

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN VIRTUAL (VDC) PARA
SUPERAR PROBLEMAS DE INGENIERÍA EN LA FASE DE
CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES DE OFICINAS**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

ANYELO CHRISTOPHER CHINGAY PARIONA

Lima- Perú

2015

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

Hay una persona en mi vida a quien siempre voy a admirar porque me demostró que nada es imposible, me enseñó desde pequeño la humildad y a pesar de las adversidades de la vida, el amor a sus seres queridos y a Dios fue su motor y motivo.

A ti querida abuelita Lidia Malpica Pancorbo, que ahora estás con Dios, a ti te dedico la presente tesis.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios he conseguido terminar esta "aventura" que es el desarrollo de mi tesis, y digo aventura porque pasé por varias etapas y situaciones emocionantes durante el tiempo que me tomó realizarla.

Agradezco principalmente a mis padres Vilma Pariona Malpica y Roberth Cerna Pérez por apoyarme incondicionalmente en mis metas desde que era niño; y sin ellos quizás no estaría escribiendo estas líneas. También agradezco a mis hermanos Juví, Robercito y Fabri por estar conmigo todos estos años de mi vida.

Asimismo quiero agradecer a las instituciones que hicieron posible la realización de esta investigación. Empezando con el Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil (IIFIC) de la UNI, por promover la investigación en la universidad mediante convenios de investigación, en el cual pude participar. Siguiendo con la empresa contratista GyM por permitirme realizar la investigación en uno de sus proyectos, y todo su equipo de ingenieros y profesionales que me integró al proyecto y de los cuales pude aprender mucho.

Finalmente quiero hacer un agradecimiento muy especial al Dr. Teófilo Vargas Saavedra, de quien tuve la oportunidad de recibir asesorías en investigación y a quien siempre recordaré como una persona excelente y brillante. Que Dios lo tenga en su gloria.

ÍNDICE

RESUMEN	IV
LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABLAS	XII
LISTA DE CUADROS.....	XIII
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVI
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	18
1.1 GENERALIDADES	18
1.1.1 Estado del problema	18
1.1.2 Justificación del estudio	24
1.1.3 Objetivos del estudio	24
1.1.4 Experiencias en investigación y aplicaciones de VDC.....	25
1.1.5 Creación del comité BIM del Perú.....	36
1.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN VIRTUAL (VDC)	39
1.2.1 Propósito de Diseño y Construcción Virtual (VDC).....	40
1.2.2 Los modelos VDC representan el Producto, la Organización y el Proceso (modelo POP).....	41
1.2.3 Componentes de VDC	45
1.2.4 Modelo de madurez VDC	52
1.3 MODELO / MODELADO DE LA INFORMACIÓN DE LA EDIFICACIÓN (BIM).....	55
1.3.1 Definición.....	55
1.3.2 Aplicaciones BIM para la etapa de construcción.....	57
1.3.3 Beneficios del uso de BIM en la etapa de diseño y en la etapa de construcción	61
1.4 REUNIONES ICE (INGENIERÍA CONCURRENTE INTEGRADA).....	63
1.5 MAPEO DE PROCESOS.....	65
CAPÍTULO II: CASO DE ESTUDIO	71
2.1 INTRODUCCIÓN: NUEVO EDIFICIO CORPORATIVO DE GRAÑA Y MONTERO	71
2.2 ALCANCE DEL CASO DE ESTUDIO	73
2.3 ANALISIS DEL PROYECTO.....	75
2.3.1 Factores internos	75
2.3.2 Factores externos	75

2.4	SITUACIÓN CONTRACTUAL DEL PROYECTO	77
2.5	CERTIFICACIÓN VDC DE LOS INGENIEROS DE LA CONTRATISTA	78
CAPÍTULO III: DESARROLLO Y APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA VDC		79
3.1	METODOLOGÍA VDC EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO.....	79
3.1.1	Fases de madures VDC y proceso de integración en el proyecto	79
3.1.2	¿Cómo el VDC contribuye a terminar la ingeniería en el proyecto?	82
3.2	DETERMINACIÓN DE LAS MÉTRICAS POP EN EL PROYECTO.....	88
3.2.1	Métricas POP usadas en el proyecto.....	94
3.3	VISUALIZACIÓN Y MODELOS POP EN EL PROYECTO.....	98
3.3.1	Visualización	98
3.3.2	Modelos POP en el Proyecto.....	99
3.4	REUNIONES ICE EN EL PROYECTO	111
3.4.1	La tecnología.....	111
3.4.2	La metodología	115
3.5	MODELO BIM DEL PROYECTO	118
3.5.1	Modelamiento 4D.....	121
3.5.2	Facilitación de la comunicación en campo a partir del modelo BIM	126
3.6	COMUNICACIÓN Y COORDINACIÓN EN EL PROYECTO.....	129
3.6.1	Importancia de realizar un buen EDT para un mejor resultado de implementación VDC en la fase de construcción del proyecto	129
3.6.2	Control de la información y los cambios	132
3.6.3	Reuniones de programación y coordinación en Obra con apoyo virtual	136
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS		154
4.1	ANÁLISIS DE LAS MÉTRICAS USADAS EN EL PROYECTO	154
4.1.1	Valor de las métricas para la gestión de la contratista.....	154
4.1.2	Resultados y análisis del seguimiento de las métricas VDC en el proyecto.....	158
4.2	ANÁLISIS DE LAS RFIs DE INGENIERÍA EN EL PROYECTO.....	179
4.2.1	Status de las RFIs de ingeniería totales	181
4.2.2	Latencias promedio de las RFIs de ingeniería totales	191
4.2.3	Latencias promedio de las RFIs de ingeniería por especialidades	193
4.3	RESULTADOS DEL USO DEL MODELO BIM EN EL PROYECTO.....	195
4.3.1	Análisis de las horas hombre empleados en el modelo BIM por especialidades	195

4.3.2	Análisis de las horas hombre empleados para las actualizaciones de la información resuelta en el modelo	198
4.3.3	Beneficio del uso de BIM en la sectorización del proyecto	205
4.4	RESULTADOS DE LA INICIATIVA VDC EN CALIDAD Y COSTOS	207
4.4.1	Análisis de las horas hombre de retrabajo consumidas en el proyecto	207
4.4.2	Análisis de las órdenes de cambio (adicionales y deductivos) en el proyecto	210
4.4.3	Análisis del presupuesto meta (PM) elaborado por la contratista	216
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		217
5.1	CONCLUSIONES.....	217
5.2	RECOMENDACIONES.....	222
BIBLIOGRAFÍA		224
ANEXOS		227

RESUMEN

En la ejecución de un proyecto la empresa contratista debe superar los problemas provenientes del diseño a fin de llegar a contar con una ingeniería completa, concordada y que permita una construcción fluida. En los proyectos de nuestro medio las fases de Diseño y Construcción se realizan de forma separada y poco coordinadas entre sí, debido a bajos niveles de comunicación entre los involucrados, a la falta de constructabilidad en la fase de Diseño y a la falta de integración de muchos procesos que aún son complejos. Esto genera deficiencias en los documentos de diseño que impactan negativamente en la ejecución del proyecto en tiempo, calidad y costo; por lo cual produce bajos rendimientos en todas las áreas del proyecto y en especial en la Ingeniería. Sin embargo, a lo largo de la industria AEC se están llevando a cabo iniciativas para mejorar el rendimiento del proceso de Diseño y Construcción de la industria AEC, por lo cual el uso de estas nuevas metodologías para lograr los objetivos del proyecto superando las deficiencias del diseño es necesario.

Un enfoque de diseño - construcción llamado "Diseño y Construcción Virtual" (Virtual Design and Construction - VDC), desarrollado en el CIFE de la universidad de Stanford, se centra en los aspectos operativos de traducir esas iniciativas en práctica. VDC es el uso integrado de los modelos de rendimiento multi-disciplinario de diseño y construcción para los proyectos, con el fin de lograr los objetivos de los negocios propuestos, explícitos y publicables. Estos modelos son elaborados virtualmente en la computadora logrando la descripción de la información del proyecto. VDC hace hincapié en los aspectos del proyecto que pueden ser diseñados y gestionados como el Producto, la Organización y el Proceso. La plataforma de trabajo en BIM es muy importante para gestionar el Producto y los Procesos, y la teoría describe que los componentes VDC se aplican durante un proceso de Ingeniería Concurrente Integrada (ICE), que tiene lugar en una sala de reunión interactiva.

En la presente investigación se usó la iniciativa de Diseño y Construcción Virtual (VDC) para superar los problemas de ingeniería provenientes de la fase de Diseño en el proyecto "Nuevo Edificio Corporativo de Graña y Montero" ubicado en el distrito de Miraflores (Lima, Perú). El trabajo colaborativo y anticipado a los problemas reales (con la ayuda de la tecnología-virtual) buscó cumplir los objetivos trazados por la contratista, principalmente el de mejorar el rendimiento

de la ingeniería en la etapa de Construcción. Para esto se aplicaron las 2 primeras fases de VDC: Fase 1 “Visualización y Métricas” y Fase 2 “Integración”. En la primera fase se crearon las visualizaciones que fueron usadas en la etapa de construcción, es decir, la elaboración de los modelos POP (Producto – Organización – Proceso). Asimismo se plantearon 28 métricas POP o indicadores de rendimiento para monitorear el avance de la resolución de la ingeniería en el proyecto. La fase 2 consistió en la integración de las visualizaciones, obtenidas del modelo BIM, entre los actores del equipo multidisciplinario (Ingenieros, Arquitectos, Clientes, Proyectistas y Capataces de Obra) mediante diferentes reuniones ICE dadas en la misma obra antes y durante la ejecución del proyecto. Con esta iniciativa VDC en el proyecto, se contribuyó a superar los problemas de ingeniería en la fase de construcción, logrando resolver el 67% de las consultas de ingeniería hasta enero del 2013 (inicio de la excavación y movimiento de tierras) y el 80% hasta marzo del 2013 cuando empezó la construcción del edificio (inicio de la cimentación). Estas consultas de ingeniería se realizaron mediante un procedimiento establecido para la resolución de las deficiencias existentes de la ingeniería, cuyo documento es llamado RFI. Asimismo con el uso de las reuniones ICE se redujeron los tiempos para la coordinación y la resolución de la ingeniería documentadas en las RFI de ingeniería, que fluctuaban entre 45 y 19 días en cada mes antes de la implementación, y llegaron a reducirse entre 12 y 3 días por mes desde la implementación de las reuniones ICE. Finalmente en el proyecto, de las 28 métricas monitoreadas por el equipo de trabajo, solo 17 fueron cuantificadas y evaluadas obteniéndose 10 métricas con un estado evaluado de “bueno”, 4 métricas con un estado evaluado de “regular” y sólo 3 métricas con un estado evaluado de “malo”.

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.1.: (Izquierda) Influencia del diseño en la productividad en la construcción, (Derecha) grado de eficiencia del diseño en los proyectos	21
Figura N° 1.2.: Clasificación de Solicitudes de Información (RFI) por proyecto y por tipo de consulta	21
Figura N° 1.3.: Porcentaje que representa la actividad económica de la Construcción respecto al Producto Bruto Interno (PBI) en el Perú desde 1985 hasta el 2013	22
Figura N° 1.4.: Reducción en el tiempo del diseño	26
Figura N° 1.5.: Reducción en el tiempo de construcción	26
Figura N° 1.6.: Reducción en RFIs o Solicitudes de Información (SI)	27
Figura N° 1.7.: Reducción en correos (Email)	27
Figura N° 1.8.: Reducción en órdenes de cambio	28
Figura N° 1.9.: Fotografía del Sutter Medical Center en California	29
Figura N° 1.10.: Corte del modelo con información simplificada en colores	30
Figura N° 1.11.: Corte del modelo – versión final	30
Figure N° 1.12: Imagen izquierda, proyecto NSP Breda. Imagen derecha, proyecto Garage Parking Amersfoort	32
Figura N° 1.13.: Esquema del enfoque VDC para gestionar Productos (BIM), Procesos y Organización de manera integrada con ICE y lograr los objetivos del Proyecto, Cliente o Negocio	41
Figura N° 1.14.: Visualización de Organización y Procesos	48
Figura N° 1.15.: Representación esquemática de las fases del modelo de madurez VDC, aplicado a la etapa de Diseño	53
Figura N° 1.16: Representación virtual tridimensional mediante el uso del BIM (Proyecto: Universidad del Pacífico - GyM)	56
Figura N° 1.17: Áreas de aplicación del BIM para proyectos de construcción	58
Figura N° 1.18: Conflictos no identificados: Pases en vigas mediante perforaciones diamantinas.....	59
Figura N° 1.19: Visualización del alcance del proyecto y componentes de la edificación con BIM	60
Figura N° 1.20: Interfaz gráfico de un software de simulación 4D	61
Figura N° 1.21: Esquema conceptual de "Team-X" Utilizando ICE	64
Figura N° 1.22: iRoom de Jet Propulsion Laboratory (JPL). Centro de investigación y desarrollo de la NASA. Reunión ICE del equipo de trabajo	65
Figura N° 1.23: Control y Mapeo de Procesos para lograr la mejora continua en Proyectos	66
Figura N° 1.24: Sesiones de Planeamiento para crear los planes de producción	66

Figura N° 1.25: Partes de un plan de producción en el entorno ICE	67
Figura N° 1.26: Creación colaborativa de cronogramas detallados a corto plazo con ICE ..	68
Figura N° 1.27: Partes de un plan de producción con planeamiento de los procesos en un entorno ICE	68
Figura N° 1.28: Partes de un plan de producción con planeamiento colaborativo de los procesos con un desglose de sesiones ICE dentro de una sesión ICE	69
Figura N° 1.29: Mapeo de procesos para lograr la mejora continua.....	69
Figura N° 2.1: Caso de estudio: "Nuevo Edificio Corporativo de Graña y Montero". Visualización 3D	71
Figura N° 2.2: Corte transversal del edificio (elaboración propia)	72
Figura N° 2.3: Equipo de trabajo de la Contratista GyM	74
Figura N° 2.4: Organización general del proyecto en la fase de construcción	77
Figura N° 3.1.: Representación esquemática de las 2 primeas fases de implementación VDC que se realizaron en el proyecto	80
Figura N° 3.2.: Proceso de Integración en el proyecto	82
Figura N° 3.3.: Trabajo de planificación en obra	83
Figura N° 3.4.: Construcción real vs construcción virtual del sistema de desagüe del proyecto	85
Figura N° 3.5.: Avance de la construcción de la obra en Junio del 2103	86
Figura N° 3.6.: Avance de la construcción de la obra en Agosto del 2013	87
Figura N° 3.7.: Avance de la construcción de la obra en Octubre del 2013	87
Figura N° 3.8.: Construcción virtual de la obra en Marzo del 2013 (obtenida a inicios de la ejecución del proyecto)	88
Figura N° 3.9.: Visualizaciones 2D en el proyecto	99
Figura N° 3.10.: Modelado de producto: Plataformas y escaleras de acceso	101
Figura N° 3.11.: Modelo de producto: Modelo BIM completo del proyecto	102
Figura N° 3.12.: Modelo de producto: Sectorización virtual del edificio en BIM	103
Figura N° 3.13.: Modelo de producto: Modelo BIM de la estructura	103
Figura N°: 3.14.: Modelo de producto: Información virtual de las instalaciones con BIM	104
Figura N° 3.15.: Modelo de producto: Modelamiento de las losas postensadas	105
Figura N° 3.16.: Modelo de organización: Diamante de emoción del equipo	106
Figura N° 3.17.: Modelo de proceso: Simulación 4D del proceso constructivo de la sub estación	107
Figura N° 3.18.: Modelo de proceso: Simulación 4D del avance del proyecto por sectores	108
Figura N° 3.19.: Modelo de proceso: Simulación del montaje de las prelosas	109

Figura N° 3.20.: Modelo de proceso: Simulación 4D de la construcción de la torre del proyecto	109
Figura N° 3.21.: Modelo de proceso: Simulación de la construcción y montaje de los aisladores sísmicos	110
Figura N° 3.22.: Uso de los proyectores en la sala de reuniones	112
Figura N° 3.23.: Planos 2D y paredes acrílicas en la sala de reuniones ICE hace más proactivo la toma de decisiones	113
Figura N° 3.24.: Equipos usados para la sala ICE	114
Figura N° 3.25.: Jefe de ingeniería capacitando al equipo en el desarrollo de un mapeo de procesos en la sesión piloto de reunión ICE	116
Figura N° 3.26.: Reunión ICE con la gerencia del proyecto	117
Figura N° 3.27.: (1) Modelo BIM del proyecto. (2) Un corte del modelo, que se podría imprimir para campo. (3) Modelos de las instalaciones que componen al modelo central, modelados con Revit. (4) Manejo de la información de cantidades (metrado) de los materiales con el software (Revit)	119
Figura N° 3.28.: Simulación BIM del montaje de las prelosas y el avance real en campo	122
Figura N° 3.29.: Simulación 4D de la construcción de la sub estación y la ejecución en campo	123
Figura N° 3.30.: Simulación BIM del proceso constructivo de los aisladores sísmicos y su ejecución en campo	124
Figura N° 3.31.: Simulación BIM-4D de la construcción de la torre del edificio y un comparativo entre la construcción real vs la construcción virtual del casco	125
Figura N° 3.32.: Sectorización final del proyecto – 5 sectores	125
Figura N° 3.33.: Panel de visualizaciones 3D en campo	126
Figura N° 3.34.: El uso del IPAD como equipo portátil para visualizar y actualizar el modelo en campo por los ingenieros	127
Figura N° 3.35.: Interfaz de la aplicación del Autodesk® BIM 360 Glue en el IPAD	128
Figura N° 3.36.: Levantamiento de información en campo con el IPAD para actualizar el modelo	128
Figura N° 3.37.: Reunión integrada para definir el EDT del proyecto	130
Figura N° 3.38.: Flujo de información Edificio Corporativo de GyM	133
Figura N° 3.39.: Reunión con el ingeniero de Producción y el jefe de Ingeniería para tomar decisiones sobre los cambios por procedimiento constructivo	134
Figura N° 3.40.: Panel de fotografías 3D del proceso constructivo para ejecutar la construcción de los sótanos	135
Figura N° 3.41.: Fotografía tomada en una de las reuniones semanales de programación (2013)	136
Figura N° 3.42.: Fotografía de una reunión de definición con el Cliente, Proyectistas y Contratista. Con el uso del modelo BIM y la sala ICE del proyecto	138

Figura N° 3.43.: Fotografía del Mock up realizado (lado izquierdo) de los muros cortinas del proyecto para definir la cortina de vidrio del proyecto. Al lado derecho se observa el modelo realizado virtualmente	139
Figura N° 3.44.: Usando el modelo para el diseño de las opciones de la iluminación de los muros cortina del proyecto. Integrando al Cliente	139
Figura N° 3.45.: Reuniones de coordinación con el Residente de la Etapa de Arquitectura y Acabados del proyecto, para anticiparse en la resolución de problemas que se generarían en la entrega de obra	142
Figura N° 3.46.: Participantes de la reunión de coordinación con el equipo de soporte BIM para levantar las interferencias detectadas en el Modelo	144
Figura N° 3.47.: Línea de tiempo de las reuniones de coordinación con el equipo de soporte BIM	145
Figura N° 3.48.: (1) Reuniones con Soporte BIM en obra para resolver las interferencias. (2) Un modelo de reporte de interferencias que se analiza, discute y resuelve en una reunión de coordinación	146
Figura N° 3.49.: (1) Modelo con interferencias según los planos del Diseño. (2) Modelo compatibilizado después de una reunión con Soporte BIM en campo	147
Figura N° 3.50.: Equipo de trabajo multidisciplinario de la contratista, Oficina técnica que estaba instalada muy cerca del área de trabajo y Producción que operaba en el mismo lugar de trabajo	148
Figura N° 3.51.: (1) Gestionar las especialidades con BIM-ICE. (2) Para usar el modelo en oficina técnica. (3) Y “reuniones de obra” para mejorar la constructabilidad. (4) De esa manera poder acceder a la información en campo. (5) Superando los problemas de ingeniería en la construcción	149
Figura N° 3.52.: Reunión de Producción en la sala ICE del proyecto	151
Figura N° 3.53.: Uso de herramientas BIM en la obra para visualizaciones de procedimientos constructivos y revisiones del plan semanal	152
Figura N° 4.1.: Diagrama de barras del porcentaje de las RFIs resueltas que fueron actualizadas en el modelo cada mes	159
Figura N° 4.2.: Mejoras de la ingeniería e innovaciones registradas en el proyecto, cantidades reales vs cantidades objetivo mensual (2013)	164
Figura N° 4.3.: Diagrama circular de la cantidad de innovaciones concretadas y no concretadas en el proyecto, documentadas por el ingeniero residente	165
Figura N° 4.4.: Diagrama circular de la clasificación de las innovaciones para la organización, procesos y producto por el jefe de ingeniería	165
Figura N° 4.5.: Diagrama de barras del porcentaje de reuniones con el uso del modelo BIM en cada mes	166
Figura N° 4.17-c.: Diagrama de barras en días de los tiempos promedios de respuesta (latencia) de las consultas que se generaron en cada mes en el proyecto	168
Figura N° 4.14-c.: Diagrama de barras del status mensual de las consultas totales, en las RFIs de ingeniería del proyecto, durante los meses en que fueron monitoreadas	170
Figura N° 4.6.: Reporte al CIFE de Stanford del cumplimiento de las métricas N° 17 y N° 23 en diciembre del 2013 por el jefe de soporte BIM	171

Figura N° 4.7.: Porcentaje del avance mensual de la ingeniería de valor desde octubre del 2012 hasta mayo del 2013. Avance planeado vs avance ejecutado	174
Figura N° 4.8.: Diagrama de barras del status mensual de las consultas BIM del proyecto durante los meses en que fueron monitoreadas	183
Figura N° 4.9.: Diagrama de barras del status mensual acumulado de las RFIs BIM del proyecto durante los meses en que fueron monitoreadas	183
Figura N° 4.10.: Diagrama de barras del status mensual de las consultas de oficina técnica del proyecto durante los meses en que fueron monitoreadas	
Figura N° 4.11.: Diagrama de barras del status mensual acumulado de las consultas de oficina técnica del proyecto durante los meses en que fueron monitoreadas	185
Figura N° 4.12.: Diagrama de barras del status mensual de las consultas en las actas de reuniones del proyecto durante los meses en que fueron monitoreadas	186
Figura N° 4.13.: Diagrama de barras del status mensual acumulado de las consultas en las actas de reuniones del proyecto durante los meses en que fueron monitoreadas	186
Figura N° 4.14.: Diagrama de barras del status mensual de las consultas totales, en las RFIs de ingeniería del proyecto, durante los meses en que fueron monitoreadas	188
Figura N° 4.15.: Diagrama de barras del status mensual acumulado de las consultas totales, en las RFIs del proyecto, durante los meses en que fueron monitoreadas	190
Figura N° 4.16.: Diagrama de barras en días de los tiempos promedio de respuesta (latencia) de las consultas que se generaron en cada mes	191
Figura N° 4.17.: Diagrama de barras en días de los tiempos promedio de respuesta (latencia) de las consultas que se generaron en cada mes en el proyecto	192.
Figura N° 4.18.: Diagrama de barras en días de los tiempos promedio de respuesta (latencia) de las consultas generadas por especialidad en el proyecto (RFI BIM y RFI de oficina técnica)	193
Figura N° 4.19.: Diagrama de barras en días de los tiempos promedio de respuesta (latencia) de las consultas totales generadas por especialidad en el proyecto	194
Figura N° 4.20.: Diagrama de barras de las horas hombre consumidas por especialidades de soporte BIM para actualizar la información de la ingeniería resuelta en el modelo, en el mes de febrero	195
Figura N° 4.21.: Diagrama de barras de las horas hombre consumidas por especialidades de soporte BIM para actualizar la información de la ingeniería resuelta en el modelo, en el mes de marzo	196
Figura N° 4.22.: Diagrama de barras de las horas hombre consumidas por especialidades de soporte BIM para actualizar la información de la ingeniería resuelta en el modelo, en el mes de abril	197
Figura N° 4.23.: Diagrama circular de las horas hombre consumidas por soporte BIM en el modelo para la especialidad de arquitectura hasta la semana 09 – febrero	199

