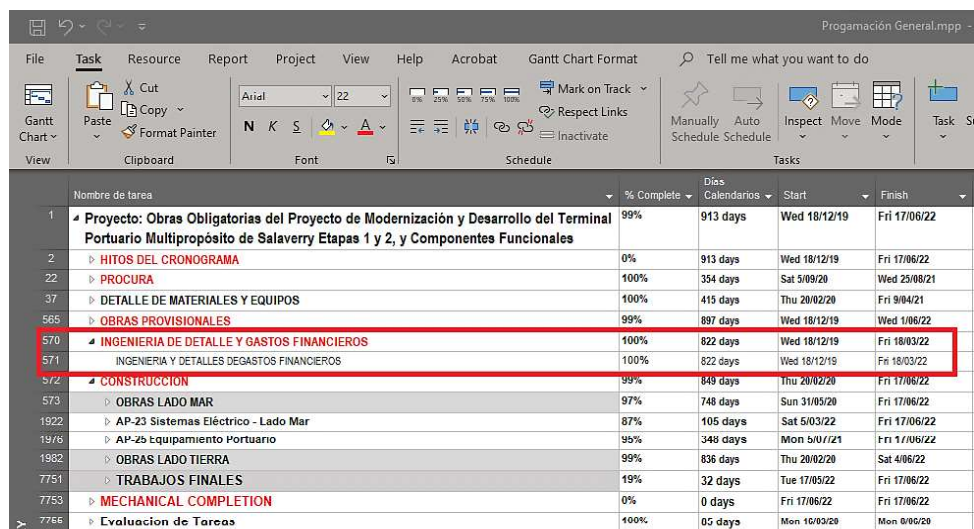


Figura 5.40 Planificación maestra de obra. Consorcio CRT

Debido a limitación de la privacidad de los datos respecto a los gastos específicos por partidas del presupuesto real, podemos dar una estimación de ahorro solo en los tiempos de ingeniería, vinculados a los gastos generales del proyecto. Esto es 31 días del proyectado de 822 días, resultando un 3.7% del total de tiempo reducido. Aproximando el total de ingenieros encargados del modelamiento, uno para obras de tierra y otro para obras de mar (ya que en el tramo final la carga de trabajo es menor) y un coordinador, con un sueldo promedio mensual de entre 3000 a 4000 soles, dichos 31 días reducidos equivalen a un aproximado de 10 000 soles reducidos al costo de desarrollo de ingeniería de detalle (detallamiento de acero y concreto).

Al respecto de la optimización obtenida, se puede analizar el tipo de acero utilizado para la construcción de obra. Como se indicó con la métrica B-1, 5.5 % fue habilitado con barra estándar, y del restante fue 24.8 % acero prearmado en taller del proveedor de acero y un 69.7 % de acero dimensionado como se muestra en la Figura 5.41. Solo el acero en barra estándar genera un desperdicio, el cual según datos del proveedor es un aproximado del 3 a 4% para el diámetro medio que se utilizó, que justamente fue para estructuras menores. Por otro lado, el uso de acero dimensionado no conlleva desperdicio de material en obra; y el uso de elementos prearmados lleva a otros beneficios descritos a continuación.

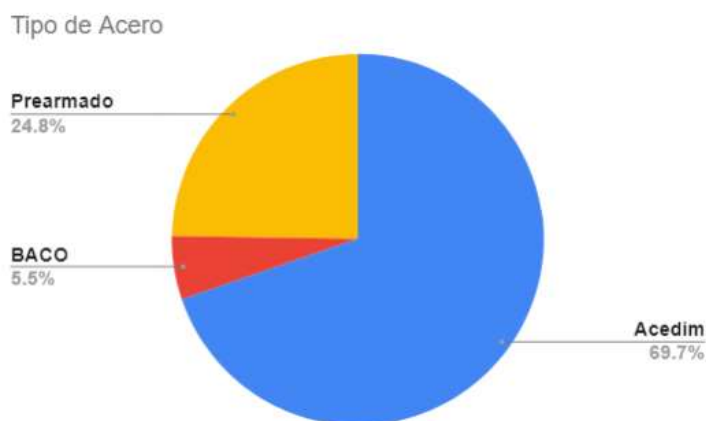


Figura 5.41 Tipos de acero fabricado. Elaboración propia

La aplicación de la metodología VDC permitió aplicar los modelos BIM y los procesos de producción de modo se pueda maximizar el uso de acero prearmado, tal como se muestra un 24.76% de uso de prearmados, equivalentes a 1733.2 toneladas de acero. Para las cuales si hubieran sido realizadas tradicionalmente en obra hubieran tenido el rendimiento y costos típicos mostrados en la Figura 5.42

Armado Tradicional		
Rendimiento Promedio	25	kg/HH
Tonelaje Prearmado	1733.2	ton
Horas Totales	69328	HH
Costo HH	26	soles/HH
Costo Total	S/1,802,528	soles

Figura 5.42 Análisis Armadura Tradicional. Elaboración propia

En cambio, al haber sido realizados en el taller del proveedor de acero que, si bien tiene con un costo adicional, lo esperado fue tener un beneficio para el constructor en su resultado final. Podemos calcular el costo por este material en base a los datos del proveedor de acero, como se muestra en la Figura 5.43. Es importante aclarar que estos costos por prearmado son analizados durante los acuerdos comerciales con el consorcio constructor y son fluctuantes por proyecto y año.

Uso de Prearmado		
PU Prearmado	980	soles/ton
Tonelaje Prearmado	1733.2	ton
Costo Total	S/1,698,536	soles

Figura 5.43 Análisis Armadura Prearmada. Elaboración propia

Por tanto, del comparativo del costo de las Figuras 5.42 y 5.43 se pudo obtener una reducción de costo de aproximado de 103 992 soles al usar acero prearmado es decir un ahorro del 6% de mano de obra de armado para el consorcio constructor. No se considera el análisis del precio unitario del material base como acero dimensionado pues en ambos casos se usa el mismo, la diferencia radica en su armado. También se debe considerar que el uso del acero prearmado reduce el tiempo de instalación en obra al tener de retroalimentación lo analizado durante la preconstrucción virtual de estos elementos.

Resulta importante, además, los resultados obtenidos de los tipos de fabricación para los elementos estructurales; esto es, el 52 % de elementos estructurales fue producido como elementos prefabricados versus el 48 %, colocado en sitio tradicionalmente como se aprecia en la Figura 5.42. Esto permitió una producción constante durante el proyecto, aun cuando se tuvieron pausas por preparación del terreno o reingeniería parcial, la industrialización de ciertos elementos en serie, en este caso más del 50%, permiten que se tengan holguras que absorban dichos retrasos, evitando así alargamientos de plazos durante la construcción.

P-4 Porcentaje de Prefabricación

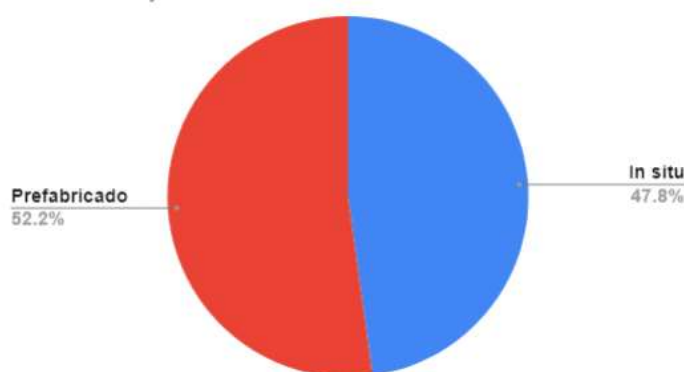


Figura 5.44 Resultados de métrica P-4. Elaboración propia

Podemos resumir los beneficios principales de la aplicación de VDC en este proyecto:

Tabla 5.2 Resumen de beneficios de VDC en el proyecto. Elaboración propia

Pilar VDC	Problema	Beneficio
BIM	Incertidumbre del detalle de elementos construidos	95% de fabricación directa de modelamiento BIM y disponible postconstrucción
ICE	Plazos extendidos ante falta de información o interferencias no resueltas	86% de RFIs resueltos en menos de 7 días
PPM	Plazos y costos excesivos	Ahorro de 103 992 soles al usar elementos prearmados de acero, un 6% de mano de obra de dichas estructuras Ahorro de 1 mes de plazo de Ingeniería de detalle, equivalente a 10 000 soles de gastos en modelamiento

CONCLUSIONES

El presente trabajo comprendió la aplicación de la metodología VDC durante la preconstrucción de un proyecto portuario, enfocado en elementos estructurales de concreto armado, siendo el objetivo de cliente el desarrollo de la ingeniería de detalle a tiempo para su construcción. Se planteó las métricas necesarias por cada pilar VDC en base al objetivo del cliente y proyecto, luego se registró los datos durante su desarrollo y se tomó decisiones basados en su desempeño y cumplimiento, que finalmente llevaron al 91% del objetivo planteado.

1. El análisis de procesos según ordena la aplicación de VDC llevó a detectar una reducción en los procesos de dibujo, esto se reflejó en los 30 días de adelanto de dicha ingeniería de detalle equivalente a un 3% del tiempo proyectado por el consorcio constructor.
2. La prefabricación de elementos estructurales que fue de más del 50%, permitió que actividades que suelen ser secuenciales, se realicen paralelo de manera industrializada, reduciendo así ser afectados por variabilidad no controlada y se tenga una producción constante.
3. La aplicación de la metodología VDC maximizó el uso de elementos de acero prearmado entregados directamente por el proveedor de acero, lo cual llevó a una reducción de 103 992 soles de costo, equivalente a un 6% de costo de mano de obra en dichas estructuras.
4. Si bien la proyección es que se utilice el modelado BIM y metodologías de gestión como VDC como un estándar, es válido si es progresivo y aplicado a las partidas más incidentes. No es necesario que todas métricas tengan un 100% de meta como fue en el caso de esta aplicación, que llegó a un 91% pero con una reducción en costo y plazo inclusive.
5. De los RFI emitidos, un 86% se resolvieron durante las sesiones ICE planificadas y/o a través del entorno colaborativo durante la semana de dicha sesión lo cual sumó al cumplimiento del desarrollo de ingeniería, evitando latencias de más de 7 días en las respuestas.

RECOMENDACIONES

Del presente trabajo realizado se desprenden las siguientes recomendaciones:

1. Los dos primeros pasos en toda aplicación VDC deben ser el identificar los objetivos y al análisis de procesos, puesto que en estos se pueden encontrar los principales puntos de optimización de tiempo y costo.
2. Para el desarrollo de las sesiones ICE, es conveniente que se trabaje una agenda previa a la citación de la misma, de este modo se puede preparar la información que requieran o alternar inclusive los involucrados que puedan facilitar y tengan la información requerida de primera mano.
3. Si bien las métricas son base para poder sustentar cualquier mejora, se debe ser consciente de la cantidad de métricas que se consideran medir. No porque se tengan mayor número de métricas la aplicación es la mejor, puede resultar inclusive imposible de medir todas de manera continua.
4. Se debe estudiar más el uso de elementos prefabricados. Si bien su resultado es positivo en obras civiles, es limitado el estudio de cuantificación de mejora en edificaciones convencionales para vigas y losas.
5. En 2023 el Ministerio de Economía y Finanzas publicó una Guía Nacional BIM, la cual puede ser una oportunidad para estandarizar la aplicación de metodologías que incluyen modelamiento BIM en futuros proyectos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceves, J. (2014). *Optimization of Container Terminal Development: Adopting Virtual Design and Construction* [Tesis de maestría, Universidad Tecnológica Delft]. Repositorio Institucional Delft. <http://resolver.tudelft.nl/uuid:c32bbe2f-e916-4495-8d92-a8793ba570fa>
- Alarcón, L.F. (2012, agosto). *Estamos frente al desafío de crear una cultura de construcción eficiente, sin pérdidas*. Revista EMB Construcción. <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=1147&>
- Alcántara, V. (2013). *Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción virtual usando tecnologías BIM* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/3760>
- Arbulú, R., Choo, J., Williams, M. (2016). Contrasting Project Production Control with Project Controls. *Journal of Project Production Institute*, 1(8). <https://projectproduction.org/journal/#volume-1-winter-2016>
- Aslam, M., Gao, Z., Smith, G. (2021). Integrated implementation of Virtual Design and Construction (VDC) and lean Project delivery system (LPDS). *Journal of Building Engineering*, 39 (13). <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102252>
- Celis, L., Huamani, C. (2020). *Virtual Design and Construction y la mejora de la gestión de proyectos en edificaciones* [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional URP. <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]. Repositorio Institucional UNI. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/4404>
- Corrales, J., Saravia, R. (2020). *Implementación de la metodología Virtual Design and 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]. Repositorio Institucional UPC. <http://hdl.handle.net/10757/651670>
- Fischer, M., Ashcraft, H., Reed, D., Khanzode, A. (2017). *Integrating Project Delivery*. Wiley & Sons. <https://www.wiley.com>
- Fischer, M. (2020). *Documentos del 2do Programa de Certificación en VDC*. Center for Integrated Facility Engineering CIFE - Universidad de Lima. <https://cife.stanford.edu/>
- Georgy, S. (2019). PPI Process Mapper. *Journal of Project Production Institute*, 4(9). <https://projectproduction.org/journal/#volume-4-summer-2019>
- Kunz, J., Fischer, M. (2012). *Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions* (Documento de Trabajo No. 97). Center for Integrated Facility Engineering Stanford University. https://stacks.stanford.edu/file/druid:gg301vb3551/WP097_0.pdf