Figura N° 4.24.: Diagrama circular de las horas hombre consumidas por soporte BIM en el modelo para la especialidad de estructura hasta la semana 09 – febrero	200
Figura N° 4.25.: Diagrama circular de las horas hombre consumidas por soporte BIM en el modelo para la especialidad de MEP hasta la semana 09 – febrero	201
Figura N° 4.26.: Diagrama circular de las horas hombre consumidas por soporte BIM en el modelo para la especialidad de arquitectura hasta la semana 18 – Abril	202
Figura N° 4.27.: Diagrama circular de las horas hombre consumidas por soporte BIM en el modelo para la especialidad de estructura hasta la semana 18 – Abril	203
Figura N° 4.28.: Diagrama circular de las horas hombre consumidas por soporte BIM en el modelo para la especialidad de MEP hasta la semana 18 – Abril	204
Figura N° 4.29.: Primera sectorización en el proyecto con 4 sectores (lado izquierdo). Cuarta sectorización en el proyecto con 5 sectores (lado derecho)	205
Figura N° 4.30.: Registro mensual de las horas hombre (HH) de retrabajo consumidas en el proyecto por especialidad	207
Figura N° 4.31.: Registro mensual acumulado de las horas hombre (HH) de retrabajo consumidas en el proyecto por especialidad	208
Figura N° 4.32.: Diagrama circular de las horas hombre (HH) de retrabajo totales consumidas en el proyecto por especialidad	209
Figura N° 4.33.: Diagrama de barras del monto total en soles de las órdenes de cambio por cada especialidad en el proyecto	210
Figura N° 4.34.: Comparativo en diagrama de barras por especialidades entre las órdenes de cambio generadas en los 2 proyectos	214
Figura N° 4.35.: Diagrama circular de los 5 tipos de orígenes de las órdenes de cambio detectadas en el proyecto y sus valores en dinero y porcentajes respecto del monto total de OC	215

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1.1.: Directrices para la creación de Funciones, Alcances y Comportamientos de los modelos POP y como se relacionan entre si adecuadamente (Kunz y Fischer, CIFE)	44
Tabla N° 1.2.: Ejemplo aplicativo de los aspectos de un modelo POP (Elaboración propia)	51
Tabla N° 3.1.: Ejemplo de métricas POP de proceso y sus valores medibles desarrollados por el CIFE de Stanford	90
Tabla N° 3.2.: Ejemplo de métricas POP de resultado y sus valores medibles desarrollados por el CIFE de Stanford	92
Tabla N° 3.3.: Métricas de proceso usadas por los principales involucrados en la aplicación de la metodología VDC para el proyecto	95
Tabla N° 3.4.: Métricas de resultado usadas por los principales involucrados en la aplicación de la metodología VDC para el proyecto	96
Tabla N° 3.5.: Componentes de cada una de las fases del modelado en BIM	120
Tabla N° 4.1.: Valor para la gestión de la contratista de las métricas de proceso, evaluadas por los principales involucrados en la aplicación de la metodología VDC para el proyecto	154
Tabla N° 4.2.: Valor para la gestión de la contratista de las métricas de resultado, evaluadas por los principales involucrados en la aplicación de la metodología VDC para el proyecto	156
Tabla N° 4.3.: Mejoras e innovaciones de la ingeniería y la construcción registradas en el proyecto – 2013	161
Tabla N° 5.1.: Resultados de la evaluación de las métricas de proceso usadas en la aplicación de la metodología VDC para el proyecto	220
Tabla N° 5.2.: Resultados de la evaluación de las métricas de resultado usadas en la aplicación de la metodología VDC para el proyecto	221

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 1.1.: Estimaciones de desperdicios en obras de edificación	19
Cuadro N° 1.2.: Clasificación de defectos, Santiago de Chile (Alarcón y Mardones, 1998)	20
Cuadro N° 1.3.: Variaciones porcentuales del PBI que representa el sector Construcción en los últimos años	22
Cuadro N° 1.4.: Principales resultados del análisis con respecto a las métricas de POP	33
Cuadro N° 1.5.: Principales resultados de los análisis con respecto a las visualizaciones de productos	34
Cuadro N° 1.6.: Principales resultados del análisis con respecto a las reuniones del ICE y la interacción del equipo de diseño	35
Cuadro N° 1.7.: Matriz de relaciones: En un alto nivel de desarrollo VDC, los modelos POP representan la Función, Forma y Comportamiento	43
Cuadro N° 3.1.: Software y Hardware usados en el proyecto	114
Cuadro N° 3.2.: Puntos principales del uso de un EDT único en el proyecto	131
Cuadro N° 3.3.: Puntos principales del control de la información y los cambios en el proyecto	135
Cuadro N° 3.4.: Puntos principales de la participación del cliente en las rutinas de coordinación entre Contratista y Projectistas	140
Cuadro N° 3.5.: Puntos principales de las reuniones ICE con el equipo de ejecución de Arquitectura	143
Cuadro N° 3.6.: Puntos principales de las reuniones de Producción	153
Cuadro N° 4.1.: Estado de la ingeniería de valor de cada propuesta hasta febrero del 2013	172
Cuadro N° 4.2.: Calculo del porcentaje de avance de la ingeniería de valor hasta febrero del 2013	172
Cuadro N° 4.3.: Calculo del porcentaje de avance de la ingeniería de valor hasta mayo del 2013	173
Cuadro N° 4.4.: Calculo del porcentaje de avance de la ingeniería de valor hasta junio del 2013	173
Cuadro N° 4.5.: Métricas que no se analizaron en el proyecto	177
Cuadro N° 4.6.: Cantidades de RFIs generados en el proyecto por tipo y por especialidades	181
Cuadro N° 4.7.: Cantidades de RFIs generados en el proyecto por tipo y por especialidades	182
Cuadro N° 4.8.: Horas hombre de actualizaciones en el modelo BIM en el mes de febrero del 2013	195
Cuadro N° 4.9.: Horas hombre de actualizaciones en el modelo BIM en el mes de marzo del 2013	196

Cuadro N° 4.10.: Horas hombre de actualizaciones en el modelo BIM en el mes de abril del 2013	197
Cuadro N° 4.11.: Horas hombre de retrabajo de soporte BIM para la sectorización del proyecto. Datos brindados por el jefe del área de soporte BIM	205
Cuadro N° 4.12.: Análisis comparativo entre los presupuestos elaborados en el proyecto: PB, PC y PM. Y cuanto representa el cambio de ingeniería y mejoramiento de ingeniería realizadas en el proyecto	216

LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

ACI:	Instalaciones de Agua Contra Incendios
AEC:	Arquitectura – Ingeniería – Construcción
BIM:	Building Information Modeling (Modelado de la Información de la Edificación)
BIM-3D:	Modelo tridimensional BIM (3D) de la edificación
BIM-4D:	Proceso constructivo con BIM (Modelo 3D + Tiempo)
CIFE:	Center for Integrated Facility Engineering (de Stanford)
CGP:	Área de Control y Gestión de Proyectos
EDT:	Estructura de Desglose del Trabajo
ICE:	Integrated Concurrent Engineering (Ingeniería Concurrente integrada)
IIEE:	Instalaciones Eléctricas
IISS:	Instalaciones Sanitarias
IIMM:	Instalaciones Mecánicas
MEP:	Mechanical, Electrical and Plumbing (Mecánica, Eléctrica y Plomería)
OC:	Órdenes de Cambio
PM:	Presupuesto Meta
POP:	Producto – Organización – Proceso
PBI:	Producto Bruto Interno
RFI:	Request For Information (Solicitudes de información o SI)
TI:	Tecnologías de Información
VDC:	Virtual Design and Construction (Diseño y Construcción Virtual)
VDT:	Virtual Design Team (Equipo de Diseño Virtual)
2D:	Dibujos en dos dimensiones

INTRODUCCIÓN

En la última década el PBI de Construcción en el Perú ha ido incrementándose gradualmente, existiendo por consecuencia un notable crecimiento de los proyectos de construcción (particularmente de edificaciones). Esta situación en el mercado vivió la empresa contratista GyM quienes reconocieron el aumento de sus proyectos en el sector Construcción, pero también reconocieron que los proyectos actuales eran mucho más agresivos en plazos, eran cada vez más complejos y venían con ingenierías no revisadas. Por tales motivos se decidió el uso de una nueva metodología que ayude a enfrentar los nuevos retos con el soporte de experiencias previas usando el BIM. La presente investigación representa el uso de la metodología de "Diseño y Construcción Virtual" (VDC) en un proyecto de la contratista para evaluar sus diferentes usos, conocer sus beneficios y conocer su comportamiento al aplicarla en nuestra realidad.

En ese sentido, el objetivo principal de la investigación es contribuir a superar los problemas de ingeniería que enfrenta la contratista en la fase de construcción del proyecto con el uso de la iniciativa VDC y medir su desempeño a través de indicadores de rendimientos.

Los capítulos que forman el esquema de la presente investigación son el Capítulo I: Marco Teórico, el Capítulo II: Caso de Estudio, El Capítulo III: Desarrollo y Aplicación de la metodología VDC, Capítulo IV: Análisis de Resultados y el Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones.

En el Capítulo I, Marco Teórico, se indican las generalidades del estudio y la información teórica de VDC, BIM, ICE y Mapeo de procesos. Se extrajeron las partes más importantes y básicas de las investigaciones realizadas sobre estos temas, principalmente por el CIFE de Stanford. En el Capítulo II, Caso de Estudio, se detallan las características del proyecto en estudio y se realizó un análisis para encontrar los factores internos y externos del proyecto. Asimismo se describe la situación contractual que permitió desarrollar el enfoque VDC en el proyecto. En el Capítulo III, Desarrollo y Aplicación de la metodología VDC, se procede a desarrollar los aspectos netamente prácticos que se usaron en la aplicación de las 2 primeras fases del modelo de madurez VDC. En la cual se elaboraron los modelos POP y las métricas POP, para luego integrarlas a una nueva estructura de trabajo y comunicación con las reuniones ICE y de esa

manera se fue resolviendo la ingeniería de una forma más rápida en la misma obra. En el Capítulo IV, Análisis de Resultados, se analizó toda la información levantada en la investigación, como el seguimiento de las métricas usadas, los status de las RFIs de ingeniería totales, las horas hombre (HH) empleadas para el modelo BIM en las actualizaciones de la ingeniería resuelta y otros resultados en términos de costos. En el Capítulo V se listan las conclusiones y recomendaciones de la presente investigación.

Finalmente, en los Anexos se incluye toda la información útil vinculada al uso de la metodología VDC en el proyecto.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 GENERALIDADES

1.1.1 Estado del problema

En la ejecución de un proyecto la empresa contratista debe superar los problemas provenientes del diseño a fin de llegar a contar con una ingeniería completa, concordada y que permita una construcción fluida. (Flujo continuo, lean construction).

Deficiencias del Diseño y su impacto en la etapa de Construcción

En nuestro medio las etapas de diseño y de construcción de un proyecto se realizan de forma separadas y muy poco coordinadas entre sí, esto se da debido a bajos niveles de comunicación entre los involucrados, falta de aplicación del concepto de constructabilidad en la etapa de diseño, falta de herramientas de coordinación y de visualización de los procesos y en general a la costumbre de ir solucionando las cosas conforme se vayan presentando.

Existen muchas maneras en que los documentos de diseño e ingeniería pueden influir negativamente en el cumplimiento eficiente en tiempo y costo de los proyectos de construcción. Algunos de estos problemas más comunes, que afectan principalmente a la contratista, son:

- Documentos de licitación incompletos e inadecuados
- Planos de diseño e ingeniería que llegan tardíamente
- Errores en los planos
- Omisiones en los planos
- Incompatibilidad entre los documentos contractuales de diseño
- Excesivas solicitudes de información (RFI)
- Tiempo de espera de las RFI muy altos
- Los cambios en el diseño

Para tener un panorama claro del impacto del diseño en la etapa de construcción de un proyecto, citaremos las conclusiones a las que llegaron diversos estudios sobre este problema en países muy cercanos y en el Perú.

Flavio Picchi (1993), en su tesis doctoral muestra unas estimaciones de los desperdicios generados en proyectos de edificaciones en Sao Paulo, donde se ve que existe un 30% del costo total de la obra compuesto por desperdicios. De ese 30% el identificó 8 grandes causas de desperdicios en obra resultándole las de mayor incidencia las causas por Proyectos no optimizados (6%), ver cuadro N° 1.1:

Cuadro N° 1.1.: Estimaciones de desperdicios en obras de edificación. Fuente: Picchi (1993), Sao Paulo-Brasil.

ESTIMADO DE DESPERDICIO EN OBRAS DE EDIFICACIONES (% del costo total de obra)		
ITEM	DESCRIPCIÓN	%
Restos de material	Restos de mortero, ladrillo, madera, limpieza y retirada de material	5.0%
Espesores adicionales de mortero	Tarrajeo de techos, de paredes internas, de paredes externas. Contrapisos	5.0%
Dosificación no optimizadas	Concreto, mortero de tarrajeo de techos, mortero de tarrajeo de paredes, mortero de contrapisos y mortero de revestimientos	2.0%
Reparaciones y re-trabajos no computados en el resto de materiales	Repintado, retoques y corrección de otros servicios	2.0%
Elaboración de proyectos no optimizados	Arquitectura, Estructuras, Instalaciones sanitarias e Instalaciones eléctricas.	6.0%
Pérdidas de productividad debidas a problemas de calidad	Parada y operaciones adicionales por falta de calidad de los materiales y servicios anteriores.	3.5%
Costos debidos a atrasos	Pérdidas financieras por atrasos de las obras y costos adicionales de administración, equipos y multas.	1.5%
Costos en obras entregadas	Reparo de patologías ocurridas después de la entrega de obra.	5.0%
TOTAL		30.0%

Alarcón y Mardones (1998), en un estudio realizado en 4 proyectos de una empresa constructora chilena, identificaron los diferentes problemas presentados en la interfase diseño-construcción, llegando a la conclusión que los más frecuentes eran los relativos a la falta de detalles, especialmente en los planos de estructuras, planos de arquitectura y la incompatibilidad entre las mismas. El cuadro N°1.2 muestra el resumen de estas estimaciones, lo cual refleja un bajo nivel de comunicación entre los proyectistas y poco conocimiento de los procesos constructivos.

Cuadro N° 1.2.: Clasificación de defectos, Santiago de Chile (Alarcón y Mardones, 1998)

N°	DEFECTOS DE DISEÑO	%
1	Escaso detalle de los elementos estructurales	13.97
2	Falta de planos detallados de arquitectura	12.78
3	Incompatibilidad entre las diferentes especialidades	11.59
4	Cruce de información incorrecto con estructuras	8.17
5	Falta de definición de elementos de arquitectura	6.54
6	Modificaciones en los planos de estructura	6.39
7	Falta de dimensiones de arquitectura	6.24
8	Falta de identif. y ubicación de los elementos de arquitectura	5.65
9	Materiales de acabados que requieren muestras	4.75
10	Problemas con los ejes	4.46
11	Defectos de diseño en el desagüe	4.16
12	Cruce de información incorrecto con arquitectura	3.12
13	Cambio de diseño de propietario	3.12
14	Defectos de diseño eléctrico	2.97
15	Se entregan tarde los planos de arquitectura	1.93
16	Defectos en los diseños A.C	1.49
17	Problemas con los equipos eléctricos	0.89
18	Estructura de los equipos	0.59
19	Problemas con los materiales en el mercado	0.45
20	Convención de símbolos	0.45
21	Defectos en los diseños de gas	0.30
TOTAL		100%

Como estudios más recientes y hechos en el ámbito nacional, Vásquez (2006), realizó una serie de entrevistas a maestros de obra e ingenieros residentes que trabajaban en 65 proyectos de edificación de viviendas en la ciudad de Lima (ver figura N°1.1), donde concluyó que el 73% de los entrevistados percibe que el diseño tiene una gran influencia en la productividad de la obra y el 66% de los ingenieros residentes califican el grado de eficiencia de los proyectos como de regular a deficiente.

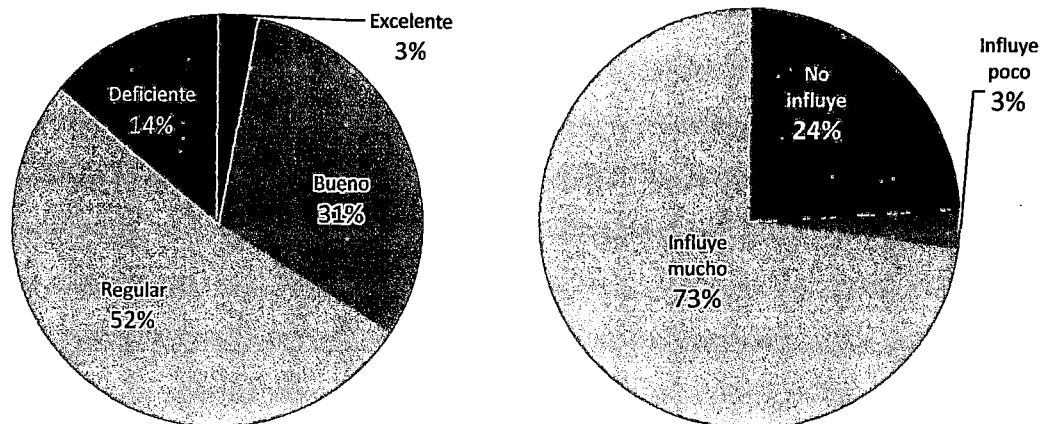


Figura N° 1.1.: (Izquierda) Influencia del diseño en la productividad en la construcción, (derecha) grado de eficiencia del diseño en los proyectos. Fuente: Vásquez, 2006.

Asimismo el Ing. Vladimir Alcántara Rojas en su tesis para optar el grado de Ingeniero Civil (Alcántara 3) realizó un estudio de clasificación de las deficiencias encontradas en los documentos de diseño/ingeniería durante la construcción de cinco proyectos de edificaciones en la ciudad de Lima. A través de 1406 Solicitudes de Información (RFI) se obtuvieron resultados como se indica en la figura N° 1.2, donde se aprecia que el mayor porcentaje de consultas emitidas (RFI) hacia el cliente o la gerencia están relacionados a las deficiencias en los documentos de diseño/ingeniería.

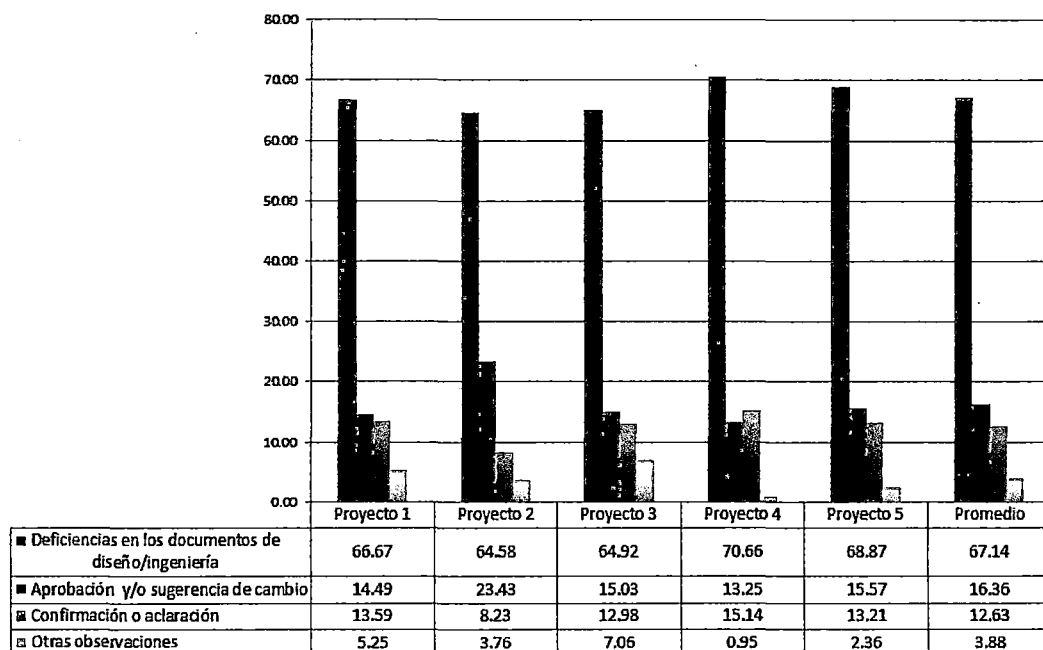


Figura N° 1.2.: Clasificación de Solicitudes de Información (RFI) por proyecto y por tipo de consulta. (Alcántara, 2013)

Situación del sector Construcción en el Perú

Es más importante aún el tratamiento de esta problemática ya que en las 2 últimas décadas, desde 1994, la industria de la construcción en el Perú ha ido tomando poco a poco un mayor protagonismo en el valor de la actividad económica del país (producción de bienes y servicios) que es medido por el Producto Bruto Interno (PBI), ver figura N° 1.3. Logrando representar la actividad económica de la Construcción en el 2013, el 6.9% del PBI después de otras actividades económicas como Manufactura (15.1%), Extracción de petróleo y minerales (12.1%) y Comercio (11 %).

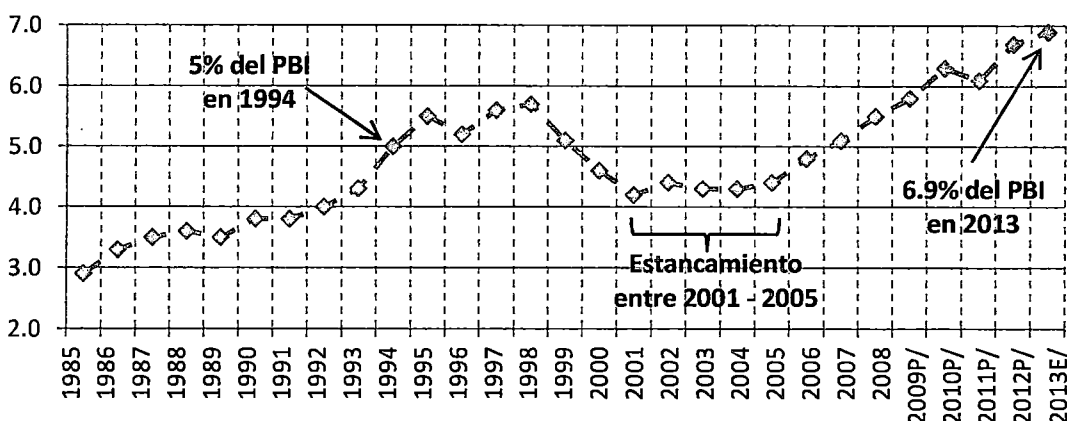


Figura N° 1.3.: Porcentaje que representa la actividad económica de la Construcción respecto al Producto Bruto Interno (PBI) en el Perú desde 1985 hasta el 2013. Fuente: INEI.

Según el informe “Perú: Proyecciones Macroeconómicas 2013” publicado en noviembre del 2012 por Scotiabank, el PBI sectorial (Construcción) tuvo una variación porcentual positiva de solo 3% en el año 2011, pero llegó a 13.8% en el año 2012 y se proyectó un crecimiento de 8.3% para el año 2013 (ver cuadro N° 1.3).

Cuadro N° 1.3.: Variaciones porcentuales del PBI que representa el sector Construcción en los últimos años. Fuente: INEI, BCRP y Scotiabank. (E: estimado, P: proyectado)

PBI Construcción (variación % anual)	2010	2011	2012	2013	2014
INEI	17.8 (P)	3.6 (P)	15.8 (P)	9.1 (E)	-
BCRP	17.8	3.6	15.8	8.9	5.3 (I trimestre)
Scotiabank	17.5 (E)	3.0 (E)	13.8 (P)	8.3 (P)	6.8 (P)

Este informe señala al sector de la construcción como uno de los sectores más dinámicos de la economía para el 2013 (tal como lo viene haciendo desde la última década) junto con los sectores agropecuario, minería e hidrocarburos.

Y plantea que estos sectores seguirán liderando el crecimiento económico del país ya que el motor principal es la demanda interna, en particular, la inversión privada.

Teniendo entonces a la inversión privada como el motor principal del crecimiento en los sectores (en especial interés el de Construcción); el informe indica que uno de los factores que tiene una incidencia positiva sobre la inversión privada (aparte del bajo costo del dinero) es el incremento de la Inversión Extranjera Directa (IED) que registró un record en el primer semestre del 2012 superando en 31% al mismo periodo del 2011, por lo cual se afirma que es evidente el interés de las empresas extranjeras en invertir en el Perú. Por lo tanto la situación actual de demanda interna fuerte, un costo del dinero bajo, y posiciones de caja robusta de las empresas, es una combinación potente a favor de la inversión en la construcción dentro del país.

Situación actual del mercado para GyM

En una charla de conocimiento sobre la aplicación de Diseño y Construcción Virtual (VDC) para la empresa contratista GyM dada en noviembre del 2012, el jefe de ingeniería mencionó los siguientes puntos clave de la situación del mercado que estaba aconteciendo:

- Se han incrementado notablemente nuestras ventas.
- Los proyectos ahora son mucho más agresivos en plazos.
- Existe una competitividad muy alta.
- Los proyectos son cada vez más complejos.
- Los proyectos vienen con ingenierías no revisadas.
- Cada vez tenemos profesionales con menos experiencia para afrontar los proyectos.
- Tenemos una oportunidad que estamos aprovechando con nuestra inmobiliaria.