- Lee, M., Cheah, W., Lau, S., Lee, X., Abdullahi, A., Wong, S. (2020) Evaluation of practicality of virtual design and construction (VDC) with 5D building information modelling (BIM) through a case study. *Materials Science and Engineering*, 943(7). DOI: 10.1088/1757-899X/943/1/012058
- Mandujano, M.G., Alarcon, L.F., Dave, B. A., Mourgues, C., Koskela, L. (2021). *Understanding the Interaction Between Virtual Design, Construction and Lean Construction*. Alarcon, L.F. and González, V.A. (Eds.) *29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction* (pp.110-115). <https://doi.org/10.24928/2021/0124>
- Mohamed, A. (2019). *The implementation of building information modeling (BIM) towards sustainable construction industry in Egypt the pre-construction phase* [Tesis de maestría, Universidad Americana en Cairo]. Repositorio Institucional UAC. <https://fount.aucegypt.edu/etds/508>
- Pound, E. (2019). Understanding Supplier Production Systems. *Journal of Project Production Institute*, 4(17). <https://projectproduction.org/journal/#volume-4-summer-2019>
- Project Production Institute (2022, junio) *Glosario de términos*. PPI. <https://projectproduction.org/resources/glossary/>
- Preidel, C, Borrmann, A., Oberender, C., Trethway, M. (2016). *Seamless integration of Common data Environment access into BIM authoring applications: The BIM integration framework*. 11th European Conference on Product and Process Modelling. DOI:10.13140/RG.2.1.4487.4488
- Shenoy, R. (2017). Defining Production System from an Operations Science and Project Production Management Perspective. *Journal of Project Production Institute*, 2(8). <https://projectproduction.org/journal/#volume-2-summer-2017>
- Shenoy, R. (2018). Understanding the True Cost and Impact of Inventory. *Journal of Project Production Institute*, 3(7). <https://projectproduction.org/journal/#volume-3-winter-2018>
- Shenoy, R., Zabelle T. (2016). New Era of Project Delivery – Project as a Production System. *Journal of Project Production Institute*, 1(12), 13-24. <https://projectproduction.org/journal/#volume-1-winter-2016>
- Tapia, G. (2018). *Primer estudio del nivel de adopción BIM en proyectos de edificación en Lima Metropolitana y Callao* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP. <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/134474>
- Uehara, D. (2017). *Estudio de viabilidad de un proyecto de viviendas en Lima, utilizando modelos virtuales de planeamiento* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/9241>
- Vignali, V., Acerra, E., Lantieri, C., Vincenzo, F., Piacentini, G., Pancaldi, S. (2021). Building Information Modelling (BIM) application for an existing road infrastructure. *Journal of Automation in Construction*, 128(10). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103752>

ANEXOS

ANEXO I: Plan de Ejecución BIM	106
--------------------------------------	-----

ANEXO I: Plan de Ejecución BIM

PLAN DE EJECUCIÓN BIM PUERTO SALA VERRY



Mayo
2020

REVISIÓN:	0	FECHA: 21/05/2020
ELABORADO POR:	TSC Innovation	FIRMA:

1

ÍNDICE

ÍNDICE	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. INFORMACIÓN DEL PROYECTO	3
2.1 Datos Generales	3
2.2 Contactos	3
3. ALCANCE DEL SERVICIO	3
4. OBJETIVOS Y USOS	4
4.1 Objetivos (Framework VDC)	4
4.2 Métricas	4
5. ENTREGABLES	5
6. PROCEDIMIENTO DE COLABORACIÓN	7
6.1 Intercambio de información:	7
6.2 Proceso y Flujo de Trabajo	7
7. LINEAMIENTOS BIM	8
7.1 Nomenclatura de especialidades	8
7.2 Configuración de Atributos o Propiedades TSC en Modelo BIM	8
7.3 Representación del modelo en planos 2D	9
8. PLAN DE MODELADO	12
9. INFRAESTRUCTURA TECNOLÓGICA:	13
10. EXCLUSIONES	13
11. CONSIDERACIONES	13

2

1. INTRODUCCIÓN

El Plan de Ejecución BIM (PEB) define los objetivos, el alcance, el cronograma y los procedimientos de colaboración entre los involucrados.

2. INFORMACIÓN DEL PROYECTO

2.1 Datos Generales

CLIENTE:	CONSORCIO REDRAM TUCUMAN
PROYECTO:	PUERTO SALAVERRY
UBICACIÓN:	PERU
SERVICIO:	GESTIÓN BIM

2.2 Contactos

NOMBRE	ROL	CONTACTO	E-MAIL
CRT			
Leandro Zaroni	Jefe de Ingeniería		
Mario Matheus	Ingeniero OT		
Gustavo Tirado	Jefe de OT		
Griselda Zeña	Jefa de Planeamiento		
TSC - ATC			
Felipe Quiroz	Director TSC		
Alberto Ogata	Jefe de Proyectos		
Marilyn Montoya	Coordinadora Acedim		
Rich Meza	Coordinador VDC		

3. ALCANCE DEL SERVICIO

- Definición de proceso de trabajo para obtención de planos estructurales e identificación de incongruencias e incompatibilidades según la programación del proyecto, mediante la metodología de trabajo VDC (Métricas, flujos de trabajo personalizados y Modelos BIM)
- Modelamiento de volúmenes de concreto, armaduras e insertos a base de planos de detallamiento desarrollado por el cliente y sketch de modificaciones de diseño.
- Propuesta de solución a incompatibilidades e interferencias detectadas registradas en un Log de Consultas en una hoja de cálculo y vinculadas mediante un link a la plataforma Trimble Connect
- Propuestas de mejora de constructabilidad estructural para la optimización del diseño (Uso de prearmados)
- Métricas de concreto, armaduras y encofrados (por ratios) en hoja de control HCAP almacenada en la nube.
- Elaboración de planos de detalle según el formato establecido por el cliente
- Acceso a nube Trimble Connect para trabajo colaborativo y gestión de modelo compartido en PC y dispositivos móviles.

4. OBJETIVOS Y USOS

4.1 Objetivos (Framework VDC)

La Metodología VDC (Virtual Design and Construction) es una metodología que integra tres componentes clase: BIM, Sesiones de Ingeniería Concurrente (Integrated Concurrent Engineering – ICE), y Gestión de Producción del Proyecto (Project Production Management – PPM) y los enfoca hacia un objetivo específico y medible, a fin de garantizar el éxito del proyecto.

El presente proyecto se plantea ejecutar bajo esta metodología, y el esquema principal donde se detalla los objetivos del cliente y proyecto (CO y PO, respectivamente), los usos en BIM, ICE y PPM.



4.2 Métricas

El esquema de trabajo de VDC implica medir todo lo directamente relacionado con los objetivos y que sea útil para la toma de decisiones y realizar mejoras constantes a los procesos. El siguiente cuadro resume las métricas de cada uso:

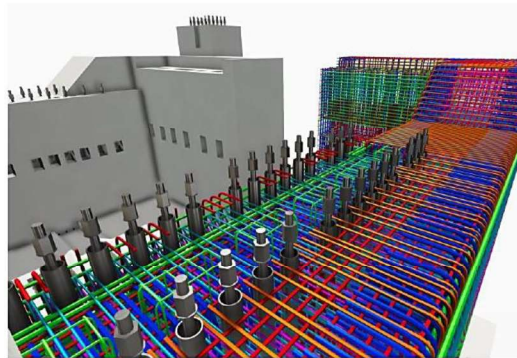
Descripción detallada de la aplicación de VDC

Objetivo de la aplicación de VDC							
Cumplimiento de cronograma de Ingeniería de Detalle al 95%							
	ICE	Objetivo	Métrica	Meta			
I-1	Métricas de Producción	Liberar Ingeniería de Detalle por áreas de trabajo	#RFIs resueltos/ #RFIs totales (Por cada área)	100%			
I-2	Factores Controlables	Sesiones ICE	Frecuencia	Semanal			
BIM	Objetivo	Métrica	Meta	PPM	Objetivo	Métrica	Meta
Métricas de Producción	Cubrir la mayor cantidad de fabricación desde BIM	Tonelaje fabricado de modelo/Tonelaje total %	95%	Métricas de Producción	Cumplir con el cronograma de obra (Ingeniería de Detalle)	Curva S: (Fecha Real/ Fecha Planeada	Fecha Real / Fecha Planeada> 95%
B-1				P-1			
Factores Controlables	Modelo LOD 400 de EST para fabricación	Días antes de requerimiento de producción	Lead Time >10 días	Factores Controlables	Industrializar la mayor cantidad de elementos	Tonelaje prearmado/Tonelaje total	Ratio>30%
B-2				P-4			
B-3	Días para Ingeniería	Días antes de envío a fabricación	Lead Time>5días	P-3	Cantidad de Urgencia	Frecuencia	1 o menos por mes

5. ENTREGABLES

- Modelo integrado en TC con archivos IFC. (Según alcance)

COMPONENTE ESTRUCTURAS	Georreferenciación	IFC	LOD
CONCRETO	X	X	350
ACERO DE REFUERZO	X	X	400
INSERTOS METÁLICOS	X	X	300
EQUIPOS DE CARGA (GRUA) CAMIONES, ETC)		X	200



- Reporte de consultas y actas de acuerdos a cada Sesión ICE en un documento compartido junto con dashboard de estatus del proyecto semanales.

Actas de compromisos



Dashboard del proyecto

-

-
- The drawing consists of several parts:
- Top Left:** A north arrow pointing towards the top-left corner.
 - Top Right:** A small site map showing the location of the slab within a larger building footprint.
 - Center:** A detailed plan view of the slab, labeled "PRESABICADO VP-01 - PLANTA". It shows a rectangular slab with various dimensions and reinforcement details.
 - Bottom Left:** A large table showing the reinforcement layout for the slab. The table has columns for reinforcement type (e.g., "BARRAS", "CABLES"), dimensions, and quantities. The table is organized into a grid with rows and columns.
 - Bottom Center:** A section view of the slab, labeled "SECCIÓN A-A". It shows the cross-section of the slab, including the reinforcement and the concrete structure.
 - Bottom Right:** A detail view of the slab, labeled "DETALLE DE EMPALME". It shows a close-up of the slab joint, including the reinforcement and the concrete structure.

6. PROCEDIMIENTO DE COLABORACIÓN

6.1 Intercambio de información:

Las plataformas de comunicación serán las siguientes:

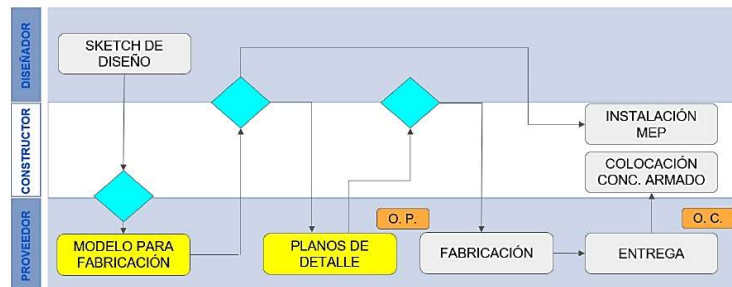
- El flujo de documentos se realizará mediante el entorno colaborativo **"Trimble Connect"**. El equipo TSC - AASA creará un directorio compartido para facilitar el intercambio de modelos, planos y otros.
- La nube **Google drive** a su vez permitirá subir nuestros archivos para su descarga. Facilitar el uso de documentos compartidos docs, sheets etc.