Al final agregó: "Por tales motivos se está en busca de nuevas metodologías o técnicas que nos ayuden a enfrentar estos nuevos retos con el soporte de nuestras experiencias previas en BIM".

1.1.2 Justificación del estudio

Este estudio representa el uso del concepto de Diseño y Construcción Virtual como una iniciativa en el empleo de nuevas metodologías o técnicas de gestión de ingeniería y coordinación de un proyecto, para:

- a) Evaluar sus usos
- b) Conocer sus beneficios
- c) Conocer su comportamiento al aplicarlas en nuestra realidad.

Asimismo busca contribuir en la resolución de los problemas de ingeniería en la fase de construcción (descritas en el acápite N° 1.1.1) de una manera más eficiente, integrada y usando las herramientas del VDC.

Es necesario contar con más experiencias en estos nuevos temas por lo que el presente estudio busca ser una referencia para futuras investigaciones o mejoras en implementaciones de VDC en nuestra realidad.

1.1.3 Objetivos del estudio

Los objetivos del estudio surgen a raíz del tratamiento del problema descrito en el acápite N° 1.1.1 y de evaluar el uso de la metodología VDC para resolverlo. Se enfocó en un objetivo principal y en dos objetivos específicos.

Objetivo Principal:

Contribuir a *superar los problemas de ingeniería* que enfrenta el contratista en la fase de construcción del proyecto con el uso de la iniciativa de Diseño y Construcción Virtual (VDC) y medir el desempeño a través de indicadores (métricas) principales.

Objetivos Específicos:

- 1) Evaluar los métodos que se van a utilizar en el proyecto como el uso de las reuniones ICE, el uso del modelo BIM y el uso de la metodología VDC para reducir significativamente los RFI totales.

- 2) Levantar información de variables relativas a las RFI (métrica más importante en la resolución de los problemas de ingeniería) y cuantificar las principales métricas para medir la eficiencia del VDC en cada una de las etapas del POP (Producto-Proceso-Organización).

1.1.4 Experiencias en investigación y aplicaciones de VDC

a) CIFE (Center for Integrated Facility Engineering)

El CIFE es un centro interdisciplinario de la Universidad de Stanford que contribuye al desarrollo de la educación en la institución y en el país, a través de programas de formación, proyectos de investigación, asesorías especializadas y participación en el diseño, generación y evaluación de políticas públicas y sistemas de gestión en educación; para ello promueve procesos disciplinarios e interdisciplinarios en educación basados en investigación y caracterizados por ser participativos, reflexivos y críticos. En ese sentido, es un centro que lidera la investigación en la metodología de Diseño y Construcción Virtual (VDC), en conjunto con sus miembros de la industria AEC, y que tiene como misión desarrollar y probar metodologías y procesos de trabajo para implementar tecnologías avanzadas de información, además de aumentar el conocimiento de la industria y de los estudiantes.

Tal es el ejemplo de Martin Fischer, profesor de Ingeniería Civil, Ambiental y Ciencias de la Computación en Stanford y director del Center for Integrated Facility Engineering (CIFE), quien ha realizado investigaciones y papers para la difusión del conocimiento de estas metodologías. Como estudio del caso el realizó un análisis de cálculo de métricas en su programa de verano CIFE en junio del 2012 donde contó con el apoyo de la empresa SERA⁽¹⁾ quien le proporcionó una data de 20 proyectos realizados (entre pasados y presentes) para que sean analizados en 3 categorías con las siguientes características:

- TIPO A – Dibujos en 2 dimensiones, poca colaboración.
- TIPO B – Edificación diseñada con BIM, colaboración regular.

¹ Arquitectos SERA fue la empresa encargada de hacer la modernización y el mejoramiento del "Edith Green – Wendell Wyatt, Edificio Federal (EEUU)" en el 2009, aumentando su eficiencia con el uso de Diseño & Construcción Virtual y diseñado para lograr un Platinum LEED.

- TIPO C – Todas las partes usaron BIM, alto nivel de colaboración, regular entorno de trabajo de las instalaciones (sala de reuniones).

Todos los proyectos se normalizaron a pies cuadrados para permitir la comparación entre proyectos de diferentes tamaños y complejidades, obteniéndose los siguientes resultados de las figuras N° 1.4, N° 1.5, N° 1.6, N° 1.7 y N° 1.8:

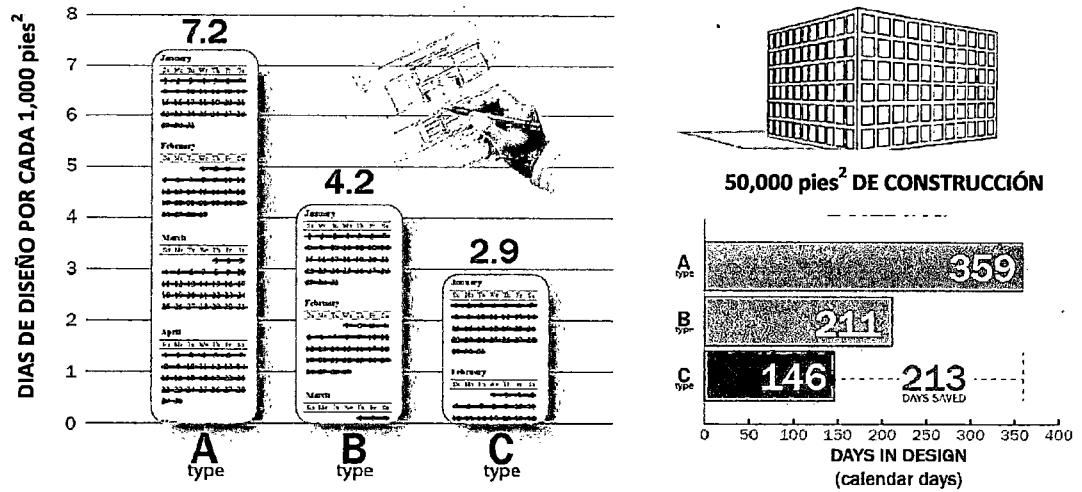


Figura N° 1.4.: Reducción en el tiempo del diseño. Fuente: Introduction to Virtual Desing and Construction, Martin Fischer (2012).

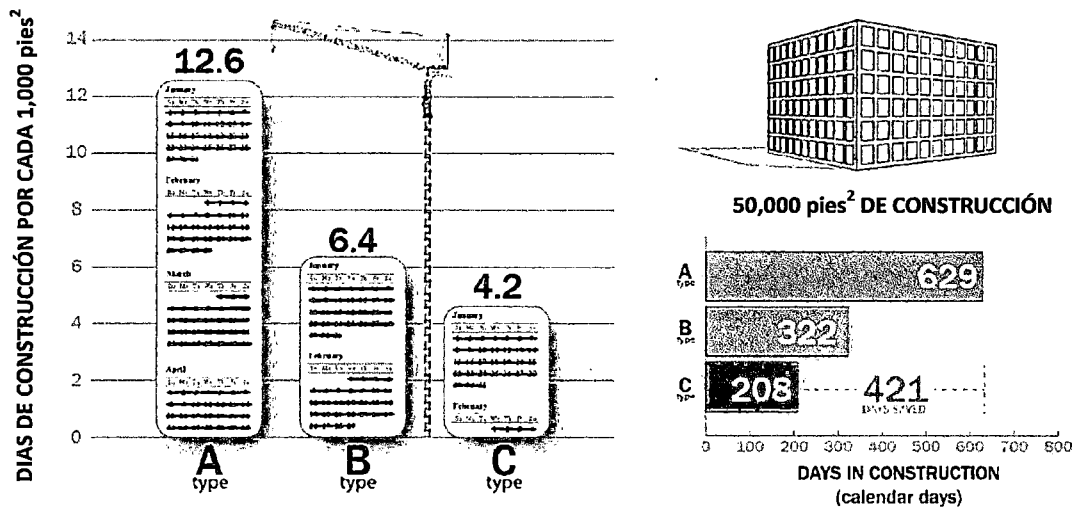


Figura N° 1.5.: Reducción en el tiempo de construcción. Fuente: Introduction to Virtual Desing and Construction, Martin Fischer (2012).

Los ratios de días de diseño y días de construcción de los proyectos de TIPO C fueron mejores que los de TIPO A y TIPO B. Se ahorraron 213,000 días en el diseño y 421,000 días en la construcción

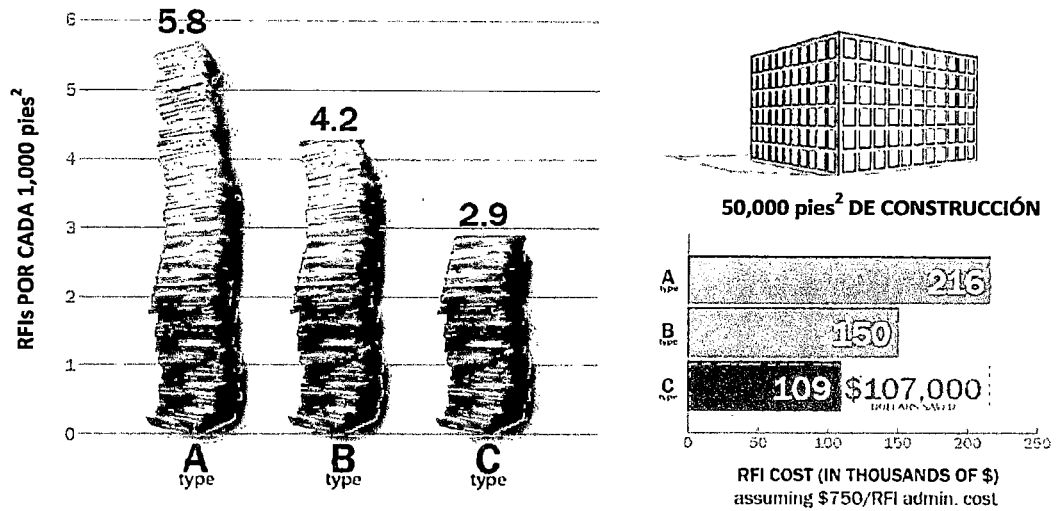


Figura N° 1.6.: Reducción en RFIs o Solicitudes de Información (SI). Fuente: Introduction to Virtual Desing and Construction, Martin Fischer (2012).

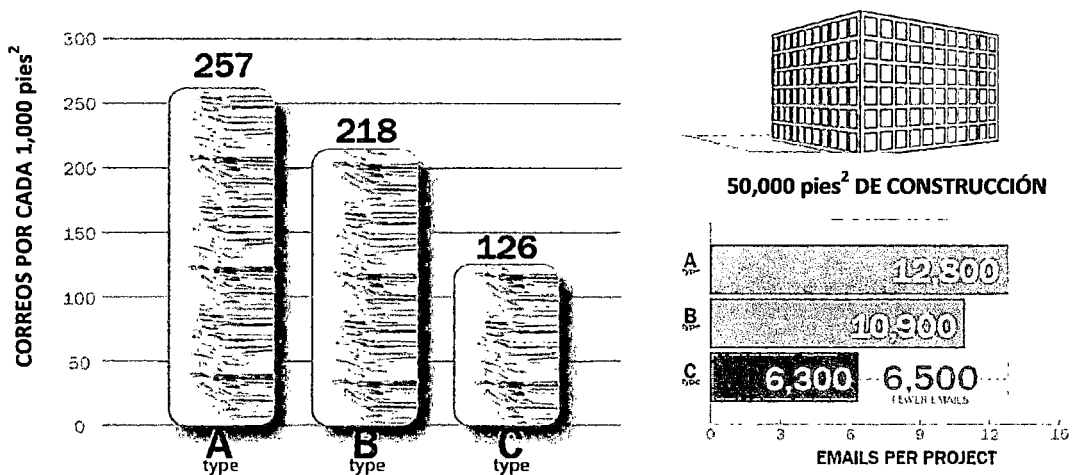


Figura N° 1.7.: Reducción en correos (Email). Fuente: Introduction to Virtual Desing and Construction, Martin Fischer (2012).

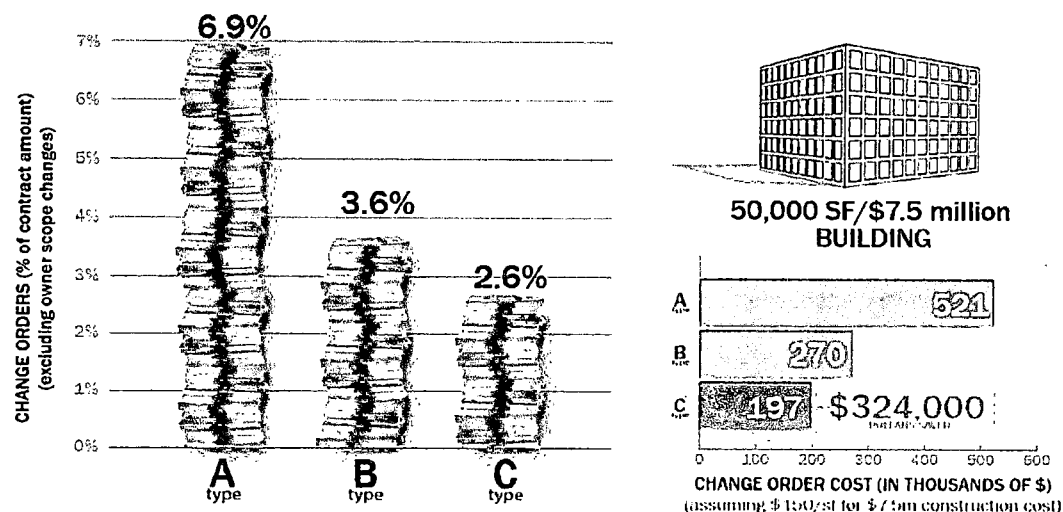


Figura N° 1.8.: Reducción en órdenes de cambio. Fuente: Introduction to Virtual Design and Construction, Martin Fischer (2012).

b) DPR Construction's (Proyecto "Sutter Medical Center", California)

DPR Construction's es una empresa norteamericana fundada en 1990 por Doug Woods, Peter Nosler y Ron Davidowski (D, P y R), que actualmente plantea proporcionar valores más medibles como principio rector en el uso de tecnología para mejorar la entrega del proyecto. Como un líder de larga data en Diseño y Construcción Virtual (VDC) y modelado de información de edificios (BIM), esta constructora afirma que la tecnología por sí sola no puede ofrecer el nivel de resultados que todos esperamos. Los miembros del equipo deben saberla utilizar con habilidad y mejorar la aplicación de las tecnologías más importantes para ayudar a lograr un mejor valor y ahorros, con la creación de soluciones prácticas e innovadoras.

La experiencia les ha demostrado que una combinación de la tecnología y la ideología de colaboración producen los mayores rendimientos. Esta experiencia y buenas prácticas de metodologías de trabajo modernas les ha permitido estar entre las 100 mejores empresas norteamericanas en la encuesta anual de FORTUNE realizado por el Great Place to Work Institute, ocupando los puestos # 22 en el año 2011, # 13 en el año 2012 y # 15 en el año 2013.

Y es indiscutiblemente, el proyecto "Sutter Medical Center", el inicio de DPR para el uso de nuevas plataformas de trabajos y acuerdos de colaboración con los involucrados de un proyecto. Se trata de una inversión de 320 millones de

dólares para la construcción y remodelación del "Sutter Medical Center" (ver figuras N° 1.9, N° 1.10 y N° 1.11), debido a una legislación impuesta por el estado de California (mandato SB 1953) en el cual exige a los propietarios de los hospitales y centros médicos evaluar rigurosamente sus edificios para la resistencia sísmica. La realización del proyecto se tornó compleja ya que se debía ejecutar la construcción sin detener la operación del centro médico y las gestiones tradicionales de la oficina de planificación y desarrollo del estado alargaban demasiado los plazos de entrega.

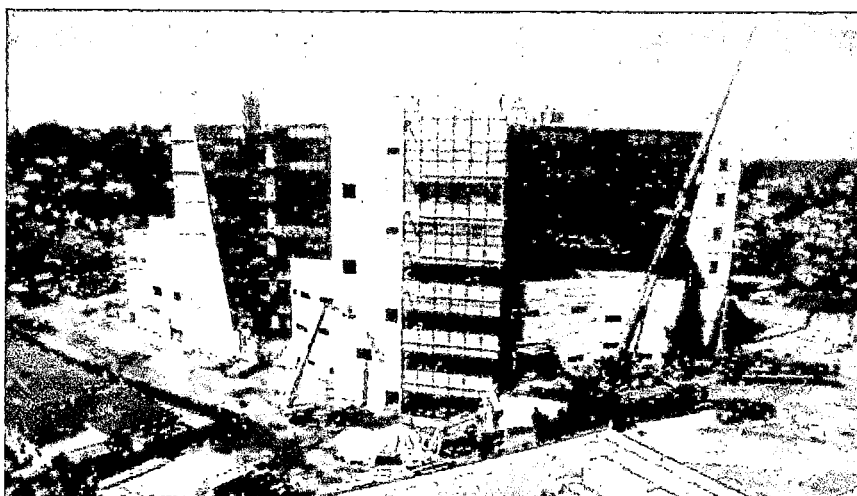


Figura N° 1.9.: Fotografía del Sutter Medical Center en California

Como solución a los problemas se realizaron condiciones comerciales en el proyecto establecidos en un "Integrated Form of Agreement" (IFOA), un documento de acuerdos integrados que contiene a un tipo de "Integrated Project Delivery" (IPD) que es definido por el Instituto Lean Construction (LCI 2011) como un sistema de administración que busca alinear intereses, objetivos y prácticas, incluso en una sola empresa, a través de un enfoque basado en el equipo. De esa manera se creó un equipo central para la gestión del proyecto con representantes de: (1) Sutter Health (propietario), (2) Eden Medical Center (afiliado a Sutter Health, propietario), (3) DPR Construction's (el contratista principal), (4) Capital Engineering (mecánica y el diseño de tuberías), (5) Devenney Group (diseño arquitectónico), y (6) J.W. McClenahan (contratista especializado en instalaciones). Creándose una organización capaz de aplicar los principios y las prácticas del sistema de entrega de proyectos Lean.

Digby Christian, Gerente del proyecto "Sutter Medical Center", explicó el funcionamiento del equipo de la siguiente manera: "El grupo central se reúne cada dos semanas para asegurar que el proyecto gestione todos los riesgos de la manera más óptima posible. Todas las decisiones deben ser tomadas por unanimidad, y durante los dos años que nos hemos estado reuniendo, hemos cumplido con ese requisito. Un grupo mucho más amplio que comprende todos los diseñadores, constructores y consultores especializados se reúne por lo menos cada dos semanas para resolver todas las cuestiones estratégicas que afectan a la totalidad del proyecto " (2010).

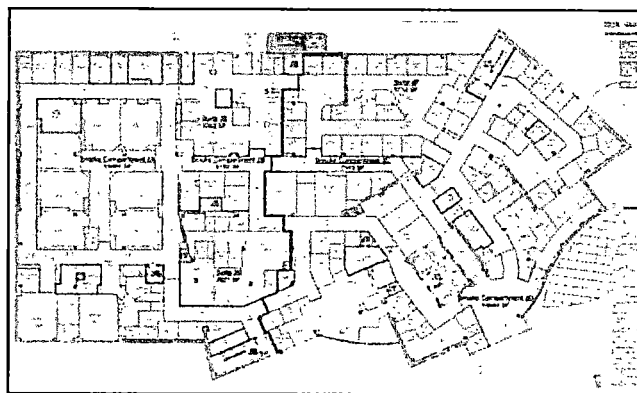


Figura N° 1.10.: Corte del modelo con información simplificada en colores

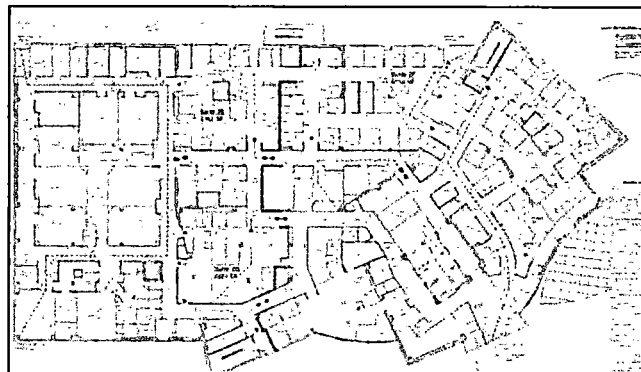


Figura N° 1.11.: Corte del modelo – versión final

El equipo central utilizó BIM para satisfacer dos objetivos estratégicos: (1) el diseño para la fabricación y (2) el desarrollo de un modelo de trabajo integrado en 3D. El proyecto tenía a todos los involucrados de la etapa de construcción participando en el proceso de diseño inicial y en la fase de dibujo, juntos en un mismo taller de trabajo. Esto permitió al equipo "construir el modelo" de manera virtual. El proyecto contó con un trabajo de diseño del edificio en 3D, permitiendo

a cada uno de los subcontratistas utilizar su propio software de modelado de preferencia y luego seguir un proceso para integrar las diversas representaciones.

Entonces se puede determinar que este proyecto representó para DPR un inicio con el uso de algunas formas básicas de trabajo que propone la metodología de Diseño y Construcción Virtual (VDC) y cuyos resultados fueron los siguientes:

- I. La colaboración en el proceso de diseño y modelado permitió la capacidad de construir directamente desde el modelo y produjo un ahorro de costos y de tiempo por el incremento del grado de prefabricación de los componentes. El Diseño se completó en menos tiempo que los proyectos tradicionales y su calidad fue mucho mayor.
- II. Las métricas cuantitativas para evaluar el sistema de trabajo fueron difíciles de identificar. Las métricas que el equipo consideró que representan el rendimiento del sistema de trabajo son los plazos de entrega de permisos, el número de observaciones y el número de comprobaciones posteriores.
- III. El tiempo de espera desde el principio de la revisión estructural hasta el inicio de la construcción del proyecto fue de 11,5 meses. Esto es considerablemente más corto que el tiempo incurrido anteriormente en proyectos similares (18 meses a más). La fiabilidad de la obra fue demostrado por un cumplimiento del 100% de los plazos establecidos en el plan de revisión del proyecto.
- IV. Se disminuyeron las observaciones en cada ciclo de revisión; ningún problema iba más allá de un tercer ciclo. Durante el segundo ciclo muchas observaciones se resolvieron sobre la mesa porque para entonces, ya habían sido abordados.

c) PAUL SCHRAMA – IMPLEMENTACIÓN DE VDC EN LA FASE DE DISEÑO

En Junio del 2011 Paul Schrama desarrolló la tesis de graduación “EVALUACIÓN Y MEJORA DE LA IMPLEMENTACIÓN VDC EN LA FASE DE DISEÑO DE LOS PROYECTOS AEC” para la maestría de Arquitectura, Urbanismo y Ciencias de la Construcción en la Universidad Tecnológica de Delft (Rotterdam - Holanda). Donde remarcó que los problemas de bajos rendimientos en la industria AEC (Arquitectura – Ingeniería – Construcción) son causados por la fragmentación de la industria en múltiples disciplinas, y es así que todas las iniciativas a lo largo de la industria están enfocadas a mejorar el rendimiento del proceso de diseño AEC.

Para la investigación Paul Schrama realizó dos casos de estudio (Ver figura N° 1.12) con el apoyo de una empresa holandesa consultora de ingeniería que estaba llevando a cabo el VDC. El primer caso fue el proyecto piloto “Garage Parking Amersfoort” en el que se aplicó VDC para resolver el problema de estacionamientos en áreas reducidas y cuya construcción debía realizarse antes de Junio del 2011; este estudio de caso se utilizó para identificar la aplicación actual de VDC durante un proyecto piloto. El otro caso de estudio fue el proyecto “NSP Breda” para el nuevo terminal de transporte público de Breda, este era un proyecto grande y real donde no se aplicó VDC, el cual proporcionó información sobre las características del proyecto y los desafíos que se encuentran en curso.



Figure 1.12: Imagen izquierda, proyecto NSP Breda. Imagen derecha, proyecto Garage Parking Amersfoort

El primer caso de estudio (VDC) se centró específicamente en el proceso de diseño preliminar del proyecto porque este fue el periodo durante el cual se utilizó más el enfoque VDC, entre finales de agosto de 2009 y diciembre de 2009 se realizaron 5 reuniones ICE aplicándose todos los elementos VDC. Sin embargo el segundo caso de estudio (non-VDC) se centró en la fase de diseño final del proyecto en el tiempo comprendido entre noviembre del 2006 y marzo del 2007, debido a que en este periodo la información disponible del proyecto fue más rica y completa; y en ambos proyectos la duración del enfoque es el mismo.

Los datos de estos casos de estudio se recogieron por medio de entrevistas semi-estructuradas con actores de diferentes niveles de la organización del proyecto, y un análisis de cruces entre la teoría y los casos de estudio se realizó para identificar que influencia tendrían las características reales de los grandes proyectos AEC sobre una aplicación de VDC, así como el beneficio que podrían tener los desafíos de los grandes proyectos AEC con la aplicación VDC.