6.2 Proceso y Flujo de Trabajo

Diagrama orientativo para establecer el flujo del trabajo, donde se indican los responsables del trabajo en cada uno de los puntos del proceso.

a) Proceso de Producción del proyecto (PPM)



1. **PLAN MAESTRO:** Según las fechas pactadas en la oferta comercial, se procederá al inicio de actividades según el orden de los Hitos y a la elaboración del plan de modelado que muestran las fechas límites para cada proceso y así poder asegurar el cumplimiento. (Ver ítem 8)
2. **DISEÑO:** A partir de la información disponible se procederá al modelado de concreto (geometría) y acero de refuerzo. en este proceso se revisa toda la información del proyecto y se generan consultas a través de un Log de Consultas.
3. **MODELADO:** Modelado BIM realizado en Tekla con un nivel de acero de refuerzo detallado para fabricación (LOD400).
4. **CONSTRUCTIBILIDAD:** El enfoque de este proceso es maximizar la cantidad de elementos prearmados en taller o en obra, siempre enfocados a minimizar HH de terreno, bajar riesgos y disminuir plazos. En este proceso se necesita la participación de todos los involucrados en el proceso de montaje para la toma de decisiones.

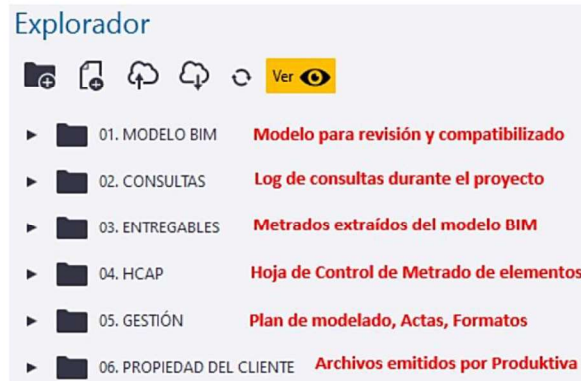
7

5. APROBACIÓN DE MODELADO: La integración de todos los involucrados en sesiones ICE es importante para el desarrollo del proyecto.
6. PLANOS: Se elaboran los planos de detalle a partir del modelo compatibilizado, para su posterior validación.
7. BIM+: Todos los modelos BIM y planos de detallamiento obtenidos son almacenados en Trimble Connect.

7. LINEAMIENTOS BIM

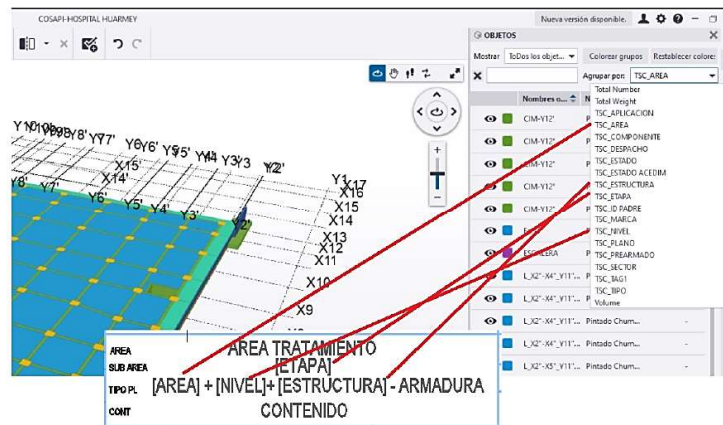
7.1 Nomenclatura de especialidades

El orden de carpetas en la plataforma colaborativa es la siguiente:



7.2 Configuración de Atributos o Propiedades TSC en Modelo BIM

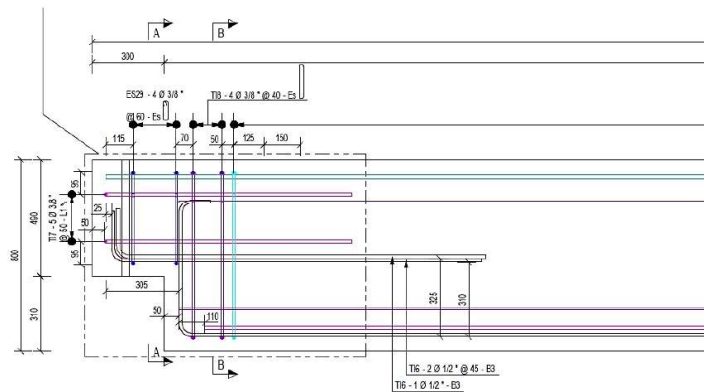
El modelo consta de los siguientes parámetros para una visualización, filtrado y revisión eficaz siguiendo la trazabilidad de la información desde el modelo hasta los planos 2D.



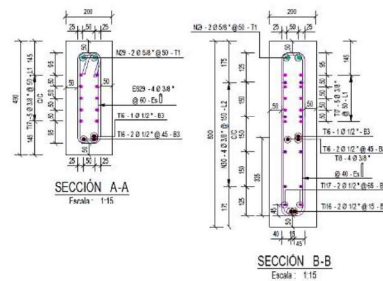
7.3 Representación del modelo en planos 2D

La información representada en el modelo será mostrada en planos 2D, a continuación, detallamos las principales características de los planos 2D:

- Las escalas a utilizar para las vistas serán de 1:10, 1:25, 1:50, 1:75 y 1:100, asegurando la correcta visualización de los elementos.
- En las vistas principales se colocará las cantidades, distribución y el rango de lo detallado.



- Las secciones se muestran las marcas según nomenclatura y figura si fuera necesario.



- La nomenclatura de las barras es la siguiente:

· NOMENCLATURA DE BARRAS

UBICACION

POSICION

CANTIDAD DE BARRAS

ESPACIAMIENTO

DIAMETRO

· TABLA 1

TN : Armadura superior - Capa "N" Tr : Traba
BN : Armadura inferior - Capa "N" Sp : Separador
LN : Armadura lateral - Capa "N" Bve/i : Barra vertical Ext./Int.
Rs : Refuerzo superior Bhe/i : Barra horizontal Ext./Int.
Ri : Refuerzo inferior Abx : Barra adicional Estructura
St : Barra vertical de arranque Ub : Barra en "U"
Es : Estribo Su : Barra suple
Ho : Horquilla C/EXT. : Cara exterior
C/INT. : Cara interior
C/C. : Cara cara

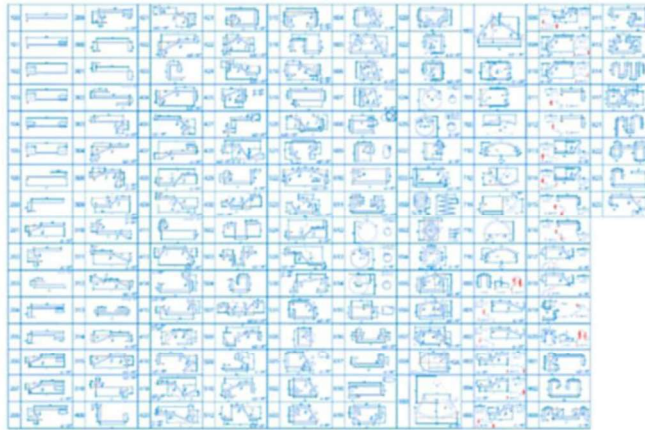
· NOTAS:
- RECUBRIMIENTOS INDICADOS
- SE COMPLEMENTA CON LÁMINAS DEL PROYECTO ORIGINAL.

- Los planos se distribuirán por:

- 1) Vistas de plantas, elevaciones, cortes, detalle y etc.
- 2) Key plan
- 3) Nomenclatura
- 4) Isométrico de elementos
- 5) Listado de barras

LISTA DE DESPIECE															
NIVEL	SECTOR	ESTRUCTURA	TIPO	CANT. DE ELEM.	PIEZA	FORMA	a	b	c	d	e	CANT. X ELEM.	DIAM	LONGITUD	TOTAL
NIVEL 2	EJE R/A	VICA	VS9	1	N29	100	6.57M					2	5/8"	6.57M	20.393Kg
			VS9	1	ES28	610	0.10M	0.70M	0.10M			38	3/8"	1.80M	38.304Kg
			VS9	1	ES29	610	0.10M	0.39M	0.10M			8	3/8"	1.18M	5.266Kg
			VS9	1	N30	100	5.96M					6	3/8"	5.96M	26.201Kg
			VS9	1	T117	100	5.74M					2	1/2"	5.74M	11.411Kg
			VS9	1	T17	300	1.03M	0.08M	1.03M			10	3/8"	2.14M	11.084Kg
			VS9	1	T18	618	0.70M	0.10M	0.13M			8	3/8"	1.96M	8.781Kg
			VS9	1	T116	504	0.13M	0.57M	5.96M	0.57M	0.13M	2	1/2"	7.36M	14.632Kg
			VS9	1	T16	200	0.21M	1.54M				6	1/2"	1.75M	10.437Kg
															84

6) Catálogo de formas



- Los planos serán a blanco y negro en PDF, salvo el acero que tendrá diferente color según el diámetro para mejor identificación y en CAD se representarán en las siguientes capas:

■ ID_D6	ARMADURA SEGUN DIÁMETRO	
■ ID_D8		
■ ID_D10		
■ ID_D12		
■ ID_D16		
■ ID_D18		
■ ID_D20		
■ ID_D22		
■ ID_D25		
■ ID_D28		
■ ID_D32		
■ ID_D36		
■ ID_HORMIGON		
■ TÍTULOS		TÍTULOS, CORTES, EJES
■ DATOS		MEMBRETE, PPs, FORMAS, BLOQUE NOTAS

El Plan de modelado dividido por áreas de acuerdo a las estructuras está organizado por entregas semanales, así como las fechas de reuniones ICE de compatibilización y fechas límite para respuesta a consultas están detalladas de acuerdo al calendario mostrado en el plan compartido