Los cuadros N° 1.4, N° 1.5 y N° 1.6 muestran los resultados obtenidos por Paul Schrama del análisis entre la teoría VDC y los casos de estudio VDC y non-VDC.

Cuadro N° 1.4: Principales resultados del análisis con respecto a las métricas de POP

VDC	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sólo se aplicaron las métricas de productos; las métricas de organización y proceso fueron difíciles de definir. 2. Objetivos medibles del producto, valores objetivo, valores de umbral y factores de ponderación fueron aplicados. 3. No se utilizaron diferentes niveles de detalle. 4. Las métricas de producto fueron afirmadas que son útiles para apoyar la comunicación con el cliente. 5. Las métricas de producto fueron afirmadas que son útiles para la toma de decisiones del diseño.
non-VDC	<ol style="list-style-type: none"> 1. Las métricas requieren objetivos cuantificables, los objetivos en la arquitectura y estética son difíciles de cuantificar. 2. Se esperaba la posible reticencia de los actores porque las métricas solo se limitan a la medición cuantitativa. 3. Las métricas de productos y PoR fueron mutuamente interdependientes, las métricas de productos pudieron apoyar la definición de requisitos.

Cuadro N° 1.5: Principales resultados de los análisis con respecto a las visualizaciones de productos

VDC	<p>1. Se aplicó combinación de visualizaciones 2D y 3D. Visualizaciones multidimensionales se reivindica que son útiles para la interacción con el cliente y los agentes externos. Visualizaciones digitales que ofrece interactividad fueron reclamadas para aumentar la compenetración en el diseño durante las reuniones del equipo de diseño.</p> <p>2. La interoperabilidad entre las visualizaciones de productos era limitada; los intercambios de datos digitales de dibujo se realizaron manualmente.</p> <p>3. Muchos modelos se extrajeron a partir del modelo principal, que fueron afirmados ser muy útiles para comprobar las estimaciones de costos y determinación de la sostenibilidad de los diseños.</p>
non-VDC	<p>1. Se aplicaron combinación de visualizaciones en 2D y 3D; principalmente los dibujos en 2D.</p> <p>2. Los Arquitectos mostraron oposición sobre el uso de visualizaciones 3D, debido a las limitaciones. Las visualizaciones Multi-dimensionales se comprobaron que son útiles para la interacción con el cliente.</p> <p>3. Las observaciones indican la posible mejora de las reuniones de trabajo; sin embargo los actores no se refieren a las reuniones de trabajo actuales como ineficientes o ineficaces.</p> <p>4. La interoperabilidad entre las visualizaciones de productos era limitada; los intercambios de datos digitales de dibujo se realizaron manualmente. EL modelado 3D requirió acuerdos, así como el conocimiento y la experiencia.</p>

Cuadro 1.6: Principales resultados del análisis con respecto a las reuniones del ICE y la interacción del equipo de diseño

VDC	<ol style="list-style-type: none"> 1. La actividad real de diseño durante las reuniones en el iRoom era limitada. 2. Las herramientas del iRoom apoyaron el uso de las visualizaciones y aumentaron la comprensión y el entendimiento. 3. Preparación de reuniones en un iRoom es un factor importante para el éxito; se requiere la introducción de actores con herramientas iRoom. 4. El proyecto se llevó a cabo en una jerarquía plana de la organización sin la participación de los líderes del proyecto; el equipo de diseño tenía suficiente autoridad en la toma de decisiones. Un facilitador VDC guio el proceso de diseño VDC y logró los componentes VDC. 5. Se utilizaron tiempos limpios de VDC, que contenía visualizaciones explícitas y una lista de tareas de diseños claros.
non-VDC	<ol style="list-style-type: none"> 1. Actualmente, la co-localización no se utiliza y el conocimiento y la experiencia son limitadas. Herramientas iRoom podrían ofrecer reuniones más concisas y podrían aumentar la eficiencia de las reuniones. 2. Se espera que la actividad de diseño Co-localizado sea limitada como resultado de cuestiones prácticas como la distancia de viaje y la práctica diaria. 3. La organización del proyecto se caracteriza por una estructura jerárquica con múltiples niveles de gestión. 4. La presencia de múltiples niveles de gestión se contradice con los principios VDC.

En esta investigación Paul Schrama desarrolló varios diagramas explicativos sobre su análisis de cruce teoría-casos; así como del enfoque de los elementos VDC aplicados y las posibilidades a corto, mediano y largo plazo de la implementación de los elementos VDC en proyectos grandes de la industria AEC.

Finalmente entre sus conclusiones principales indicó, que la ejecución de VDC en grandes proyectos de la industria AEC se espera que requiera una cantidad significativa de esfuerzo, debido a la gran diferencia entre VDC y el enfoque de diseño tradicional. Por otra parte, el valor añadido de la aplicación VDC es aún desconocido. Y con el fin de disminuir la brecha y para definir el valor añadido, se recomienda utilizar los proyectos piloto ya que ofrecen interacción entre la teoría y la práctica. Entonces como tal, los proyectos piloto son importantes para el desarrollo de la teoría VDC así como para la mejora de la ejecución VDC en la práctica. La aplicación de VDC en grandes proyectos AEC debe ser considerada como un proceso gradual que consta de pequeños pasos.

1.1.5 Creación del comité BIM del Perú

El Comité BIM del Perú pertenece al Instituto de la Construcción y el Desarrollo (ICD), organismo de la Cámara Peruana de la Construcción CAPECO y fue creado el 6 de Septiembre del 2012 para impulsar las buenas prácticas en el modelamiento de proyectos BIM, lograr una estandarización en el uso y aplicación del sistema BIM a nivel nacional, difundir los avances en el uso de herramientas, experiencias y resultados de la aplicación del BIM, promover las capacitaciones de herramientas BIM en los distintos especialistas y participar en la generación de un mercado con mayor nivel técnico, para beneficio de todos los involucrados.

Este comité está conformado por profesionales con experiencia en la aplicación de BIM, tanto independientes como de las diferentes empresas de la industria de la construcción, todos ellos involucrados en las distintas etapas de la vida de un proyecto.

El comité BIM tiene las siguientes líneas de acción:

1. Difundir el uso de tecnologías modernas en la construcción a través del trabajo BIM.
2. Fortalecer a las empresas peruanas involucradas en un proyecto de construcción, con el uso adecuado y estandarizado de BIM.
3. Implementar metodologías que permitan el uso de BIM, desde la concepción de un proyecto hasta el mantenimiento y operación del mismo.
4. Desarrollar estándares BIM que se adecuen a las necesidades de las empresas del medio en el ámbito nacional.
5. Propiciar la generación de fuentes de trabajo para las empresas y los trabajadores del sector, promoviendo la capacitación en la nueva concepción de modelado.
6. Evaluar la calidad de los estándares BIM en los proyectos de construcción y contrastarlos con los internacionales, con la finalidad de proponer mejoras que aceleren el proceso de integración del uso del BIM en el Perú.

7. Fomentar las buenas prácticas BIM, para que las empresas involucradas en los proyectos de construcción aprovechen el modelo en todas sus etapas.
8. Promover en las instituciones educativas de nivel técnico y universitario la inclusión de cursos BIM en las mallas curriculares de las carreras vinculadas al Sector Construcción, con la finalidad de crear una nueva generación de profesionales familiarizados con la aplicación de estándares BIM.
9. Promover un contenido de capacitación básico para todos los involucrados en los proyectos de construcción, certificando las instituciones que utilicen el contenido sugerido.
10. Trabajar un acercamiento al Estado, para promover y normalizar el uso adecuado de BIM en los diferentes proyectos de mismo.

Por otro lado, el comité ha logrado el apoyo de diferentes empresas de la industria de la construcción que constantemente participan de manera activa en las iniciativas de éste, y envía representantes para formar parte del Consejo.

Algunas de las Empresas Participantes en la actualidad son:

- Graña y Montero
- Cosapi
- Constructora Aesa
- Animedia
- DCV Consultores
- DHG Arquitectos
- IDandBIM
- Arcadia
- Proyecta
- René Lagos Ingenieros
- Marcan

Asimismo como parte de sus estrategias para alcanzar los objetivos trazados, el comité BIM ha desarrollado alianzas con diferentes entidades tales como:

- Portal de Ingeniería (PI) <http://www.portaldeingenieria.com>
- CIFE - Stanford University (USA) <http://cife.stanford.edu/>
- COSTOS - Construcción, Arquitectura e Ingeniería www.costosperu.com
- Autodesk - www.autodesk.com
- Construsoft (Tekla) - www.tekla.com
- Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) - www.uni.edu.pe

Y es así como la creación del comité BIM representa en el Perú un impulso para el cambio de la forma de trabajo en la industria de la construcción, y cuya promoción del uso de BIM ha impactado en diferentes instituciones y empresas tales como la creación del primer laboratorio de diseño y construcción virtual (Lab. DCV) de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, la instalación del comité BIM del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; y la implementación del área BIM en algunas empresas constructoras.

1.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN VIRTUAL (VDC)

Diseño y Construcción Virtual (VDC²) es el uso integrado de modelos de rendimiento multidisciplinarios en proyectos de diseño y construcción para apoyar los objetivos de negocio explícitos y públicos (Kunz y Fischer, 2012).

Esta metodología nace en el 2001 por investigaciones financiadas en el CIFE³ (Center for Integrated Facility Engineering) de la Universidad de Stanford (EEUU), en respuesta a la fragmentación, la complejidad y la falta de flexibilidad en el proceso de diseño y construcción de la industria AEC.

Los modelos VDC son virtuales porque muestran descripciones del proyecto basadas en un computador. El tipo de proyecto VDC enfatiza los aspectos del proyecto que pueden ser diseñados y gestionados, es decir, el producto (normalmente un edificio o planta), la organización que va a definir, diseñar, construir y operar, y el proceso que los equipos de organización seguirán. Estos modelos se integran lógicamente en el sentido de que todos pueden acceder a los datos compartidos, y si un usuario modifica o cambia un aspecto de uno, los modelos integrados pueden modificar o cambiar los aspectos que dependen de los modelos relacionados. Los modelos son multi-disciplinario en el sentido de que representan al Arquitecto, Ingeniero, el Contratista (AEC) y propietario del proyecto, así como a las sub-disciplinas pertinentes. Los modelos son modelos de rendimiento en el sentido de que predicen algunos aspectos del desempeño del proyecto, el seguimiento de muchos que son relevantes, y puede predecir y medir el rendimiento en relación con los objetivos de desempeño del proyecto establecido (Kunz y Fischer, 2012).

Otras definiciones de Diseño y Construcción Virtual (VDC):

- Dr. Claudio Mourgues: El uso de modelos de productos, procesos y organizaciones para ciertos objetivos de negocios claros y explícitos; como reducir perdidas, reducir materiales, reducir tiempos, incrementar el valor al cliente, mejoramiento continuo, etc.

² VDC por sus siglas en ingles de Virtual Design and Construcción

³ Ver acápite 1.1.4.

- **DPR Construction (EEUU):** El uso integrado de modelos multidisciplinarios que permitan medir el desempeño del diseño y construcción de proyectos, incluyendo modelos de:
 - Productos
 - Organizaciones
 - Procesos de trabajoPara lograr los objetivos de negocio.

1.2.1 Propósito de Diseño y Construcción Virtual (VDC)

El propósito de VDC es definir y alinear las metas de un proyecto así como contribuir a la reducción de recursos innecesarios (tiempo, capacidad, inventarios) a lo largo de las etapas de definición, diseño e ingeniería, fabricación y/o construcción, instalación y entrega final, y así contribuir a la reducción de costos y tiempos sin comprometer estándares de calidad, niveles de prevención de riesgos y cuidado del medio ambiente. Las oportunidades que VDC ofrece son estratégicas, incrementando la ventaja competitiva y convirtiéndose en un canal de transformación de procesos y organizaciones.

El objetivo de VDC es el uso de los modelos virtuales de producto, organización y proceso para simular la complejidad de la ejecución de los proyectos de construcción, para comprender los probables obstáculos que el equipo del proyecto va a encontrar, para analizar los riesgos y abordarlas en un mundo virtual antes que cualquiera de los trabajos de construcción del mundo real. (Atul Khanzode, Martin Fischer, Dean Reed, & Glenn Ballard, 2006)

Y como estructura para lograr los objetivos de esta metodología (Ver figura N° 1.13), VDC presenta cuatro pilares fundamentales señalados a continuación:

- 1) Gestionar la evolución del producto final a través del Modelado de la Información de la Edificación (BIM).
- 2) Gestionar procesos y producción.
- 3) Gestionar la organización del proyecto y la interacción de trabajo colaborativo entre equipos multidisciplinarios con la ayuda de la metodología ICE.
- 4) Gestionar la ejecución del proyecto por objetivos a través del uso continuo de indicadores de rendimiento (métricas).

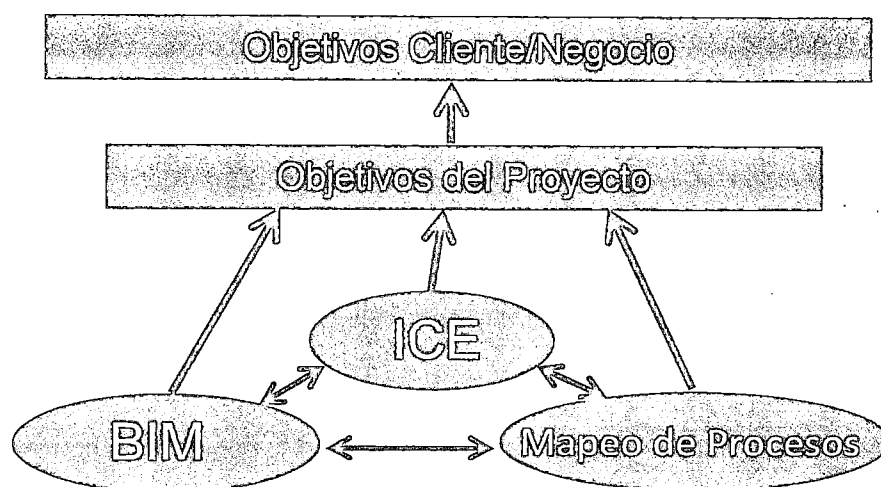


Figura 1.13.: Esquema del enfoque VDC para gestionar Productos (BIM), Procesos y Organización de manera integrada con ICE y lograr los objetivos del Proyecto, Cliente o Negocio.

1.2.2 Los modelos VDC representan el Producto, la Organización y el Proceso (modelo POP)

El enfoque VDC establece el objetivo general de crear modelos explícitos de aquellos aspectos de un proyecto que un administrador puede gestionar. Un gerente de proyecto puede controlar tres tipos de cosas: el diseño del *producto* a ser construido, el diseño de la *organización* que hace el diseño y la construcción, y el diseño del *proceso* de diseño-construcción que la organización sigue. Se llama a este modelo de proyecto el modelo de Producto-Organización-Proceso, o el modelo POP.

El propósito común de usar el modelo de POP es definir los elementos conceptuales que se comparten y ayudan a las partes interesadas del proyecto para asegurar que las especificaciones del producto, organización y procesos sean adecuadas y coherentes entre sí. Por ejemplo, el modelo de producto define los elementos físicos que van a ser diseñados y construidos. El modelo de la organización define a los grupos que van a diseñar y construir cada elemento físico definido, y el modelo de proceso define las actividades e hitos que las partes interesadas del proyecto siguen para hacer su trabajo (Kunz y Fischer, 2012).

El modelo de producto, es la parte más importante del modelo POP, este debe representar todos los componentes y sistemas de la edificación. Entonces un modelo POP bien diseñado también incluye a la organización que va diseñar y construir los sistemas y componentes, así como las actividades para realizar el diseño y la construcción.

También Kunz y Fischer en su paper #097 desarrollado en el CIFE – Stanford indican que un buen desarrollo de la metodología VDC puede lograr que los modelos POP representen la función, forma o el alcance que se diseña, y el comportamiento del producto, proceso y organización del proyecto. En el cuadro N° 1.7 se observa que los modelos POP de la metodología VDC representan los requerimientos funcionales que se solicitan (Columna 2), las formas o el alcance diseñado, que el equipo del proyecto (Arquitectos, Ingenieros, Constructores, etc.) especifica, diseña y construye en respuesta a los requerimientos funcionales (columna 3), y los comportamientos reales, previstos y medidos que van a tener las formas diseñadas y los elementos más importantes del proyecto (Columna 4). Los elementos del proyecto incluyen el producto, por lo general las instalaciones (fila 2), la organización que diseña, construye y opera estas instalaciones (fila 3), y el proceso que la organización sigue para realizar los trabajos en el proyecto (fila 4).

Cuadro 1.7.: Matriz de relaciones: En un alto nivel de desarrollo VDC, los modelos POP representan la Función, Forma y Comportamiento. (Kunz y Fischer, CIFE)

	Función: Objetivos	Forma/Alcance: Opciones de diseño	Comportamiento: Predicciones
Producto	Espacios requeridos, elementos y sistemas	Diseño de los espacios requeridos, elementos y sistemas	Predicción de costos (\$)
	Objetivos a medir	Valores	Predicciones; Valores evaluados
Organización	Actores requeridos	Actores seleccionados	Predicción de costos (horas por \$)
	Objetivos a medir	Valores	Predicciones; Valores evaluados
Procesos	Tareas requeridas	Tareas diseñadas por el equipo	Predicción de costos (días por \$)
	Objetivos a medir	Valores	Predicciones; Valores evaluados

Kunz y Fischer remarcan tener en cuenta que “Modelado de la Información del Edificio” (BIM) representa la forma/alcance del producto, que es una parte muy importante, pero a su vez pequeña dentro de la perspectiva total y la información de un proyecto.

La tabla N° 1.1 muestra una serie de directrices sobre cómo crear individualmente las funciones, formas/alcances y comportamientos, y cómo se relacionan entre sí apropiadamente. Los analistas pueden predecir o medir los comportamientos en base a días, semanas, meses, hitos, etc., según corresponda. R: indica las relaciones entre los elementos POP, que normalmente se requieren para lograr un modelo POP consistente y obtener el modelo del proyecto, a pesar de que están implícitas en el propio modelo. Por ejemplo, la forma o el alcance individual del producto especifican los espacios, componentes y sistemas, que el equipo de diseño escogió individualmente y colectivamente para satisfacer los objetivos funcionales del producto. TCE2 es el tiempo total predicho, costos, esfuerzos o la energía usada en el ciclo de vida.

Tabla N° 1.1.: Directrices para la creación de Funciones, Alcances y Comportamientos de los modelos POP y como se relacionan entre si adecuadamente (Kunz y Fischer, CIFE)

Función	Producto	Organización	Proceso
		Propósito del Diseño	
	Capacidad funcional requerido y medible del proyecto que debe cumplirse de manera aceptable en cada hito importante del proyecto	Habilidades y responsabilidades previstas de los actores interesados en el proyecto	Fechas de hitos importantes, incluyendo la iniciación y la culminación.
		Cuantificar las oportunidades de participación en reuniones de los actores: alta participación de los interesados previsto > 90% de posibilidades de reuniones	propósito y nivel de detalle del modelamiento VDC Cronograma de actividades de cumplimiento: valores objetivo especificados y varianza, así como valores medidos y varianza
		Costo previsto para los tiempos de retraso del actor	Cumplimiento de las actividades del presupuesto: Objetivo y varianza
Alcance		Elecciones del diseño	
	Los espacios físicos, componentes y sistemas; entregables abstractos para alcanzar los objetivos funcionales del producto. *R: cada forma implementa una o más funciones de productos. *Cada alcance representa aproximadamente el 10% del proyecto TCE ² (Nivel-B) *R: cada elemento físico tiene un proceso de tareas (s)	Los actores para lograr los objetivos funcionales del Producto, Organización y Proceso. *R: diseñado del alcance para las funciones implementadas. *Cada actor tiene la responsabilidad de alrededor del 10% del proyecto TCE2 (Nivel B) <input type="checkbox"/> R: Asignación de actividades al actor.	Actividades para lograr los objetivos funcionales del Producto, Organización y Proceso. <input type="checkbox"/> R: diseñado del alcance o la forma para las funciones implementadas. <input type="checkbox"/> Cada actividad representa aproximadamente el 10% del proyecto TCE2 (Nivel-B)
Comportamiento		Propiedades: predicciones de análisis y desempeño observado	
	Medición de la calidad del producto diseñado o entregado evaluado por los actores responsables. *R: los comportamientos tienen objetivos cuantitativos indicados en los requerimientos funcionales	Predicción y medida por el autor. *R: los comportamientos tienen objetivos cuantitativos indicados en los requerimientos funcionales	Riesgos previstos, retraso en la programación medido. *R: los comportamientos tienen objetivos cuantitativos indicados en los requerimientos funcionales
		Predicción y medidas de retrasos por el autor.	
	Medición en la arquitectura, la construcción, energía, etc. Cumplimiento de la calidad	Predicción, gastos de organización medidos	Predicción, medida del cumplimiento de la programación.
		Predicción, medición directa y el volumen de trabajo no previsto.	Cumplimiento del costo del proceso medido
		Medición directa y el cumplimiento del volumen de trabajo no previsto.	
		Medición de la participación del actor en reuniones	

1.2.3 Componentes de VDC

Tal como lo indican Kunz and Fischer, 2012. La base teórica del VDC incluye varios componentes principales, que son citados a continuación:

- Métodos de modelado de ingeniería para representar el producto, la organización y el proceso.
- Métodos de análisis basados en modelos para predecir la programación del proyecto, el costo, el esfuerzo, el trabajo no previsto, la organización, los procesos, los riesgos en el cronograma, y las interferencias 3D y 4D.
- Métodos de visualización para presentar vistas del producto, la organización y el proceso de manera que sea claro para los profesionales y para todos los interesados.
- Métricas de negocio y métodos para la gestión de los procesos del proyecto utilizando medidas del rendimiento.
- Impacto económico, es decir, modelos cuantitativos de los costos y valor de las inversiones de capital, incluyendo el proyecto en su conjunto, elementos individuales de los proyectos, y las inversiones incrementales para cambiar el proceso.

Dos de estos cinco componentes VDC descritos anteriormente son las **visualizaciones POP** y las **métricas POP**. Ambas se utilizan en el proceso de la Ingeniería Concurrente Integrada (ICE) para desarrollar el Producto, la Organización y el Proceso (POP⁴). Estos componentes VDC se describen con más detalle a continuación.

Visualizaciones virtuales POP

El enfoque VDC se centra específicamente en las visualizaciones del Producto, la Organización y los Procesos. Las visualizaciones de los productos son representaciones visuales del diseño/construcción de la edificación que se desarrolla. La visualización de la organización muestra el equipo y los actores involucrados en el desarrollo del diseño/construcción del edificio. La visualización del proceso muestra el proceso de diseño/construcción seguido por el equipo

⁴ La metodología ICE está desarrollada en el acápite Nro. 1.4

para desarrollar el diseño/construcción del edificio. Las visualizaciones POP son virtuales, lo que significa que estas visualizaciones se basan en computadoras u ordenadores. Estas visualizaciones virtuales POP son más flexibles, visuales e interactivas en su uso que sus homólogos en papel (Kunz y Fischer, 2012). Por ejemplo, las visualizaciones basadas en computadora están hechas de componentes y capas, y estas podrían contener una combinación de todo tipo de datos que les permite tener un uso más flexible e interactivo. Además, las visualizaciones virtuales del producto se pueden girar, así como los componentes y capas se pueden activar y desactivar para mejorar el enfoque y la penetración en una parte específica del diseño/construcción. Kunz y Fischer (2012) describen que la pantalla visual hace que el contenido de una visualización POP sea más accesible que las descripciones en papel estáticas tradicionales. Las visualizaciones del Producto, Organización y Procesos se describen con más detalle a continuación.

a) Visualización del Producto

Las visualizaciones de los productos son una representación del diseño y la construcción del producto, es decir, del edificio (Kunz y Fischer, 2012). Estas visualizaciones contienen información de todos los elementos de la edificación, como paredes o pisos, y que dependiendo de la finalidad de la visualización y la fase de proyecto en la que se encuentra, puede tener diferentes niveles de detalle.

Ahora en lugar de dibujos 2D en papel, existen visualizaciones digitales de productos y modelos interactivos de CAD, que consisten preferiblemente de tres o más dimensiones. Kunz y Fischer (2012) afirman que los modelos multidimensionales (3D y 4D) son más comprensibles que los dibujos en 2D. Ellos explican que se supone que los modelos están relacionados entre sí, lo que significa que cambiar o resaltar partes del diseño en un modelo conducirá al cambio o el resaltado de los otros modelos relacionados de manera rápida e instantánea. Y también esperan que el uso de modelos interactivos multidimensionales e interrelacionados conduzcan a la disminución de tiempo de espera en las explicaciones y toma de decisiones, así como una cantidad decreciente del re-trabajo del diseño y construcción. Asimismo, se menciona que el aspecto visual de los modelos apoyan a los equipos multidisciplinario, debido

a que los miembros del equipo pueden tener la misma información visual y por lo tanto las barreras del idioma se superan.

b) Visualización de la Organización y el Proceso

Kunz et al (1998) describen que una organización es un "sistema de procesamiento de información y comunicación, estructurado para lograr un conjunto específico de tareas, y compuesto por equipos limitados que procesan la información".