		MEL		BROU		MILU											
		GROUP		E1				E2				E3				E4	
TYPE	REF	REVENUE	CONTRIBUTION	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
1	1	8.00%	13.10%	12.57%	17.72%	16.84%	17.12%	16.24%	16.52%	15.64%	15.92%	15.04%	15.32%	14.44%	14.72%	13.84%	
2	2	8.12%	13.20%	12.64%	17.76%	16.88%	17.16%	16.28%	16.56%	15.68%	15.96%	15.08%	15.36%	14.48%	14.76%	13.88%	
3	3	8.24%	13.32%	12.76%	17.88%	16.96%	17.24%	16.40%	16.68%	15.76%	16.04%	15.16%	15.44%	14.56%	14.84%	13.96%	
4	4	8.36%	13.44%	12.88%	18.00%	17.08%	17.36%	16.52%	16.80%	15.88%	16.16%	15.28%	15.56%	14.68%	14.96%	14.08%	
5	5	8.48%	13.56%	13.00%	18.12%	17.20%	17.48%	16.64%	16.92%	16.00%	16.28%	15.40%	15.68%	14.80%	15.08%	14.20%	
6	6	8.60%	13.68%	13.12%	18.24%	17.32%	17.60%	16.76%	17.04%	16.12%	16.40%	15.52%	15.80%	14.92%	15.20%	14.32%	
7	7	8.72%	13.80%	13.24%	18.36%	17.44%	17.72%	16.88%	17.16%	16.24%	16.52%	15.64%	15.92%	15.04%	15.32%	14.44%	
8	8	8.84%	13.92%	13.36%	18.48%	17.56%	17.84%	17.00%	17.28%	16.36%	16.64%	15.76%	16.04%	15.16%	15.44%	14.56%	
9	9	8.96%	14.04%	13.48%	18.60%	17.68%	17.96%	17.12%	17.40%	16.48%	16.76%	15.88%	16.16%	15.28%	15.56%	14.68%	
10	10	9.08%	14.16%	13.60%	18.72%	17.80%	18.08%	17.24%	17.52%	16.60%	16.88%	16.00%	16.28%	15.40%	15.68%	14.80%	
11	11	9.20%	14.28%	13.72%	18.84%	17.92%	18.20%	17.36%	17.64%	16.72%	17.00%	16.12%	16.40%	15.52%	15.80%	14.92%	
12	12	9.32%	14.40%	13.84%	18.96%	18.04%	18.32%	17.48%	17.76%	16.84%	17.12%	16.24%	16.52%	15.64%	15.92%	15.04%	
13	13	9.44%	14.52%	13.96%	19.08%	18.16%	18.44%	17.60%	17.88%	16.96%	17.24%	16.36%	16.64%	15.76%	16.04%	15.16%	
14	14	9.56%	14.64%	14.08%	19.20%	18.28%	18.56%	17.72%	18.00%	17.08%	17.36%	16.48%	16.76%	15.88%	16.16%	15.28%	
15	15	9.68%	14.76%	14.20%	19.32%	18.40%	18.68%	17.84%	18.12%	17.20%	17.48%	16.60%	16.88%	16.00%	16.28%	15.40%	
16	16	9.80%	14.88%	14.32%	19.44%	18.52%	18.80%	17.96%	18.24%	17.32%	17.60%	16.72%	17.00%	16.12%	16.40%	15.52%	
17	17	9.92%	15.00%	14.44%	19.56%	18.64%	18.92%	18.08%	18.36%	17.44%	17.72%	16.84%	17.12%	16.24%	16.52%	15.64%	
18	18	10.04%	15.12%	14.56%	19.68%	18.76%	19.04%	18.20%	18.48%	17.56%	17.84%	16.96%	17.24%	16.36%	16.64%	15.76%	
19	19	10.16%	15.24%	14.68%	19.80%	18.88%	19.16%	18.32%	18.60%	17.68%	17.96%	17.08%	17.36%	16.48%	16.76%	15.88%	
20	20	10.28%	15.36%	14.80%	19.92%	19.00%	19.28%	18.44%	18.72%	17.80%	18.08%	17.20%	17.48%	16.60%	16.88%	15.92%	
21	21	10.40%	15.48%	14.92%	20.04%	19.12%	19.40%	18.56%	18.84%	17.92%	18.20%	17.32%	17.60%	16.72%	17.00%	16.04%	
22	22	10.52%	15.60%	15.04%	20.16%	19.24%	19.52%	18.68%	18.96%	18.04%	18.32%	17.44%	17.72%	16.84%	17.12%	16.16%	
23	23	10.64%	15.72%	15.16%	20.28%	19.36%	19.64%	18.80%	19.08%	18.16%	18.44%	17.56%	17.84%	16.96%	17.24%	16.28%	
24	24	10.76%	15.84%	15.28%	20.40%	19.48%	19.76%	18.92%	19.20%	18.28%	18.56%	17.68%	17.96%	17.08%	17.36%	16.40%	
25	25	10.88%	15.96%	15.40%	20.52%	19.60%	19.88%	19.04%	19.32%	18.40%	18.68%	17.80%	18.08%	17.20%	17.48%	16.52%	
26	26	11.00%	16.08%	15.52%	20.64%	19.72%	20.00%	19.16%	19.44%	18.52%	18.80%	17.92%	18.20%	17.32%	17.60%	16.64%	
27	27	11.12%	16.20%	15.64%	20.76%	19.84%	20.12%	19.28%	19.56%	18.64%	18.92%	18.04%	18.32%	17.44%	17.72%	16.76%	
28	28	11.24%	16.32%	15.76%	20.88%	19.96%	20.24%	19.40%	19.68%	18.76%	19.04%	18.16%	18.44%	17.56%	17.84%	16.88%	
29	29	11.36%	16.44%	15.88%	21.00%	20.08%	20.36%	19.52%	19.80%	18.88%	19.16%	18.28%	18.56%	17.68%	17.96%	17.00%	
30	30	11.48%	16.56%	16.00%	21.12%	20.20%	20.48%	19.64%	19.92%	19.00%	19.28%	18.40%	18.68%	17.80%	18.08%	17.12%	
31	31	11.60%	16.68%	16.12%	21.24%	20.32%	20.60%	19.76%	20.04%	19.12%	19.40%	18.52%	18.80%	17.92%	18.20%	17.24%	
32	32	11.72%	16.80%	16.24%	21.36%	20.44%	20.72%	19.88%	20.16%	19.24%	19.52%	18.64%	18.92%	18.04%	18.32%	17.36%	
33	33	11.84%	16.92%	16.36%	21.48%	20.56%	20.84%	20.00%	20.28%	19.36%	19.64%	18.76%	19.04%	18.16%	18.44%	17.48%	
34	34	11.96%	17.04%	16.48%	21.60%	20.68%	20.96%	20.12%	20.40%	19.48%	19.76%	18.88%	19.16%	18.28%	18.56%	17.60%	
35	35	12.08%	17.16%	16.60%	21.72%	20.80%	21.08%	20.24%	20.52%	19.60%	19.88%	19.00%	19.28%	18.40%	18.68%	17.72%	
36	36	12.20%	17.28%	16.72%	21.84%	20.92%	21.20%	20.36%	20.64%	19.72%	20.00%	19.12%	19.40%	18.52%	18.80%	17.84%	
37	37	12.32%	17.40%	16.84%	21.96%	21.04%	21.32%	20.48%	20.76%	19.84%	20.12%	19.24%	19.52%	18.64%	18.92%	17.96%	
38	38	12.44%	17.52%	16.96%	22.08%	21.16%	21.44%	20.60%	20.88%	19.96%	20.24%	19.36%	19.64%	18.76%	19.04%	18.08%	
39	39	12.56%	17.64%	17.08%	22.20%	21.28%	21.56%	20.72%	21.00%	20.08%	20.36%	19.48%	19.76%	18.88%	19.16%	18.20%	
40	40	12.68%	17.76%	17.20%	22.32%	21.40%	21.68%	20.84%	21.12%	20.20%	20.48%	19.60%	19.88%	19.00%	19.28%	18.32%	
41	41	12.80%	17.88%	17.32%	22.44%	21.52%	21.80%	20.96%	21.24%	20.32%	20.60%	19.72%	20.00%	19.12%	19.40%	18.44%	
42	42	12.92%	18.00%	17.44%	22.56%	21.64%	21.92%	21.08%	21.36%	20.44%	20.72%	19.84%	20.12%	19.24%	19.52%	18.56%	
43	43	13.04%	18.12%	17.56%	22.68%	21.76%	22.04%	21.20%	21.48%	20.56%	20.84%	19.96%	20.24%	19.36%	19.64%	18.68%	
44	44	13.16%	18.24%	17.68%	22.80%	21.88%	22.16%	21.32%	21.60%	20.68%	20.96%	20.08%	20.36%	19.48%	19.76%	18.80%	
45	45	13.28%	18.36%	17.80%	22.92%	22.00%	22.28%	21.44%	21.72%	20.80%	21.08%	20.20%	20.48%	19.60%	19.88%	18.92%	
46	46	13.40%	18.48%	17.92%	23.04%	22.12%	22.40%	21.56%	21.84%	20.92%	21.20%	20.32%	20.60%	19.72%	20.00%	19.04%	
47	47	13.52%	18.60%	18.04%	23.16%	22.24%	22.52%	21.68%	21.96%	21.04%	21.32%	20.44%	20.72%	19.84%	19.92%	19.16%	
48	48	13.64%	18.72%	18.16%	23.28%	22.36%	22.64%	21.80%	22.08%	21.16%	21.44%	20.56%	20.84%	19.96%	20.04%	19.28%	
49	49	13.76%	18.84%	18.28%	23.40%	22.48%	22.76%	21.92%	22.20%	21.28%	21.56%	20.68%	20.96%	20.08%	20.16%	19.40%	
50	50	13.88%	18.96%	18.40%	23.52%	22.60%	22.88%	22.04%	22.32%	21.40%	21.68%	20.80%	21.08%	20.20%	20.28%	19.52%	
51	51	14.00%	19.08%	18.52%	23.64%	22.72%	23.00%	22.16%	22.44%	21.52%	21.80%	20.92%	21.20%	20.32%	20.36%	19.64%	
52	52	14.12%	19.20%	18.64%	23.76%	22.84%	23.12%	22.28%	22.56%	21.64%	21.92%	21.04%	21.32%	20.44%	20.48%	19.76%	
53	53	14.24%	19.32%	18.76%	23.88%	22.96%	23.24%	22.40%	22.68%	21.76%	22.04%	21.16%	21.44%	20.56%	20.56%	19.88%	
54	54	14.36%	19.44%	18.88%	24.00%	23.08%	23.36%	22.52%	22.80%	21.88%	22.16%	21.28%	21.56%	20.68%	20.68%	19.92%	
55	55	14.48%	19.56%	19.00%	24.12%	23.20%	23.48%	22.64%	22.92%	22.00%	22.28%	21.40%	21.68%	20.80%	20.76%	20.04%	
56	56	14.60%	19.68%	19.12%	24.24%	23.32%	23.60%	22.76%	23.04%	22.12%	22.40%	21.52%	21.80%	20.92%	20.84%	20.16%	
57	57	14.72%	19.80%	19.24%	24.36%	23.44%	23.72%	22.88%	23.16%	22.24%	22.52%	21.64%	21.92%	21.04%	20.92%	20.28%	
58	58	14.84%	19.92%	19.36%	24.48%	23.56%	23.84%	23.00%	23.28%	22.36%	22.64%	21.76%	22.04%	21.16%	21.04%	20.40%	
59	59	14.96%	20.04%	19.48%	24.60%	23.68%	23.96%	23.12%	23.40%	22.48%	22.76%	21.88%	22.16%	21.28%	21.16%	20.52%	
60	60	15.08%	20.16%	19.60%	24.72%	23.80%	24.08%	23.24%	23.52%	22.60%	22.88%	22.00%	22.28%	21.40%	21.24%	20.64%	
61	61	15.20%	20.28%	19.72%	24.84%	23.92%	24.20%	23.36%	23.64%	22.72%	23.00%	22.12%	22.40%	21.52%	21.32%	20.76%	
62	62	15.32%	20.40%	19.84%	24.96%	24.04%	24.32%	23.48%	23.76%	22.84%	23.12%	22.24%	22.52%	21.64%	21.44%	20.88%	
63	63	15.44%	20.52%	19.96%	25.08%	24.16%	24.44%	23.60%	23.88%	22.96%	23.24%	22.36%	22.64%	21.76%	21.56%	21.00%	
64	64	15.56%	20.64%	20.08%	25.20%	24.28%	24.56%	23.72%	24.00%	23.08%	23.36%	22.48%	22.76%	21.88%	21.68%	21.12%	
65	65	15.68%	20.76%	20.20%	25.32%	24.40%	24.68%	23.84%	24.12%	23.20%	23.48%	22.60%	22.88%	22.00%	21.76%	21.24%	
66	66	15.80%	20.88%	20.32%	25.44%	24.52%	24.80%	23.96%	24.24%	23.32%	23.60%	22.72%	23.00%	22.12%	21.84%	21.36%	
67	67	15.92%	21.00%	20.44%	25.56%	24.64%	24.92%	24.08%	24.36%	23.44%	23.72%	22.84%	23.12%	22.24%	21.92%	21.48%	
68	68	16.04%	21.12%	20.56%	25.68%	24.76%	25.04%	24.20%	24.48%	23.56%	23.84%	22.96%	23.24%	22.36%	22.04%	21.60%	
69	69	16.16%	21.24%	20.68%	25.80%	24.88%	25.16%	24.32%	24.60%	23.68%	23.96%	23.08%	23.36%	22.48%	22.16%	21.72%	
70	70	16.28%	21.36%	20.80%	25.92%	25.00%	25.28%	24.44%	24.72%	23.80%	24.08%	23.20%	23.48%	22.60%	22.24%	21.84%	
71	71	16.40%	21.48%	20.92%	26.04%	25.12%	25.40%	24.56%	24.84%	23.92%	24.20%	23.32%	23.60%	22.72%	22.32%	21.96%	
72	72	16.52%	21.60%	21.04%	26.16%	25.24%	25.52%	24.68%	24.96%	24.04%	24.32%	23.44%	23.72%	22.84%	22.44%	22.08%	
73	73	16.64%	21.72%	21.16%	26.28%	25.36%	25.64%	24									

Gráfico de área que mostra a curva S de avanço planejado (Curva S de Avance Planificado) para o projeto "CUBA 5". O eixo vertical representa o "Avance" em porcentagem, variando de 0% a 100%. O eixo horizontal representa o "TIEMPO" (tempo), com marcos para 15/2020, 15/2021, 15/2021 e 15/2022. A curva S mostra o progresso acumulado ao longo do tempo, com pontos de dados rotulados por meses e anos.

9. INFRAESTRUCTURA TECNOLÓGICA:

USO BIM	DISCIPLINA	SOFTWARE	VERSIÓN
Modelo 3D	Estructura	Tekla Structures	2018i
Coordinación	Todos	Trimble Connect	2020
Visualización	Todos	Trimble Connect	2020

10. EXCLUSIONES

- Modelado de encofrado
- Validación estructural.
- Planos de Insertos metálicos

11. CONSIDERACIONES

- Se realizará una inducción de lineamientos básicos de uso de la plataforma Trimble Connect (Plataforma en la nube)
- El cliente se compromete a facilitar toda aquella documentación necesaria para el desarrollo del proyecto.