Las visualizaciones de la organización son las representaciones visuales de la organización involucrada en el diseño y la construcción del edificio (Kunz y Fischer, 2012). Como tal, esta organización se compone de actores como el arquitecto, los ingenieros, los asesores, el contratista. Además, las partes interesadas y los que toman las decisiones, como el cliente, son parte de la visualización de la organización. La organización se visualiza mediante un organigrama, que muestra una red de los actores y los involucrados en el proceso del proyecto (Kunz et al, 1998).

Las visualizaciones de procesos representan los procesos de diseño y construcción que la organización sigue para desarrollar el edificio (Kunz y Fischer, 2012). El proceso consiste en tareas, actividades o acciones que deben llevarse a cabo por la organización. El proceso se visualiza en un diagrama de proceso (o diagrama de actividades), idealmente en forma de un diagrama de redes, que muestra las actividades o tareas de diseño y construcción, las interdependencias entre estas tareas y los plazos (Kunz et al, 1998).

Además el enfoque VDC conlleva a que estas visualizaciones de organización y visualizaciones de proceso realicen una sinergia para mejorar los rendimientos del proyecto. Kunz, Levitt y Jin (2012), describen un método llamado "**Equipo de Diseño Virtual**" (VDT) que se utiliza para visualizar y gestionar a la organización y el proceso. La idea detrás del método VDT es que las organizaciones y los procesos se gestionen mediante la creación y el análisis de visualizaciones y modelos computacionales de la organización y el proceso. Esto significa que la organización y el proceso se modelan y se diseñan de manera anticipada, y luego se lleva a cabo un análisis para determinar el rendimiento de esta organización y estos procesos. El método VDT combina el organigrama y el

diagrama de proceso en un modelo, mostrando múltiples tipos de relaciones entre ellas (Kunz et al, 1998).

Figura N° 1.14: El modelo VDT une el organigrama (elipses) y el diagrama de actividades (rectángulos) de un proyecto. En primer lugar, las relaciones entre los actores muestran las líneas de comunicación e información entre los actores (líneas rojas). En segundo lugar, las relaciones entre los actores y las tareas muestran la responsabilidad de los actores para tareas específicas (líneas verdes). Finalmente, las relaciones entre las tareas muestran la interdependencia entre estas tareas (líneas azules).

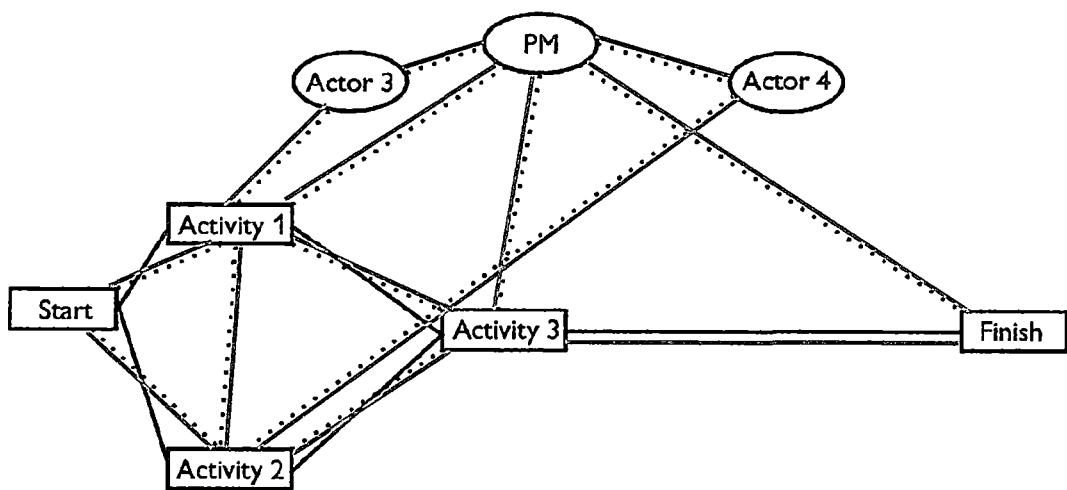


Figura N° 1.14.: Visualización de Organización y Procesos, fuente Kunz, Levitt y Jin (2012)

Kunz, Levitt y Jin (2012), mencionan que cuando se identifican correctamente las tareas y los actores, la simulación VDT predice la presencia de cuellos de botella tanto en la organización como en el proceso. Y esta idea se puede utilizar para tomar medidas en la reducción de los cuellos de botella, mediante la descentralización de la toma de decisiones, el cambio de la estructura del equipo de diseño/construcción y el cambio de las herramientas de comunicación. Debido a que la simulación VDT está basada en computadora (virtual), los cambios en la organización o el proceso pueden ser analizados repetidamente, mostrando las consecuencias de estos cambios en la eficiencia y eficacia de la organización y el proceso.

Métricas POP

Además de las visualizaciones POP, el enfoque VDC utiliza métricas POP. Estas métricas POP pueden definirse como los requisitos u objetivos explícitos, que se utilizan para predecir o medir el rendimiento del Producto, Organización y Procesos (Kunz y Fischer, 2012).

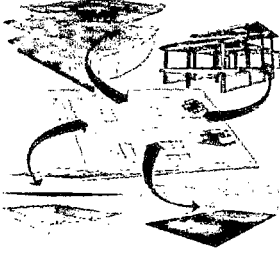
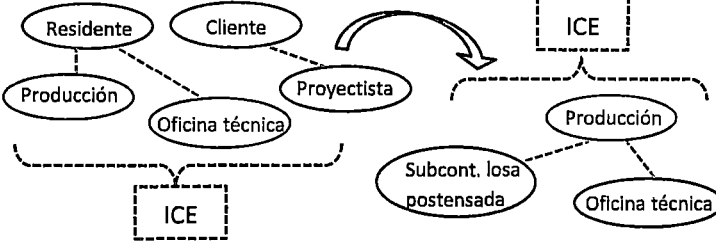
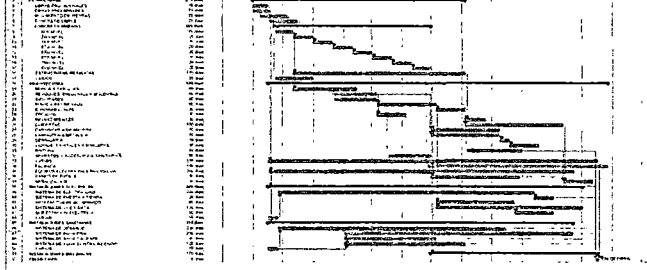
Las métricas POP se pueden utilizar para hacer una evaluación del funcionamiento del producto, Organización y Procesos en todo momento durante el proceso de diseño y construcción. Los actores involucrados en el proceso de diseño y construcción pueden utilizar esta evaluación para gestionar y dirigir el proceso a lo largo del camino. (Schrama, 2011).

Las métricas POP se pueden colocar en un modelo POP. Kunz y Fischer (2012) utilizaron Función, Forma y Comportamiento para describir los requisitos y el rendimiento del Producto, Organización y Proceso (modelo POP). Y también agregaron otros aspectos al modelo POP, resultando un modelo POP que describe cinco aspectos principales para el Producto, la Organización y el Proceso: (1) Función, (2) Forma o alcance, (3) Comportamiento, (4) factores de ponderación y (5) valores de umbral.

En la tabla N° 1.2 se simula un ejemplo aplicativo de estos 5 aspectos con el modelo POP. (1) La función describe los requisitos u objetivos funcionales de la construcción de las losas postensadas del Sótano de un Edificio, establecidos en las metas del proyecto, el cual se divide en "**objetivo medible**" y "valor objetivo exigido". El primero es el requisito u objetivo en sí mismo y el segundo es su valor exigido por el equipo o el gestor del proyecto. (2) La forma o el alcance es la forma en que se han dado estos **objetivos medibles**, en el caso del producto, el alcance comprende las especificaciones técnicas del tipo de losa postensada, presupuesto, modelo virtual de esfuerzos y momentos, planos estructurales y el modelo BIM de las losas. En el caso de la organización, el alcance comprende la organización para el diseño-ingeniería y para la ejecución de obra, y metodología de reuniones ICE en obra. En el caso del proceso, el alcance comprende al cronograma meta y cronograma real de actividades para la construcción de las losas postensadas del Sótano. (3) El comportamiento indica el grado previsto y el grado medido, por el equipo o el gestor del proyecto, en que la forma/alcance cumple los **objetivos medibles**. (4) Los "factores de

ponderación" indican la importancia de cada uno de los **objetivos medibles** en comparación con los demás **objetivos medibles**. (5) Los "Valores de umbral" son definidos por los actores involucrados en el proyecto y se utilizan para delimitar el comportamiento medido de los **objetivos medibles**. La suma de los factores de ponderación debe ser 100, y al final se evaluó el rendimiento previsto y el rendimiento medido de la gestión en el proyecto. Donde el equipo de trabajo o el gestor del proyecto obtuvieron un rendimiento menor al previsto.

Tabla N° 1.2.: Ejemplo aplicativo de los aspectos de un modelo POP (Elaboración propia)

Función		Forma/Alcance		Comportamiento		Fact. Pond.	Umbral
Objetivo Medible	Valor obj. exigido			Previsto	Medido		
PRODUCTO							
Sótano: Losas postensadas (paños)	100		<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> *Tipo de losa postensada, espec. Téc. y presupuesto. *Modelo virtual de esfuerzos y momentos. *Diseño estructural del edificio (planos y cálculos). *Modelo BIM de las losas. </div>	100	100	25	2
Costos por m2 de losa (\$)	30			30	30	25	2%
ORGANIZACION							
Actores que asisten a reuniones ICE (%)	95			90	90	10	5%
Inasistencia promedio de los actores (días)	<2			2	1.5	10	1
PROCESO							
Conformidad con la Programación (%)	85			80	80	15	5%
Retraso máximo en la Programación (semanas)	0			1	2	15	1
RENDIMIENTO EVALUADO EN EL PROYECTO				95%	93%	100	

1.2.4 Modelo de madurez VDC

El proceso de implementación VDC normalmente se desarrolla de una manera incremental, en parte por la evolución natural, pero idealmente siguiendo una amplia estrategia diseñada para obtener el máximo valor organizacional de VDC. Con base en el conocimiento de las formas de aplicación VDC por los usuarios, un modelo con las fases de implementación VDC se ha desarrollado, que es llamado el "modelo de madurez VDC" (Kunz y Fischer, 2012).

Nos encontramos con que VDC emerge en tres etapas: (1) **Visualización**, que es fácilmente justificable y aplicable para un proyecto; (2) **Integración** de múltiples modelos y líneas del negocio; y (3) **Automatización** para realizar una parte significativa de diseño y/o construcción mucho más rápida y fiable que en la práctica tradicional. Las dos últimas etapas requieren un compromiso empresarial, y la implementación de la etapa de visualización requiere un compromiso de la organización de trabajo. (Kunz and Fischer, 2012).

La figura N° 1.15 muestra las fases del modelo de madures para la implementación VDC seguida por los usuarios (Norteamérica y Europa) en proyectos donde la metodología partió principalmente desde la etapa de diseño, pasando por la etapa de construcción y luego operación. Este modelo de madurez se implementa en tres fases distintas para el Diseño, cada una de las cuales tiene su propia propuesta de valor, estrategias para la producción del valor y costos. La información obtenida sobre su uso muestra que normalmente las organizaciones avanzan secuencialmente a través de las fases de este modelo de madurez, pero no todas logran satisfactoriamente la implementación total debido a que la tercera fase, la automatización, requiere un mayor esfuerzo y especialización (Schrama, 2011).

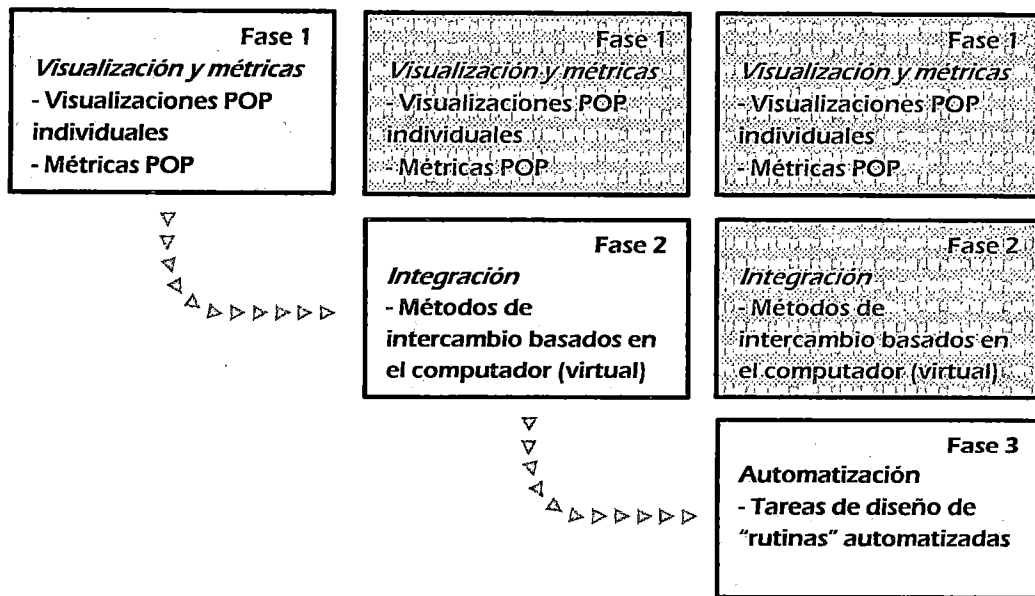


Figura 1.15.: Representación esquemática de las fases del modelo de madurez VDC, aplicado a la etapa de Diseño. Fuente: Schrama, 2011.

a) Fase de Visualización

La visualización es la primera fase de VDC. La tecnología de PC actual hace que sea relativamente fácil de implementar. El hardware es de fácil acceso, y hay una serie de herramientas de software comercial de alta capacidad, todos a un precio aceptable (Kunz and Fischer, 2012).

Durante esta fase descrita por Kunz y Fischer, los miembros del equipo de diseño crean visualizaciones, como los modelos 3D del producto, modelos de organización para la dirección del proyecto y los modelos de procesos para el proceso del proyecto. Además, los miembros del equipo de diseño utilizan **métricas** para predecir y medir el desempeño de los proyectos con respecto al producto, la organización y el proceso. La fase de visualización y métricas todavía no requiere la integración de visualizaciones y modelos entre los actores del equipo de diseño multi-disciplinarios (Schrama, 2011).

b) Fase de Integración

En la fase de integración se utilizan métodos automatizados, con el apoyo de la tecnología actual, para relacionar a los modelos de producto, modelos de organización y modelos de procesos (Kunz and Fischer, 2012).

En esta fase, se intercambian e integran la información del proyecto utilizando métodos automatizados de intercambio (por computadora) entre diferentes aplicaciones de software. Por ejemplo, se intercambian y se integran los datos del proyecto desde el modelo arquitectónico y el modelo de diseño estructural. Este intercambio de datos basado en ordenadores y la integración entre las diferentes aplicaciones de software requiere un grado suficiente de interoperabilidad entre diferentes aplicaciones de software, lo que significa que las aplicaciones de software son capaces de "entender" el formato del otro archivo. La interoperabilidad se trató de llegar a través del desarrollo de la IFC (Foundation Classes Industrial), que es un lenguaje de intercambio normalizado para aplicaciones de software. Sin embargo, la IFC actualmente no se usa (Schrama, 2011).

c) Fase de Automatización

En esta fase se automatizan algunas rutinas de diseño y pre-fabricado para permitir la instalación del proyecto en subconjuntos o partes de un ensamblado. En el proceso habitual de diseño-licitación-construcción, probablemente, no se pueda reducir la construcción de grandes proyectos a seis meses con éxito. Sin embargo, se sugiere que muchos proyectos importantes se pueden construir dentro de seis meses si sus subsistemas principales tienen un buen método de montaje integrado y fabricación, diseño cuidadoso de su fabricación y gestión de la cadena de suministro. Convirtiéndose el proceso de construcción a diseño-fabricación-ensamblaje para los componentes determinantes de la programación (Kunz and Fischer, 2012).

Esta fase se trata de una mayor automatización de las tareas de diseño de "rutina", que son las tareas de diseño que no requieren muchos análisis de los actores del equipo de diseño y por lo tanto pueden ser automatizadas. De esta manera, se espera que los actores del equipo de diseño ahorren tiempo y esfuerzo. Además de la automatización de estas tareas de diseño de rutina, la

fase de la automatización se trata de la prefabricación del edificio. Se espera que la automatización y el cambio de los procesos actuales de diseño-licitación-construcción hacia diseño-fabricación-ensamblaje den lugar a una mayor eficiencia y eficacia en el diseño, así como a una disminución en la duración de la construcción.

1.3 MODELO / MODELADO DE LA INFORMACIÓN DE LA EDIFICACIÓN (BIM)

1.3.1 Definición

En el glosario “BIM Handbook” (Eastman, 2011) se define a BIM como un conjunto de herramientas, procesos y tecnologías que están facilitadas por una documentación digital e inteligible en un computador acerca de la edificación, su desempeño, su planeamiento, su construcción y su posterior operación. El resultado de una actividad BIM es un modelo de información de la edificación.

BIM (Building Information Modeling) por sus siglas en inglés, puede ser traducido como “Modelo de la Información de la Edificación” y, tal como se puede apreciar en la Figura N° 1.16, permite representar virtualmente los componentes del proyecto. Tradicionalmente, el sector de la construcción ha comunicado la información de los proyectos por medio de planos y especificaciones técnicas en documentos separados, sin embargo, el proceso de modelado en BIM tiene como objetivo reunir toda la información de un proyecto en una sola base de datos de información completamente integrada e interoperable para que pueda ser utilizada por todos los miembros del equipo de diseño y construcción y al final por los propietarios para su operación y mantenimiento a lo largo del ciclo de vida de la edificación (Alcántara, 3)



Figura 1.16: Representación virtual tridimensional mediante el uso del BIM
(Proyecto: Universidad del Pacífico - GyM). Fuente: Alcántara, 2013

Como el uso de BIM en la industria AEC está aumentando, la necesidad del modelado de procesos se identifica más ampliamente en la organización, como lo indica la siguiente definición de BIM citado en Aranda-Mena et al, 2008:

"Modelado de la Información del Edificio es el desarrollo y el uso de un modelo de software de computadora para simular la construcción y operación de una instalación. El modelo resultante, un modelo de información de construcción, es un rico en datos, está orientado a objetos, es una representación digital inteligente y paramétrica de la instalación, de la cual pueden ser extraídos y analizados muchos puntos de vista y datos apropiados según las necesidades de diferentes usuarios para generar información que puede ser utilizada en la toma de decisiones y mejorar el proceso de entrega de la instalación. Este proceso de utilización de modelos BIM para mejorar la planificación, el diseño y el proceso de construcción está siendo cada vez más referido como Diseño y Construcción Virtual (VDC)"

De hecho en países como el Reino Unido, las ventajas de BIM han sido reconocidas oficialmente por la Cabinet Office. Logrando así que el gobierno inglés exija, a partir del 2016, que todos los proyectos de obras públicas se realicen mediante el uso de BIM en 3D (con todo el proyecto, la información de activos, la documentación y datos electrónicos).

Por otro lado, en los EEUU el gobierno federal ha estimado ahorros por encima de \$15.8 billones anualmente de los procesos integrados. Actualmente los procesos ahorran entre un 5-12% cuando el BIM es usado correctamente.

En el Perú el uso de BIM viene siendo empleado desde hace algunos años y cada vez va tomando un mayor impulso y desarrollo con las principales empresas constructoras del país. Debido a esto la Cámara Peruana de la Construcción ha conformado el comité⁵ BIM, que pertenece al instituto de la construcción y el desarrollo (ICD) para lograr, entre otras cosas, mejores resultados en la industria de la construcción con el trabajo conjunto entre empresas, profesionales y entidades.

1.3.2 Aplicaciones BIM para la etapa de construcción

Para mostrar las aplicaciones que BIM ofrece, se tomará como referencia el caso práctico de implementación de BIM realizada por Skanska, una compañía multinacional de construcción y desarrollo de origen sueco. Ellos implementaron BIM en su compañía y adaptaron sus procesos de desarrollo y entrega de proyectos de construcción basados en las tecnologías que la soportan. Para ello desarrollaron un estudio donde determinaron 16 aplicaciones, las mismas que pueden diferenciarse según la etapa de entrega de proyecto en donde son aplicadas, sea diseño, construcción, operación y/o mantenimiento post-entrega. (Ver figura N° 1.17)

⁵ La creación del comité BIM en el Perú está desarrollada en el acápite 1.1.5.

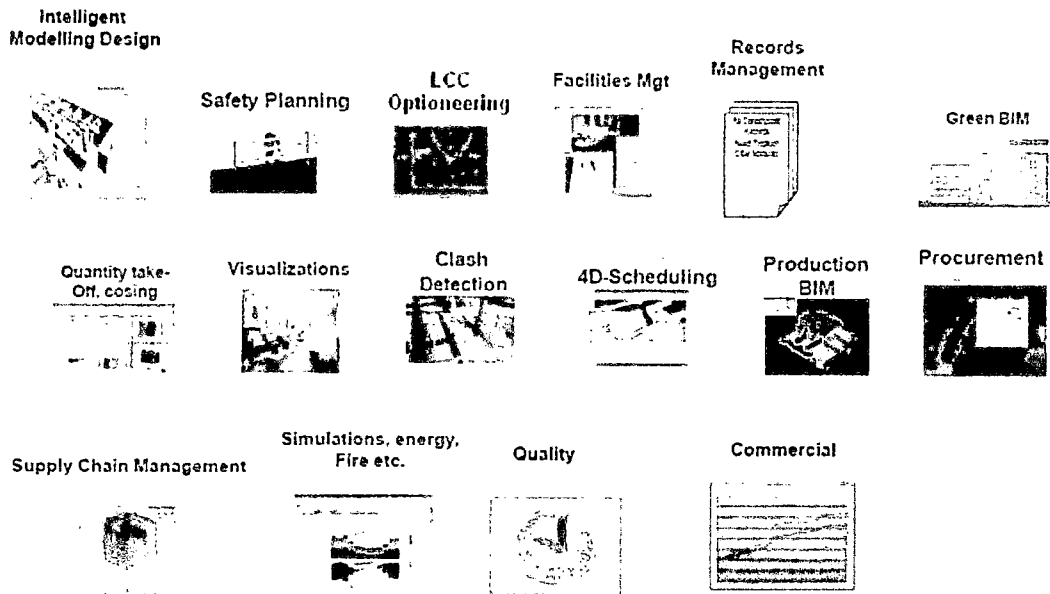


Figura 1.17: Áreas de aplicación del BIM para proyectos de construcción
(Fuente: Skanska)

Dentro de estas 16 aplicaciones de BIM, existen cuatro aplicaciones que influyen directamente en los procesos de construcción cuando son usadas en esta etapa. Estas cuatro aplicaciones de BIM pueden ser implementadas en un corto plazo por las empresas constructoras de nuestro medio.

a) Estimación de la cantidad de materiales

Del modelo BIM se puede estimar la cantidad de materiales, conocida en nuestro medio como los “metrados”, la cual genera una nueva forma de trabajar, ya que estos metrados pueden ser obtenidos directamente de un modelo BIM después de finalizada la etapa de modelado 3D. Esto es razonable ya que los modelos BIM representan una fuente de información y una base de datos, y todos sus componentes, de acuerdo a su geometría, tienen asociados distintos parámetros de cantidad de materiales que pueden ser extraídos del modelo BIM, generando hojas reportes de las principales partidas de materiales de un presupuesto.

b) Detección de conflictos

La fase de diseño de un proyecto es un proceso de creación de cada una de las especialidades del proyecto tales como estructura, arquitectura e instalaciones, las cuales inicialmente no están ensambladas o compatibilizadas y que en la fase de construcción los enfrentamientos entre ellas puede significar un re-trabajo, generando pérdidas en términos de tiempo y costos. Al respecto, BIM puede ser usada para detectar estos conflictos o interferencias, ayudando a evitar los riesgos que puedan derivar de la no identificación de los mismos (ver figura N° 1.18). Algunos de los beneficios de utilizar BIM para detección de conflictos son:

- Ayuda a la coordinación de los diseños y la ingeniería.
- Facilita la revisión completa del diseño.
- Permite la identificación rápida de los conflictos e interferencias.
- Capacidad para explorar opciones, integrar los cambios en los modelos BIM y eliminar los riesgos.
- Permite hacer un seguimiento de las actividades de construcción
- Minimiza el reproceso y los desperdicios.
- Ayuda a mejorar la calidad de los diseños.

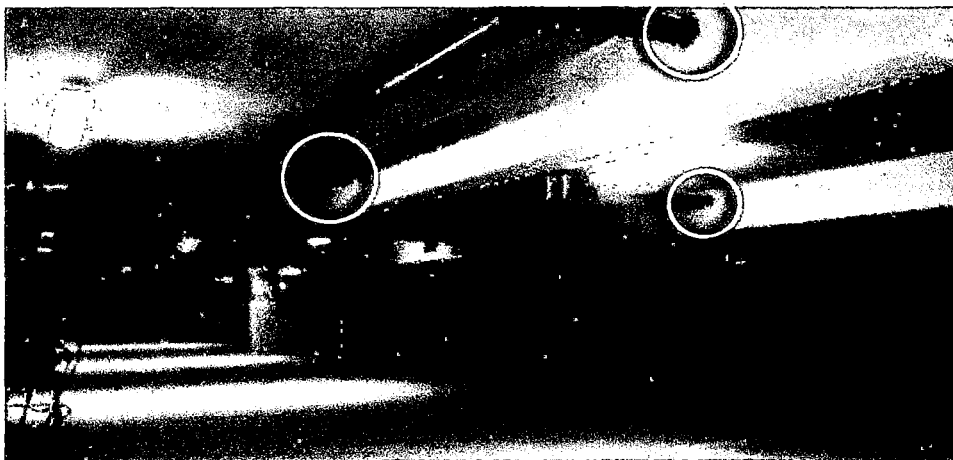


Figura 1.18: Conflictos no identificados: Pases en vigas mediante perforaciones diamantinas

c) Visualización

A través del análisis de los componentes del edificio, en los modelos 3D se puede analizar el alcance de la construcción, que puede servir de ayuda para la generación del planeamiento de la construcción y para que el alcance sea proyectado a todos los interesados del proyecto. Esta visualización también ayuda al usuario final del proyecto a integrarse desde una etapa temprana para visualizar las principales unidades de su instalación, sin necesidad de entender los documentos tradicionales de un proyecto (p.e. planos 2D), y de esta manera obtener mejores resultados en los cambios del proyecto (ver figura N° 1.19).

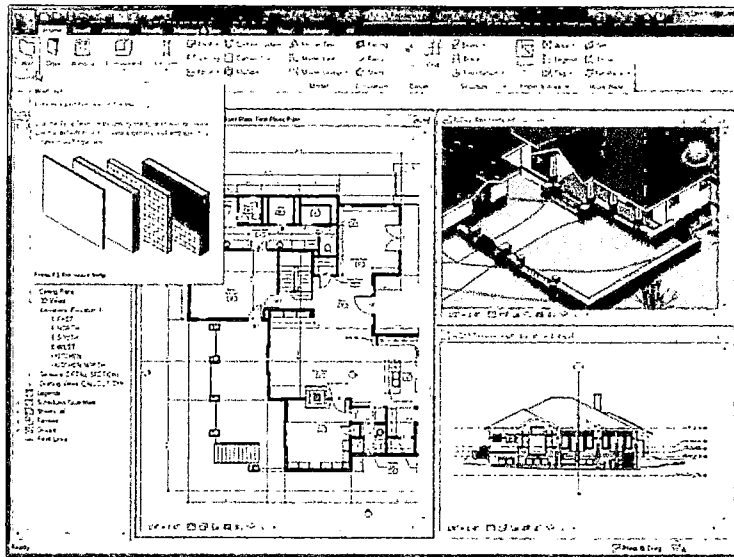


Figura 1.19: Visualización del alcance del proyecto y componentes de la edificación con BIM

d) Simulación 4D

Las tecnologías BIM-4D combinan los modelos BIM-3D con la cuarta dimensión que viene dada por las duraciones de las tareas de construcción programadas en un calendario de obra con algún software (p.e. Primavera o MS Project). Al combinar las actividades de un programa de ejecución de la construcción con elementos de un modelo BIM-3D se obtiene una simulación visual de la secuencia constructiva, que también es conocida como modelo 4D, ya que muestra simultáneamente las tres dimensiones geométricas del proyecto, más la

cuarta dimensión del tiempo proveniente de las duraciones de las actividades de los procesos de construcción (ver figura N° 1.20).

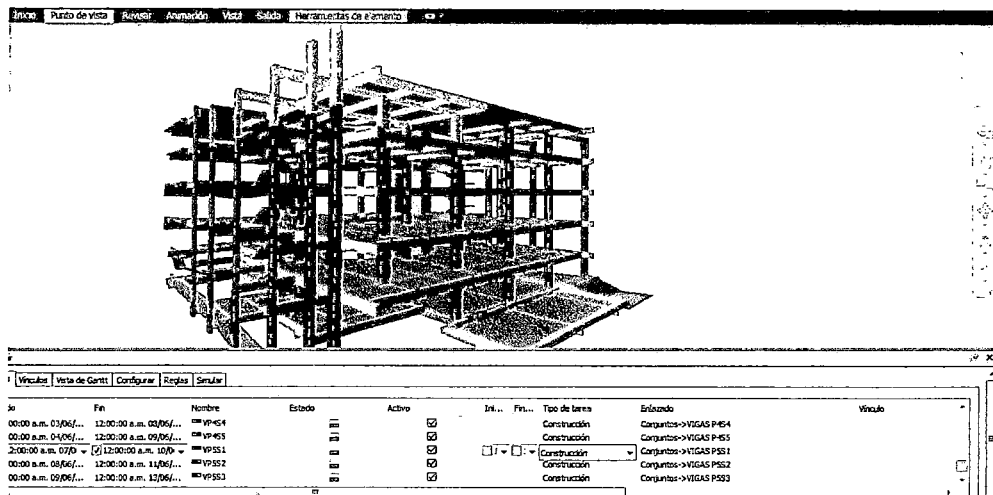


Figura 1.20: Interfaz gráfico de un software de simulación 4D

1.3.3 Beneficios del uso de BIM en la etapa de diseño y en la etapa de construcción

La gestión de proyectos usando la tecnología BIM reduce la incertidumbre en su manejo, ya que aumenta las posibilidades de controlarlo, pues elimina las aproximaciones abstractas. Asimismo, la integración de las labores de diseño y construcción abre las puertas a una ingeniería en la que los profesionales se dedicarán a mejorar los diseños, la planificación de las obras y su control, reduciendo con ello el costo de los proyectos (Alcántara, 3).

Algunos de los beneficios de aplicar BIM en una empresa que haya realizado un maduro proceso de implementación son:

a) En la etapa de diseño

- En las primeras etapas del diseño, para probar que se ha cumplido con las expectativas del cliente, se puede obtener listados de materiales y cálculos de materiales generales.
- Obtención de los planos del proyecto: de plantas, de secciones, de elevaciones, de detalles y vistas 3D isométricas.

- Creación de imágenes fotorrealistas (renders), vistas de perspectivas, animaciones y escenas de realidad virtual para el marketing del edificio.
- Gestión de espacios y usos de los ambientes del edificio.
- Proveer datos para el análisis estructural de elementos del edificio.

b) En la etapa de construcción

- La revisión visual del diseño del proyecto.
- Realizar análisis visuales o automatizados de interferencias físicas entre
- los diseños (detección de interferencias).
- Obtener reportes de cantidades de materiales (metrados).
- Intercambio electrónico de datos de diseño con proveedores (e.g. para
- detalles y fabricación de acero estructural, prefabricación de
- instalaciones)
- Simulación del proceso constructivo BIM-4D.
- Con la tecnología del edificio virtual, los propietarios están en una posición privilegiada que confirma la importancia de su papel, no sólo en los inicios del diseño de edificios, sino también en su planteamiento, mantenimiento y operación a largo de su ciclo de vida.

1.4 REUNIONES ICE (INGENIERÍA CONCURRENTE INTEGRADA)

Ingeniería Concurrente integrada (ICE) logra un diseño extraordinariamente rápido con una calidad similar o superior a los métodos tradicionales y a un menor costo (Chachere, Kunz y Levitt, 2009).

Ingeniería Concurrente Integrada, sus iniciales ICE de Integrated Concurrent Engineering, es una metodología para el desarrollo efectivo, rápido y confiable de cualquier tipo de problema de diseño o ingeniería. El uso de estas reuniones en los proyectos que implementaron VDC fue muy útil, logrando el enfoque necesario para aumentar la productividad durante el proceso de diseño y construcción.

Esta metodología utiliza: una combinación singularmente rápida de los expertos diseñadores; un modelado avanzado, herramientas de visualización y análisis; un conjunto de procesos sociales consistentes, y un centro de diseño especializado para crear diseños preliminares para sistemas complejos.

En cientos de proyectos desde 1996 la NASA ha desarrollado y aplicado ICE en breves sesiones de diseño, principalmente para conseguir métodos y procesos de reingeniería más rápidos, mejores y más baratos. Las tres áreas horizontales de la figura Nro. 1.21 muestran la descomposición de este trabajo en tres componentes específicos: una función de la misión, una forma de diseño de ingeniería, y los comportamientos predichos. La función, incluye una selección de destino, trayectoria de viajes, objetivos científicos, y los límites de la propuesta, como fecha límite de lanzamiento, el presupuesto, y la postura de riesgos. Estos elementos condujeron la forma de grandes diseños de ingeniería y sistemas de organización de la misión, como el diseño térmico, diseño del sistema de energía, controles desde la tierra, y diseño de sistemas de propulsión. La propuesta final también incluyó un análisis detallado del comportamiento esperado de la misión, en costos, cronograma, riesgos y rendimiento científico.

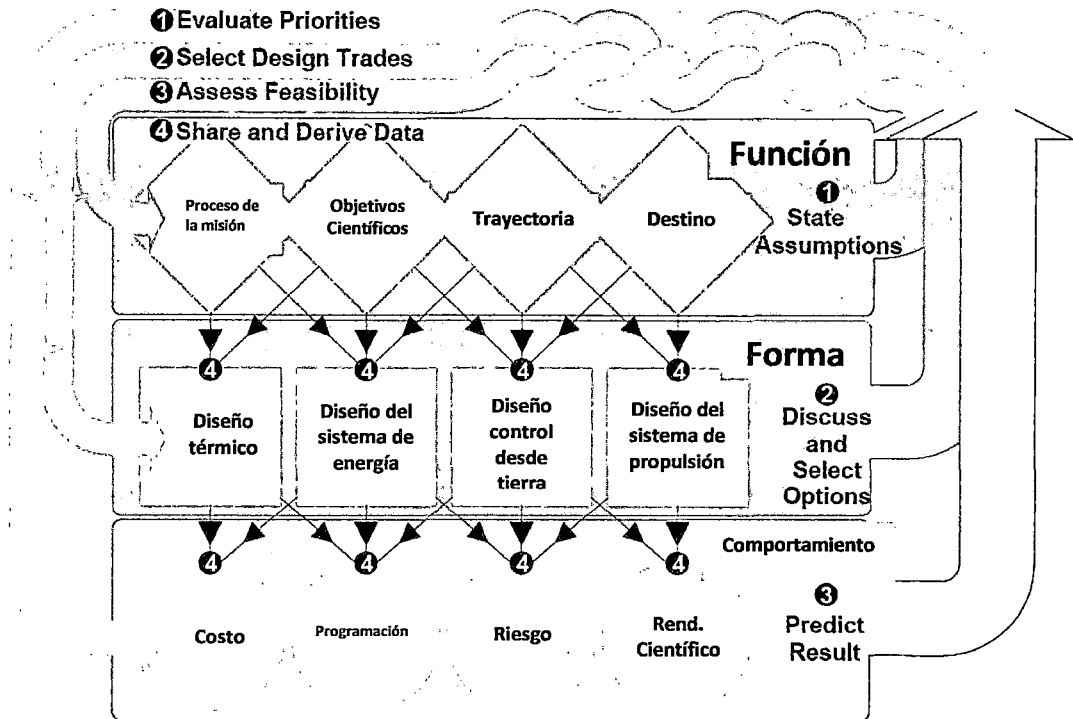


Figura 1.21: Esquema conceptual de "Team-X" Utilizando ICE. "Team-X" desarrolla las funciones de la misión y del sistema, forma y comportamientos utilizando procesos concurrentes con una latencia muy baja. Cada estación "team-X" es representada como rombos, cuadrados o círculos blancos). Estas estaciones coordinan mediante cuatro procesos interdependientes: (1) Facilitador – mediador que da seguimiento de evaluar la conformidad de diseño con las metas; (2) Acuerdos en operaciones de diseño; (3) Revisión funcional de viabilidad objetivo; y el intercambio automatizado de datos de modelado de red y programas de análisis y de datos (4). La figura ilustra sólo una fracción de las estaciones y los enlaces de información de "Team-X".

La metodología ICE puede trabajar potentemente el producto y la producción de un proyecto en sus etapas de Definición, Diseño/Ingeniería y Construcción. La agrupación de las partes con autoridad para dar las soluciones de los problemas que conlleva un proyecto, usando ICE, les permite lo siguiente:

- Evitar discusiones innecesarias y acciones de re-trabajo
- Mejorar la gestión del tiempo
- Lograr un ambiente de trabajo productivo
- Asegurar la reducción de los tiempos de respuesta de las partes involucradas
- Mejorar la calidad del producto final
- Mayor integración de procesos

Para el desarrollo de estas sesiones de trabajo, se necesita de un ambiente adecuado (iRoom) para el uso de las herramientas de visualizaciones 3D - 4D, para la integración del producto y la integración de los procesos (ver figura N° 1.22).

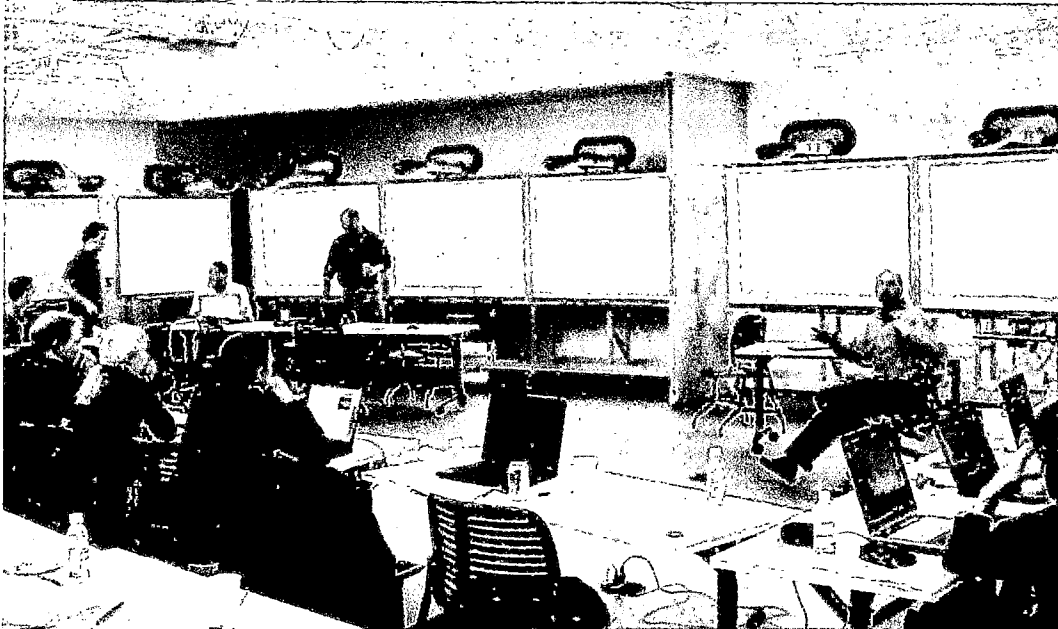


Figura 1.22: iRoom de Jet Propulsion Laboratory (JPL). Centro de investigación y desarrollo de la NASA. Reunión ICE del equipo de trabajo.

1.5 MAPEO DE PROCESOS

EL Mapeo de Procesos es una metodología que permite orientar y redefinir los principales elementos del proceso para la reinención del mismo de acuerdo a lo que el cliente considera de valor. Conocer el mapa del proceso de las actividades permite planear e identificar los elementos de entrada y salida para mejorar su diseño y operación entre los aspectos más importantes, con el objeto de establecer las estrategias necesarias para resolver los problemas; además permite resaltar los principales obstáculos y oportunidades que se pueden presentar.

La empresa Strategic Project Solutions señala que el Mapeo y Control de Procesos consiste en crear planes de producción, desarrollar cronogramas detallados (corto plazo) y la mejora continua (ver figura N° 1.23).

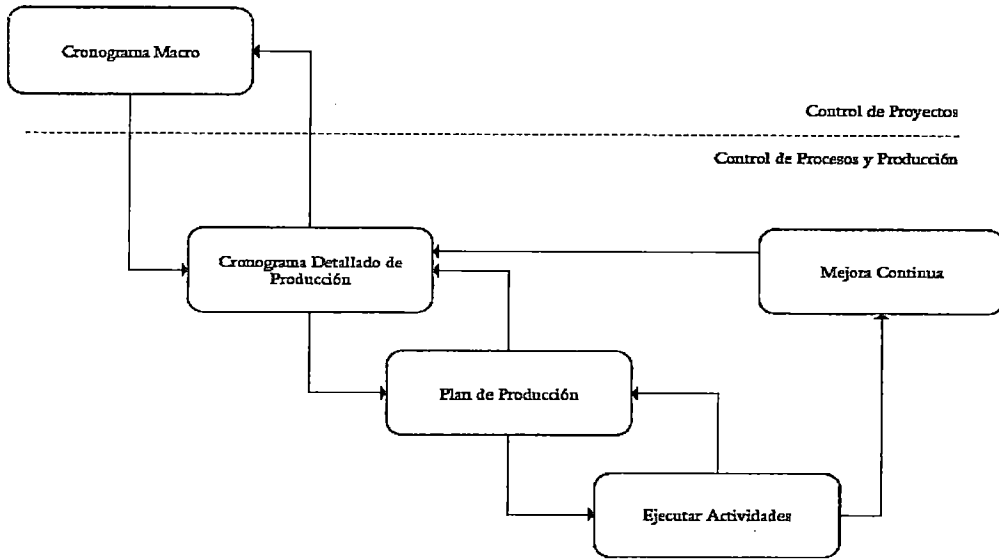


Figura 1.23: Control y Mapeo de Procesos para lograr la mejora continua en Proyectos.

a) Crear planes de producción

Se realizan sesiones de planeamiento para obtener los planes de producción. El plan de producción se crea en un entorno ICE, donde primero se actualiza el plan de producción para comenzar a desarrollar la sesión ICE y así en la parte final crear el siguiente plan de producción. (Ver figura N° 1.24 y N° 1.25).



Sesión de Planeamiento



Item	Start	End	Activity	Resources	Cost	Notes
101	2010-01-01	2010-01-05	Planificación de recursos	100	1000	
102	2010-01-06	2010-01-10	Asignación de recursos	200	2000	
103	2010-01-11	2010-01-15	Control de recursos	150	1500	
104	2010-01-16	2010-01-20	Optimización de recursos	180	1800	
105	2010-01-21	2010-01-25	Reporte de recursos	120	1200	

Plan de Producción

Figura 1.24: Sesiones de Planeamiento para crear los planes de producción

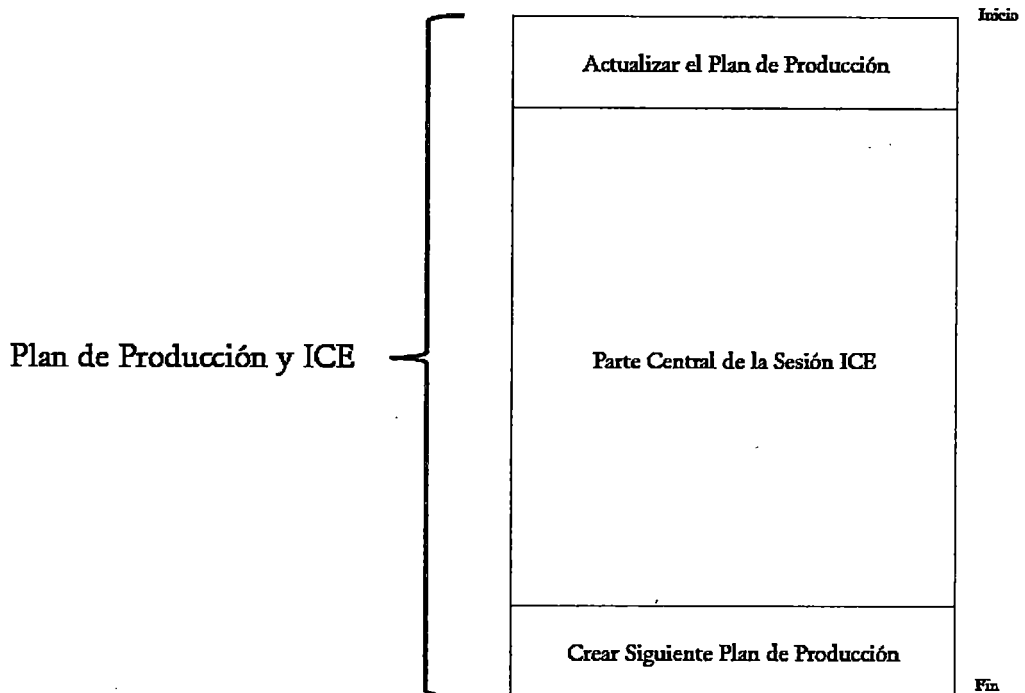


Figura 1.25: Partes de un plan de producción en el entorno ICE

b) Desarrollar cronogramas detallados (corto plazo)

Colaboración en el desarrollo de los cronogramas con el apoyo de ICE, mapeando los procesos de corto plazo de manera detallada, planeando y re-planeando durante el diseño (ver figuras N° 1.26 y N° 1.27). Algunos equipos usaron las “construcciones digitales semanales” que es una buena herramienta para el planeamiento, que se logra gracias a BIM y ICE.

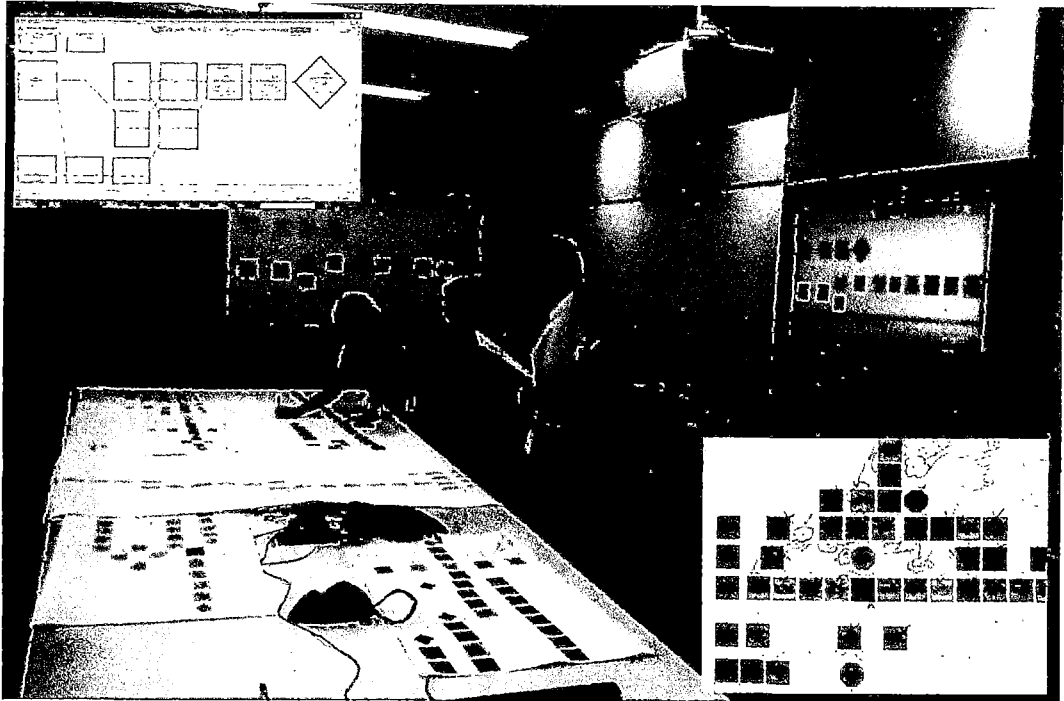


Figura 1.26: Creación colaborativa de cronogramas detallados a corto plazo con ICE

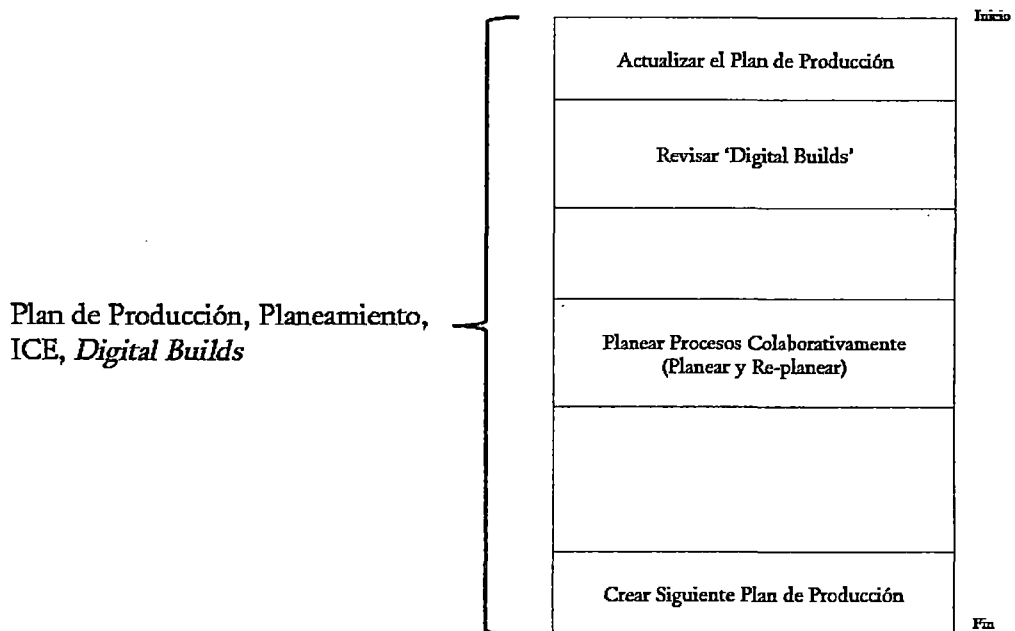


Figura 1.27: Partes de un plan de producción con planeamiento de los procesos en un entorno ICE

c) Mejora Continua

Finalmente al trabajar los planes de producción, realizar colaborativamente el planeamiento y el re-planeamiento de los procesos, usando el modelo BIM para hacer construcciones virtuales semanalmente o periódicamente y usando la metodología ICE hasta el punto de desglosarla en varias sesiones ICE dentro de una, se logra la estandarización de los procesos y la mejora continua (ver figuras N° 1.28 y N° 1.29).

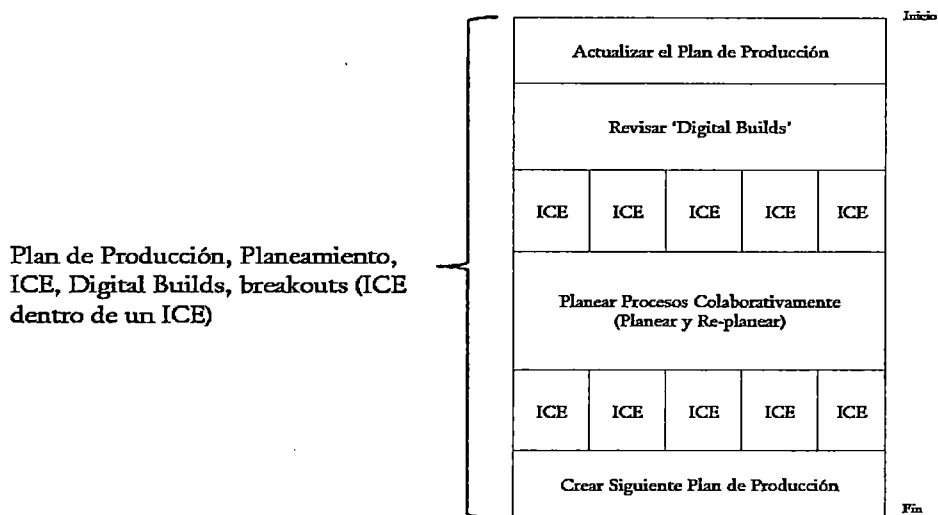


Figura 1.28: Partes de un plan de producción con planeamiento colaborativo de los procesos con un desglose de sesiones ICE dentro de una sesión ICE

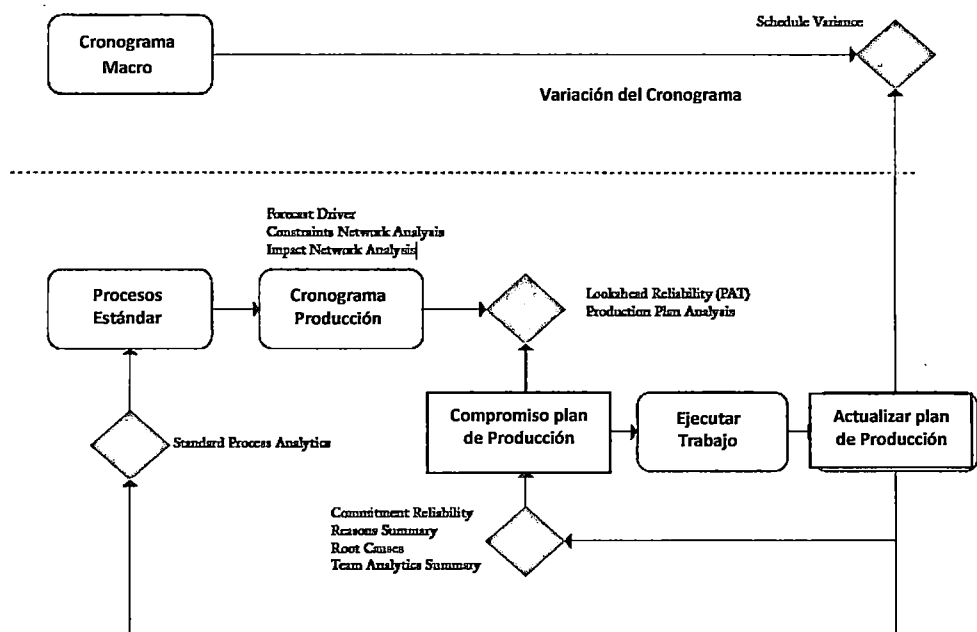


Figura 1.29: Mapeo de procesos para lograr la mejora continua

Esta metodología no está muy desarrollada en términos de bibliografías e investigaciones, por lo cual es un potencial tema de interés para las futuras investigaciones ya que es uno de los pilares de la metodología VDC al igual que el uso de BIM y ICE. Los beneficios de la aplicación del Mapeo de Procesos son los siguientes:

- Provee una visión global de los procesos, muestra las relaciones y los roles.
- Ayuda a explicar el proceso y permite identificar los procedimientos e instrucciones de trabajo que se requiere documentar.
- Elemento importante para satisfacer y dar valor superior al cliente.
- Optimización de procesos al mejorar productividad y abatir desperdicios.
- Muy útil para identificar las restricciones de un proyecto.
- Conduce a la mejora continua.

CAPÍTULO II: CASO DE ESTUDIO

2.1 INTRODUCCIÓN: NUEVO EDIFICIO CORPORATIVO DE GRAÑA Y MONTERO

El proyecto en el cual se desarrolló el estudio de la presente investigación es el “Nuevo Edificio Corporativo de Graña y Montero”, un proyecto de tipo edificaciones de oficinas, que sirvió de prueba para el uso de la iniciativa VDC por parte de la contratista GyM y donde actualmente se instalan las nuevas oficinas del grupo Graña y Montero (ver figura N° 2.1). Este edificio está ubicado en la Av. Petit Thouars n° 4954, en el distrito de Miraflores-Lima, (ver Anexo 01).

La nueva edificación se encuentra muy cerca de la oficina principal del Grupo Graña y Montero, que ya contaba con una cantidad importante de empleados de todas las empresas del grupo. Asimismo también contaba con ambientes alquilados de otras edificaciones para completar la demanda de oficinas.

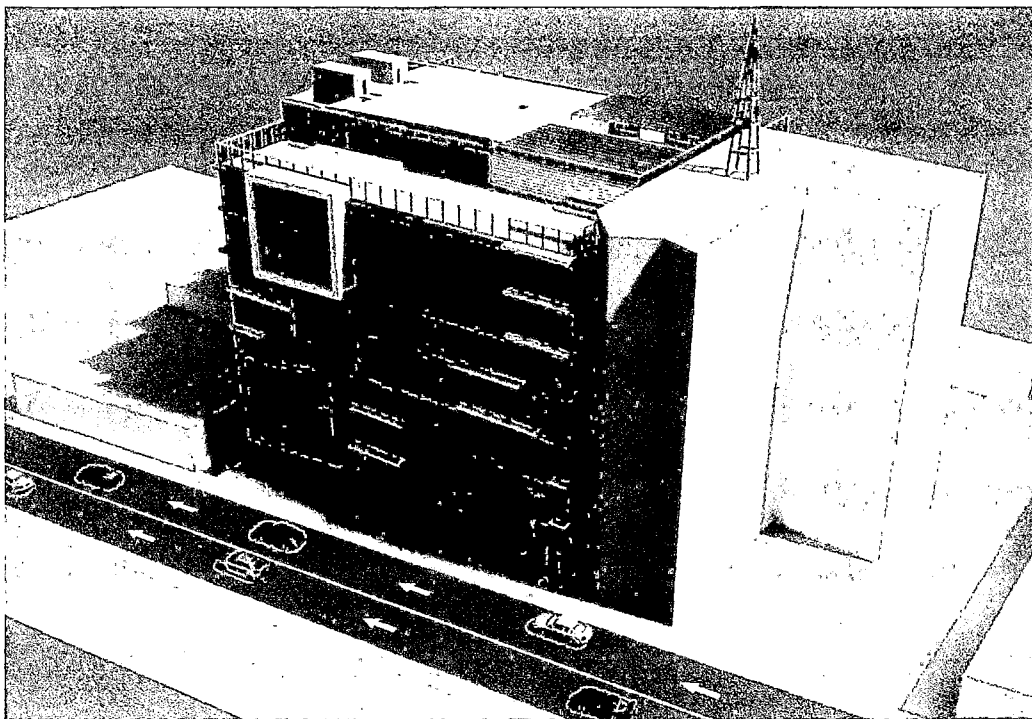


Figura 2.1: Caso de estudio: “Nuevo Edificio Corporativo de Graña y Montero”. Visualización 3D (elaboración propia)

El proyecto consta de 7 pisos designados para las oficinas, más 1 azotea y 4 sótanos para los estacionamientos con capacidad de 190 autos (ver figura N° 2.2). Los siete pisos están estructurados en base a un sistema dual de pórticos y placas de concreto armado, y posee un sistema de aislamiento sísmico con 28 aisladores sísmicos colocados bajo el techo del primer sótano. Asimismo los ascensores se encuentran “colgados” del edificio sin estar conectados a los sótanos.

La edificación tiene una altura de 29.30 metros. El área del terreno es de 1,712.78 m² y el área techada es de 17,223.92 m². Además en el proyecto se usaron 6,426.38 m³ de concreto, 690.80 toneladas de acero y 32,903.62 m² de encofrado.

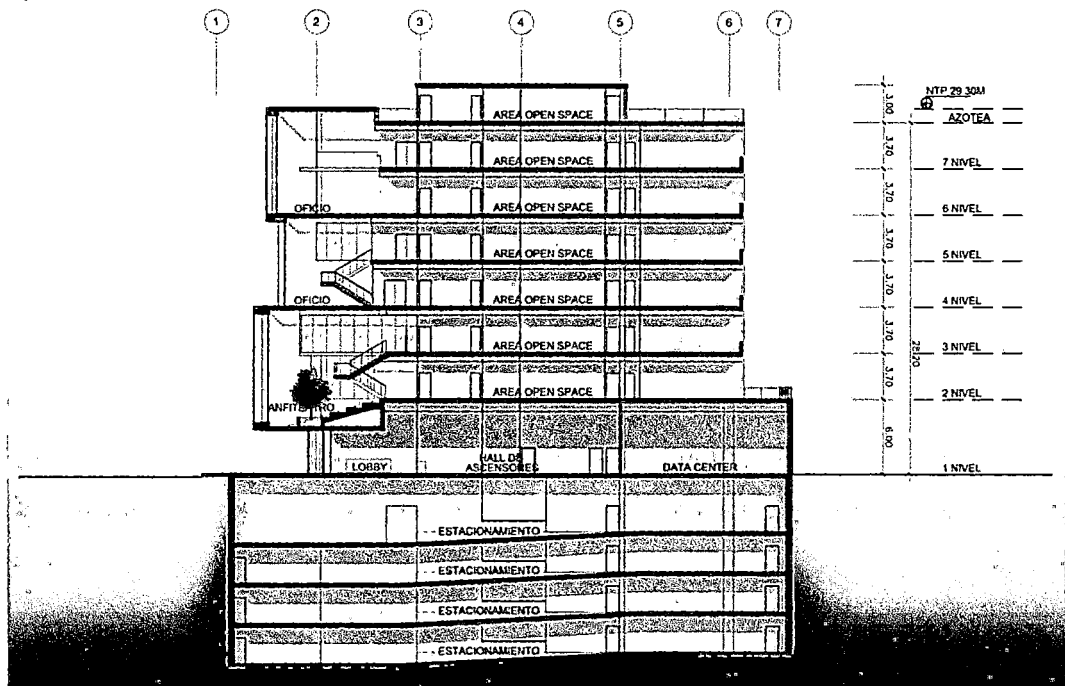


Figura 2.2: Corte transversal del edificio (elaboración propia).

2.2 ALCANCE DEL CASO DE ESTUDIO

El estudio de caso se centra específicamente en la fase de construcción⁶ del casco de la estructura (sótanos y pisos) e instalaciones del proyecto “Nuevo Edificio Corporativo de Graña y Montero” (ver planos en el Anexo 06), porque este fue el período durante el cual se utilizó la iniciativa VDC. Entre agosto de 2012 y diciembre de 2013, se aplicó el enfoque VDC durante el proceso de mejoramiento de la ingeniería básica, resolución de la ingeniería y construcción del edificio, celebrándose muchas reuniones del ICE entre los involucrados.

El proyecto comenzó con un expediente base producto de la fase de Diseño de la edificación, y el cual contemplaba un presupuesto base de 31'680,917.94 S/. (costo directo y costo indirecto). La iniciativa por parte de la Contratista de innovar y plantear nuevos retos en la construcción, que anteriormente ya había usado el BIM en uno de sus proyectos, pudo convencer al cliente de aplicar la metodología VDC para lograr nuevos retos en el proyecto y aumentar su valor en ingeniería. Es así como se pudo realizar cambios importantes a la propuesta base, como el uso de aisladores sísmicos (uno de los primeros en el Perú), el uso de losas postensadas, sistemas de estabilizaciones especiales para los vecinos y el uso de pilotes para la subestación de Luz del Sur, logrando obtener un presupuesto contractual de 34'585,476.00 S/. (costo directo y costo indirecto). Una vez definido y aprobado el presupuesto contractual por el cliente, la contratista pudo empezar con la gestión en VDC para la revisión y el mejoramiento de la ingeniería básica y la ingeniería de valor propuesta. Este caso de estudio particular permitió que el Cliente esté por encima de los Proyectistas, favoreciendo y colaborando con las decisiones tomadas por la Contratista para mejorar la ingeniería del proyecto, de esta manera en la reunión de compromisos se fijaron las metas principales del proyecto que estimó un presupuesto meta de 32'867,920.00 S/. , es decir, un ahorro de 1'717,556.00 S/. por mejorar la ingeniería (Ver Cuadro Nro 4.13 del capítulo IV).

En la ejecución del proyecto ocurrieron algunos impedimentos que retrasaban el inicio de la excavación (movimiento de tierras), que escapaban de cualquier

⁶ Para comenzar las actividades de construcción se realizó una fase previa en donde se trató de conseguir el mayor porcentaje posible de ingeniería resuelta antes del inicio de la ejecución del proyecto, con el uso de la metodología VDC.

trabajo anticipado por parte de la Contratista, tales como el problema con los vecinos que se sentían afectados por las obras y la reubicación de la sub estación de Luz del Sur que estaba ubicada dentro del proyecto. Sin embargo el desarrollo de la construcción del edificio fue muy dinámico y se logró cumplir las expectativas de los tiempos establecidos de la programación, gracias a la rutinaria capacitación del equipo de trabajo sobre los procesos constructivos de los sistemas tradicionales y de los procesos constructivos de los nuevos sistemas que se usaron. La gestión de la información fue un punto clave de la contratista para poder llevar al equipo de trabajo a la realización del proyecto (también se integró a los demás interesados del proyecto), este equipo de trabajo estaba conformado por ingenieros jóvenes, con poca experiencia pero con mucha motivación y talento, y con ingenieros de mucha experiencia en edificaciones que nutrían de información a todo el equipo (ver figura N° 2.3). Fue fundamental para el uso del VDC en el presente caso de estudio que 2 de los ingenieros de la contratista (Residente y Jefe de ingeniería) participaran en el curso de certificación VDC para profesionales reportando mensualmente al CIFE de Stanford el avance y el cumplimiento del uso de VDC.

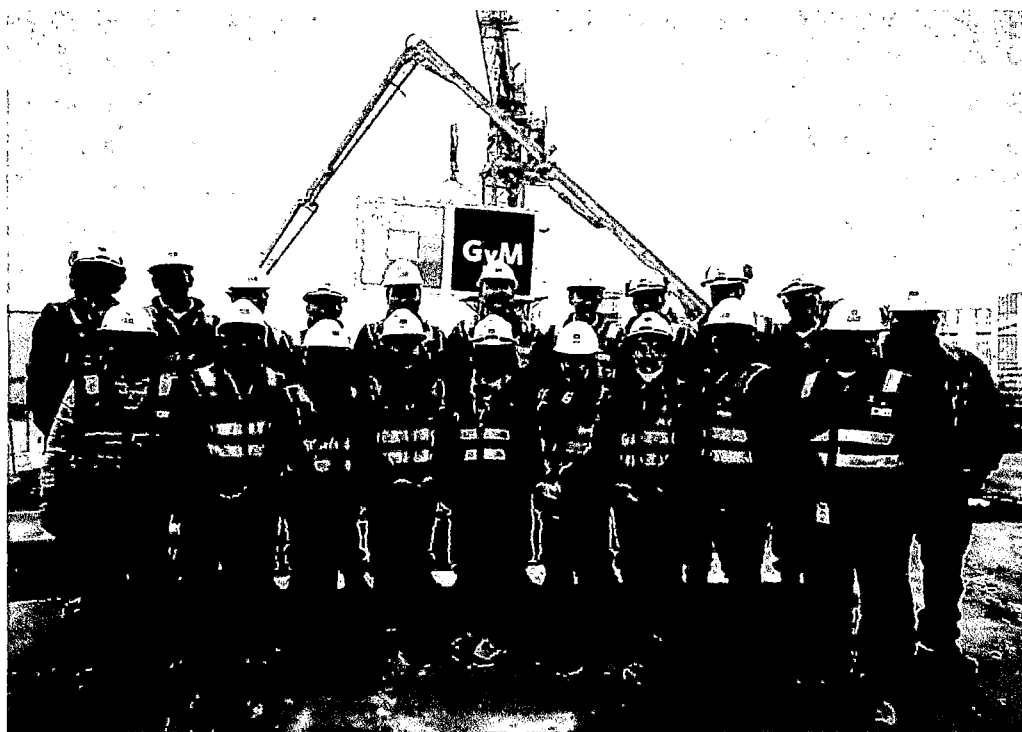


Figura 2.3: Equipo de trabajo de la Contratista GyM. Ingenieros jóvenes con mucho talento trabajando colaborativamente con ingenieros de mucha experiencia en edificaciones.

2.3 ANALISIS DEL PROYECTO

El proyecto en estudio, así como muchos otros, estaba ligado a factores internos y factores externos que influenciaban en la ejecución del proyecto y en la toma de decisiones, principalmente de la contratista. Algunos de estos factores representaban una amenaza y podían dificultar el planteamiento de buenas estrategias a tomar.

2.3.1 Factores internos

En primer lugar se tiene los siguientes factores internos:

- a) Fecha de entrega para el cliente: El cliente o el dueño del proyecto tenía la necesidad de obtener el proyecto en un plazo de 18.5 meses, dentro de las cuales quiere tomar decisiones responsables y acertadas para tener su edificio en el momento indicado.
- b) Al inicio se contaba con una ingeniería básica y con definiciones pendientes en muchas especialidades.
- c) La situación contractual entre contratista y cliente fue un factor muy importante que pudo vencer muchas barreras para poder implementar la iniciativa VDC en el proyecto.
- d) El reto de la contratista y el cliente de usar ingeniería de valor para el proyecto.
- e) El reto de usar VDC por primera vez en los proyectos de la contratista, sin tener una experiencia de uso en otros proyectos del país.

2.3.2 Factores externos

A continuación se presentan los siguientes factores externos:

- a) Crecimiento del PBI de construcción en el Perú de 13.8% en el 2012 y 8.3% (P) en el 2013, existiendo un notable crecimiento de los proyectos de construcción y por consecuencia una mayor demanda de ingenieros e insumos.

- b) Los subcontratistas no conocían las nuevas formas de trabajo y no tenían experiencia en proyectos con BIM y VDC.
- c) Problemas con el recurso humano a todo nivel en el mercado, los profesionales y mano de obra en su mayoría no tenían experiencia de trabajos con BIM y VDC.
- d) Vecinos complicados en el proyecto. Se asumió la gestión de los problemas con los vecinos.
- e) Ya se estaban ejecutando otros proyectos de edificaciones de la Contratista que también usaban el BIM e ingeniería de valor, de donde se podía intercambiar mucha información y experiencias.

2.4 SITUACIÓN CONTRACTUAL DEL PROYECTO

El estudio de caso tuvo una situación contractual particular que permitió usar realmente los planteamientos del VDC, el cual fue la relación entre el Cliente, la Gerencia del Proyecto y la Contratista. El Cliente del proyecto fue el grupo Graña y Montero, la Gerencia del proyecto estaba a cargo de la inmobiliaria Viva GyM y la Contratista fue la constructora GyM, estas dos últimas pertenecen al grupo Graña y Montero (ver figura N° 2.4). Esto produjo que tanto cliente, gerencia de proyecto y contratista sientan el mismo compromiso por el proyecto, y que no se necesite de una tercera empresa que realice la supervisión como en otros proyectos donde los clientes aseguran el buen cumplimiento de la contratista.

Y para que el trabajo colaborativo y multidisciplinario que plantea el VDC funcione en el proyecto se necesitó el cumplimiento de los siguientes aspectos: (a) La responsabilidad e iniciativa de revisar, modificar y mejorar la ingeniería estuvo en manos de la Contratista, (b) EL Cliente y la Gerencia del proyecto tuvieron que integrarse en las reuniones ICE de obra, (c) El cliente tuvo la responsabilidad de integrar a los proyectistas a los trabajos de la Contratista. (d) Los proyectistas tuvieron que integrarse en las reuniones ICE de obra y mejorar sus documentos técnicos en los tiempos acordados.

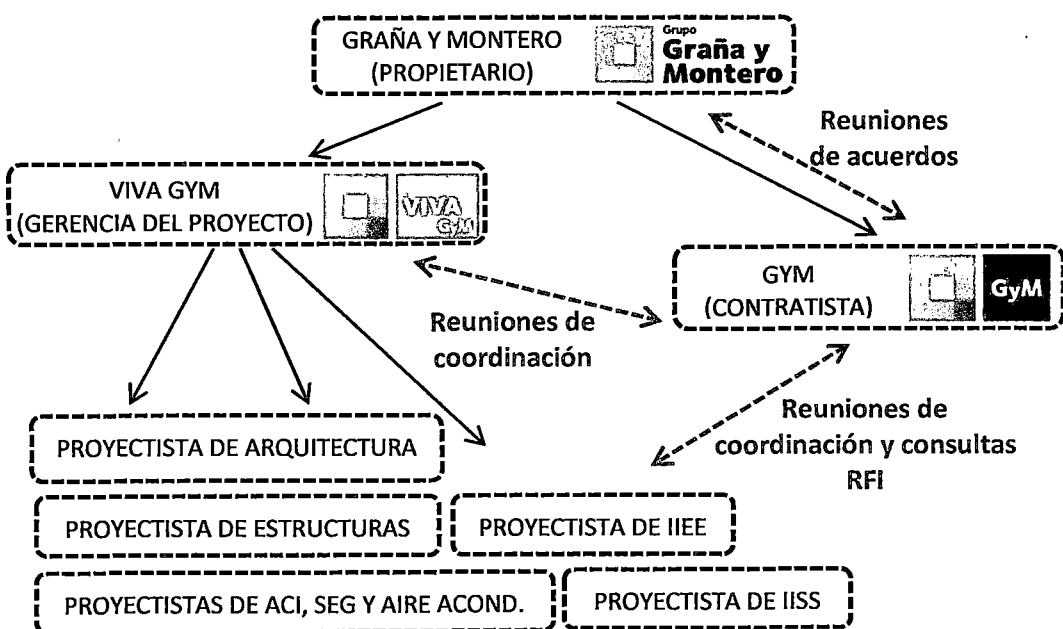


Figura 2.4: Organización general del proyecto en la fase de construcción (elaboración propia).

2.5 CERTIFICACIÓN VDC DE LOS INGENIEROS DE LA CONTRATISTA

En Septiembre del 2012 se realizó por primera vez en Lima el programa de certificación en Virtual Design and Construction (VDC) para profesionales, dictado por el Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) de Stanford y la empresa Strategic Project Solutions (SPS). En este programa solo 7 ingenieros civiles peruanos recibieron la certificación VDC de los cuales 3 ingenieros fueron de la Contratista GyM y que pertenecían al equipo de trabajo multidisciplinario del proyecto: el ingeniero residente de la obra, el jefe de ingeniería de oficina técnica y el jefe de soporte BIM. La participación de los ingenieros de la Contratista en el programa ayudó a gestionar el desarrollo de VDC en el proyecto y durante todo el 2013 realizaron lo siguiente:

- 1) Asistencia al curso introductorio al VDC, que fue dictado en Lima en septiembre del 2012 organizado por Capeco y la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Los instructores de Stanford que dieron el curso fueron Martin Fischer, director del CIFE, Leonardo Rischmoller, investigador del CIFE, y Roberto Arbulú director de Servicios Técnicos de SPS.
- 2) Presentaron un plan para la implementación de VDC en el proyecto.
- 3) Participaron de reuniones online, de discusión y retroalimentación con los profesores de Stanford y otros alumnos del programa, relacionadas al estado del avance de la implementación VDC en el proyecto.
- 4) Finalmente asistieron a una experiencia integradora en la Universidad de Stanford durante la cual se realizó una presentación final del trabajo de implementación y de un plan para la siguiente etapa del proyecto VDC a un comité del programa de certificación y a otros alumnos del programa.

CAPÍTULO III: DESARROLLO Y APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA VDC

3.1 METODOLOGÍA VDC EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO

Las organizaciones necesitan desarrollar su propia propuesta de valor para implementar VDC. (Kunz y Fischer, 2012). Tal como lo citan Kunz y Fischer, particularmente el proyecto tuvo que realizar su propuesta de valor para el uso de la metodología VDC, considerando la etapa de Construcción en la cual se estaba implementando, los objetivos trazados en la reunión de compromisos y los recursos disponibles de la empresa para tal fin.

3.1.1 Fases de madures VDC y proceso de integración en el proyecto

Con base en el “modelo de madures VDC” desarrollado en el capítulo I podemos describir las fases de esta iniciativa VDC aplicadas para el proyecto en la etapa de construcción (ver figura N° 3.1). El desarrollo de este capítulo III comprende a las 2 primeras fases de VDC que se aplicaron; la fase 1 “Visualización y métricas” se describe en los capítulos 3.2 y 3.3 y la fase 2 “Integración” se describe en los capítulos 3.4, 3.5 y 3.6. La fase 3 “Automatización” es la fase que no se desarrolló y a la cual debe llegar la empresa Contratista con el uso de la metodología VDC en más proyectos de edificaciones (ya que se requiere un mayor esfuerzo y especialización).

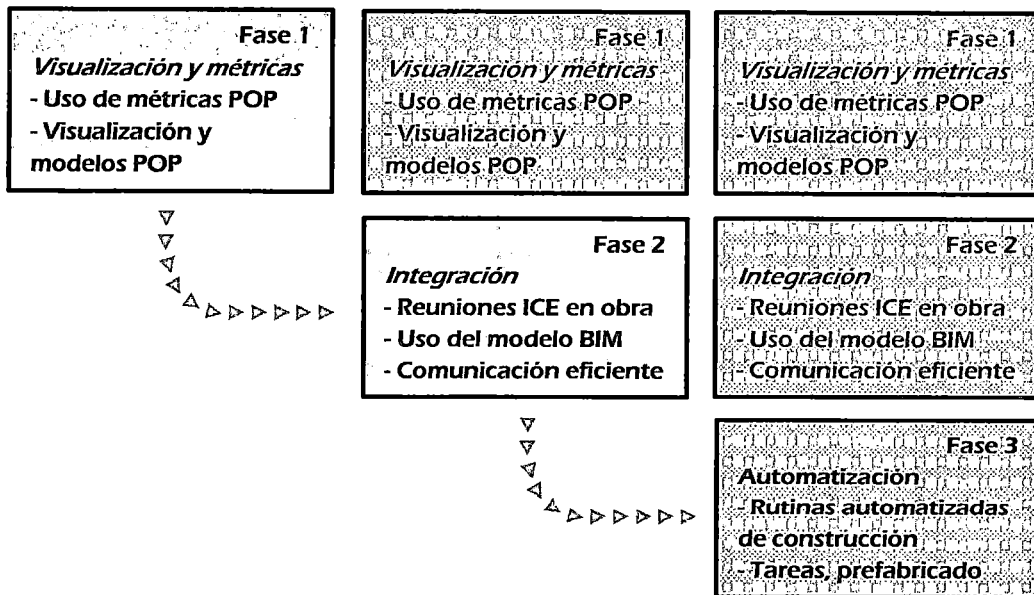


Figura N° 3.1.: Representación esquemática de las 2 primeras fases de implementación VDC que se realizaron en el proyecto. Sin considerar la fase 3 que requiere un nivel más de desarrollo.

(Elaboración propia)

La primera fase, “Visualización y métricas”, consistió en la creación de las visualizaciones que fueron usadas en la fase de construcción como los modelos POP descritos en el acápite 3.3. La mayoría de estas visualizaciones fueron creadas por el área de soporte BIM de la contratista y las restantes fueron elaboradas por un modelador BIM en campo. Además, esta fase comprendió la utilización de métricas POP de procesos y resultados, descritas en el acápite 3.2, para predecir y medir el desempeño de las actividades con respecto al producto, la organización y los procesos durante todo el proyecto. Esta fase requirió el esfuerzo de los ingenieros jefe del área de soporte BIM, Jefe de ingeniería e Ingeniero Residente.

La segunda fase, “Integración”, tal como su nombre lo indica consistió en la integración de las visualizaciones y modelos entre los actores del equipo multidisciplinario. Los datos e información del proyecto se intercambiaron e integraron mediante el apoyo de la computadora y las aplicaciones de software modernos para gestionarlos con un modelo BIM. Y se realizaron todas las reuniones ICE entre los interesados del proyecto para mejorar la comunicación, resolver las deficiencias del diseño y agregar valor al producto. Esta fase requirió el esfuerzo del equipo de la construcción, es decir, de la contratista.

La tercera y última fase es la de "Automatización". Fase que no se desarrolló en el proyecto y que debería apuntar a la automatización de la construcción mediante tareas rutinarias que ya no requieran mucho del análisis de los actores del equipo. Además esta fase busca la prefabricación del edificio, para que el edificio sea diseñado, prefabricado y montado dando lugar a una mayor eficacia y a la disminución del tiempo de la fase de construcción. En esta fase se espera que el equipo de la construcción ahorre tiempo y esfuerzo.

Tal como ocurrieron en otras empresas que usaron VDC, el proceso de implementación VDC normalmente se desarrolla de manera gradual debido a que responde en parte a una evolución natural con el uso de la metodología. Esta evolución está directamente relacionada a diversos factores tales como el nivel de desarrollo de la empresa, el desarrollo en la construcción del país y el trabajo de la alta dirección en obtener importantes recursos para poner en práctica los métodos VDC.

Por lo tanto, de acuerdo a experiencias previas, la empresa contratista buscó aplicar de manera gradual la metodología VDC, al comienzo de una forma básica aplicada en el proyecto en estudio, e ir evolucionando con el uso de estas nuevas herramientas para la gestión de sus proyectos (ver anexo 04).

El proceso de integración o trabajo en VDC se muestra en la figura N° 3.2 y fue el siguiente:

(1) Compatibilización y replanteo de los documentos de diseño, reuniones ICE para los cambios originados por el cliente (ingeniería de valor propuesta) e identificación y solución de los RFIs. Elaboración de métricas y modelos POP.

(2) Integración del producto y los procesos, plasmando la información correcta en los modelos POP (modelo BIM) y generando la mayor cantidad de ingeniería resuelta (planos as-built).

(3) Reuniones de coordinación para la ejecución de las actividades con el uso de modelos 4D.

(4) Apoyarse de los modelos POP desarrollados para una construcción eficaz.

(5) Elaborar un As-built del modelo BIM del edificio y usarlo para la etapa operación.

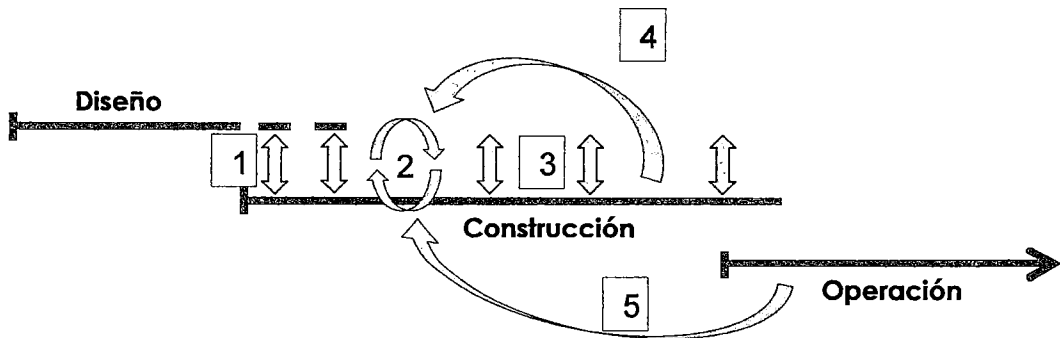


Figura N° 3.2.: Proceso de Integración en el proyecto (elaboración propia)

3.1.2 ¿Cómo el VDC contribuye a terminar la ingeniería en el proyecto?

El uso de esta metodología en la fase de construcción permitió integrar procesos complejos en la obra que tradicionalmente permanecían separados y generaban incertidumbre. Sus métodos ayudaron a detectar deficiencias del diseño de una manera más anticipada a la construcción con la ayuda de la tecnología y mejoró la comunicación de la información del proyecto, la dinámica principal se basó en el siguiente concepto:

“Construir 2 veces, primero de manera virtual donde podemos hacer muchas iteraciones hasta encontrar la solución ingenieril óptima de cualquiera de las actividades críticas y segundo ejecutar la construcción real plasmando el modelo virtual en campo con menores tiempos, menores costos y mayor calidad”.

Si se tiene mucha información para mostrar y compartir, se debe cumplir con las herramientas de gestión que permitan apreciar esta información y para tal, el uso de la metodología BIM en el proyecto fue muy importante.

Tal como señala Alcántara (3) los beneficios del uso de BIM en la construcción son:

- La revisión visual del diseño del proyecto.
- Realizar análisis visuales o automatizados de interferencias físicas entre los diseños (detección de interferencias).
- Obtener reportes de cantidades de materiales (metrados).
- Intercambio electrónico de datos de diseño con proveedores (e.g. para detalles y fabricación de acero estructural, prefabricación de instalaciones).
- Simulación del proceso constructivo BIM-4D.
- Con la tecnología del edificio virtual, los propietarios están en una posición privilegiada que confirma la importancia de su papel, no sólo en los inicios del diseño de edificios, sino también en su planteamiento, mantenimiento y operación a largo de su ciclo de vida.

Todos estos beneficios que nos da el uso de BIM para la construcción fueron aprovechados por la contratista y el tema de poder visualizar el proyecto con el modelo BIM (3D + información) y los proceso constructivos en 4D fueron claves para ir resolviendo la ingeniería anticipadamente y eficazmente (ver figura N° 3.3).

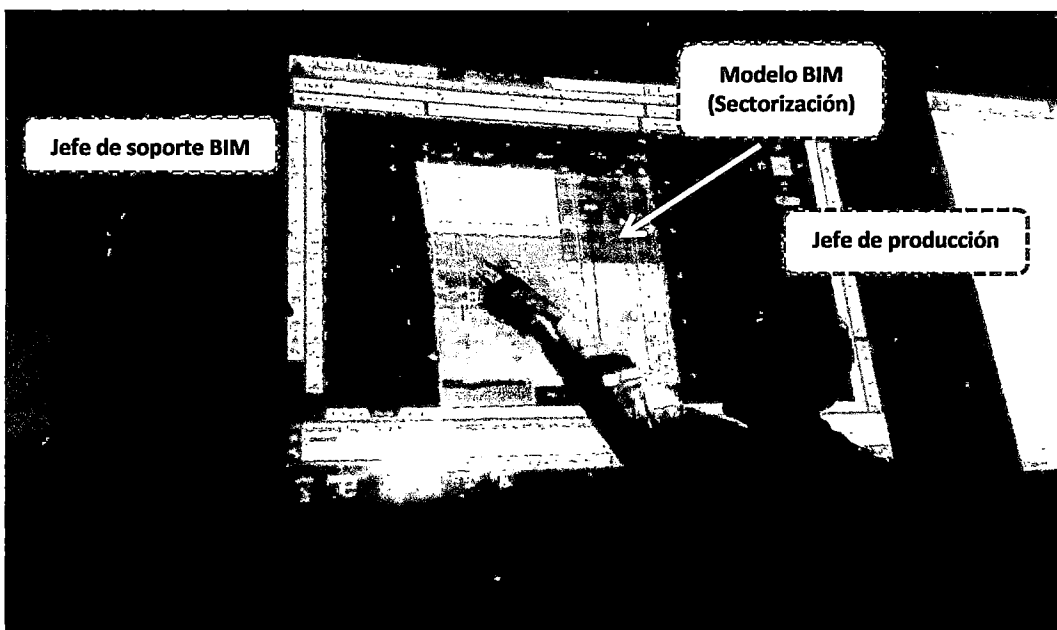


Figura N° 3.3.: Trabajo de planificación en obra.

Construcción virtual vs construcción real

Los modelos de VDC son virtuales porque ellos muestran en el computador descripciones del proyecto. (Kunz y Fischer, 2012).

En la teoría de la ingeniería de requerimientos, una parte de los requerimientos es la del *usuario final*, como expresión de los servicios y restricciones que debe ofrecer el producto que necesita. A su vez el *requerimiento del usuario final* contiene los requerimientos relativos al producto el cual incluye en primer lugar a la finalidad del producto o servicio que pretende el cliente.

Estos dos puntos mencionados son los principales para entender uno de los beneficios VDC de poder obtener la visualización del proyecto antes de ser construido, lo cual ayuda mucho en la comunicación y en la resolución de la ingeniería. El primer punto señala uno de los aspectos de VDC que es manejar la información mediante un modelo del producto final construido virtualmente siguiendo las especificaciones y los procedimientos constructivos. El segundo punto se refiere a uno de los aspectos fundamentales de la política implementada por la contratista de integrar al cliente a la construcción y que este pueda participar visualizando el producto final.

La figura N° 3.4 muestra un comparativo entre un sector real del sistema de desagüe vs el mismo sector del sistema de desagüe construido virtualmente. El Modelo BIM fue actualizado en la obra por la contratista con información resuelta por el cliente y proyectistas para mejorar las coordinaciones de trabajo en campo entre contratista y subcontratista.

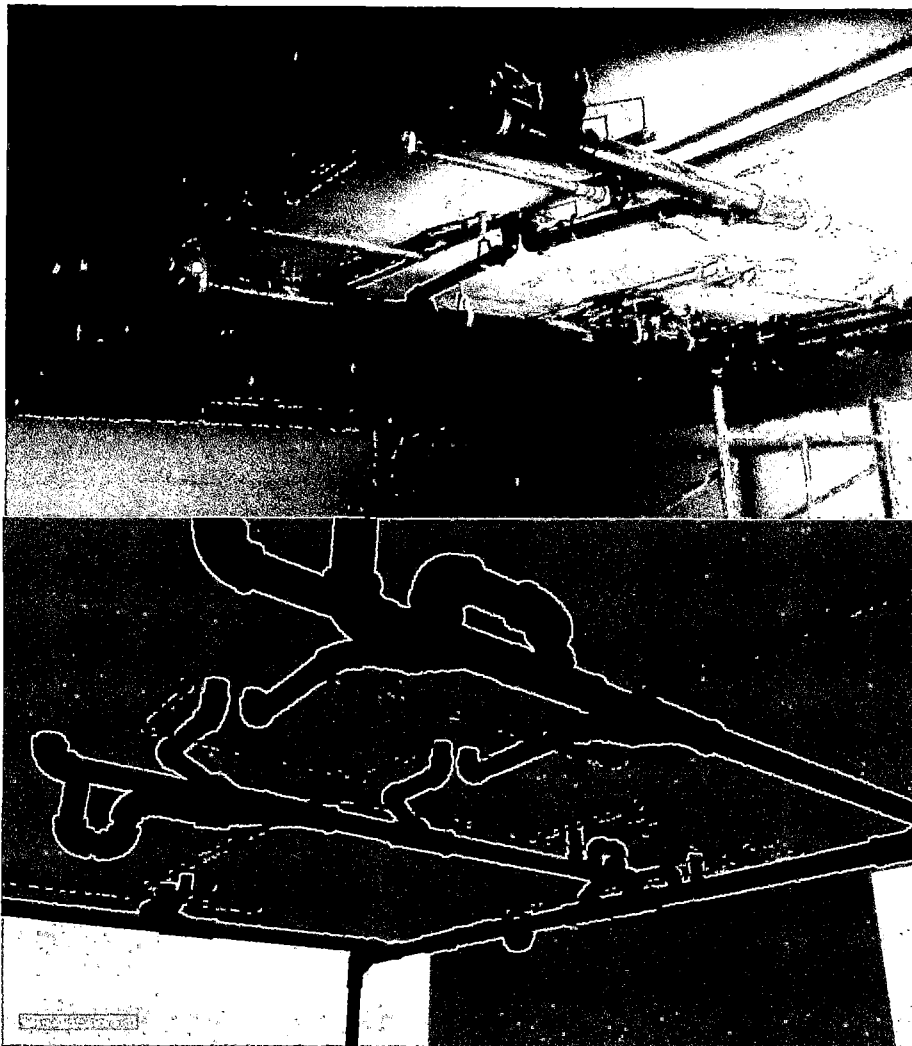


Figura N° 3.4.: Construcción real vs construcción virtual del sistema de desagüe del proyecto.

A continuación se presenta una serie de fotografías del avance de la construcción de la obra tomadas cada 2 meses, que pueden ayudar a visualizar y entender en el avance del tiempo como se iba resolviendo la ingeniería.

La figura N° 3.5 es una fotografía tomada en Junio del 2013 desde una perspectiva diagonal donde se aprecia la construcción del primer sector del cuarto piso (solo casco), el sistema de abastecimiento del concreto premezclado con mixer y la colocación de las prelasas con la grúa torre a medida que avanza el sector. Se contaba con Estructuras al 65% e Instalaciones al 20%.

La figura N° 3.6 es una fotografía tomada en Agosto del 2013 donde ya se estaba terminando la construcción del casco (Estructuras 95%), ya se había

empezado con las colocaciones de los muros cortinas (Arquitectura 8%) y las instalaciones aun en un 30%. Fueron importantes las coordinaciones anticipadas con el equipo de arquitectura.

La figura N° 3.7 es una fotografía tomada en Octubre del 2013 donde ya se tiene el casco construido (Estructuras 100%), los muros de concreto laterales completos y el muro cortina de la fachada casi terminada en un 60% (Arquitectura 28%). Interiormente se tenía un 45% de las instalaciones.

La figura N° 3.8 es una fotografía de la construcción virtual (Modelo BIM) que tiene la misma perspectiva de las fotografías reales. Esta visualización se pudo obtener desde el inicio de la construcción (Marzo 2013) ya que se tenía la fachada y la estructura definidas en el modelo, sin embargo el modelo BIM de arquitectura todavía no estaba actualizada al 100%.

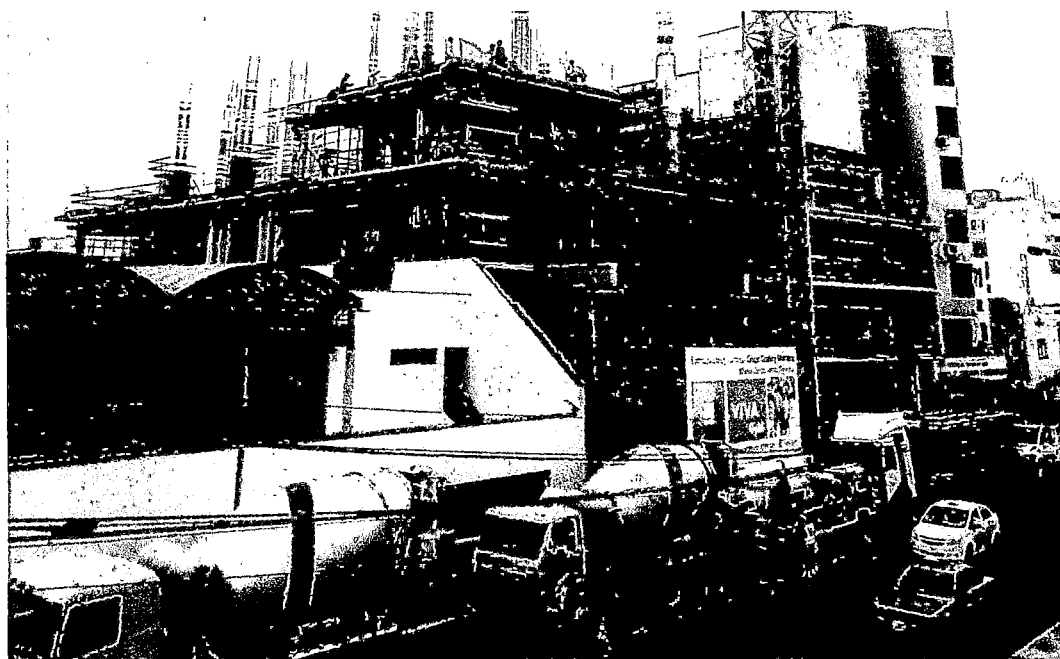


Figura N° 3.5.: Avance de la construcción de la obra en Junio del 2013.

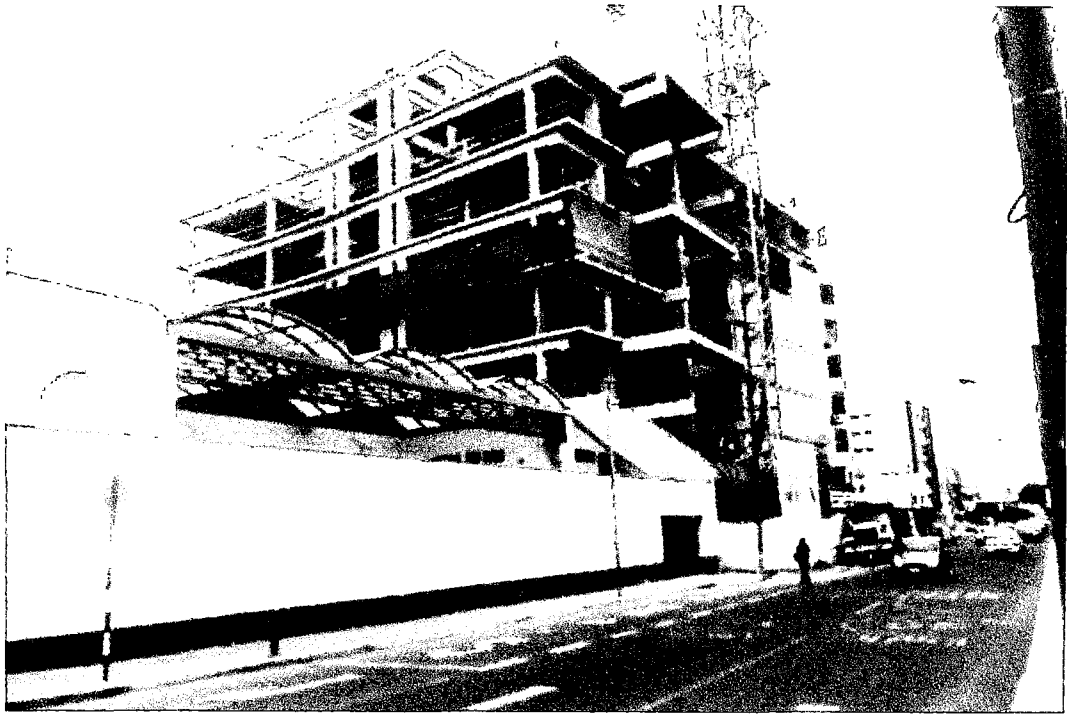


Figura N° 3.6.: Avance de la construcción de la obra en Agosto del 2013.



Figura N° 3.7.: Avance de la construcción de la obra en Octubre del 2013.

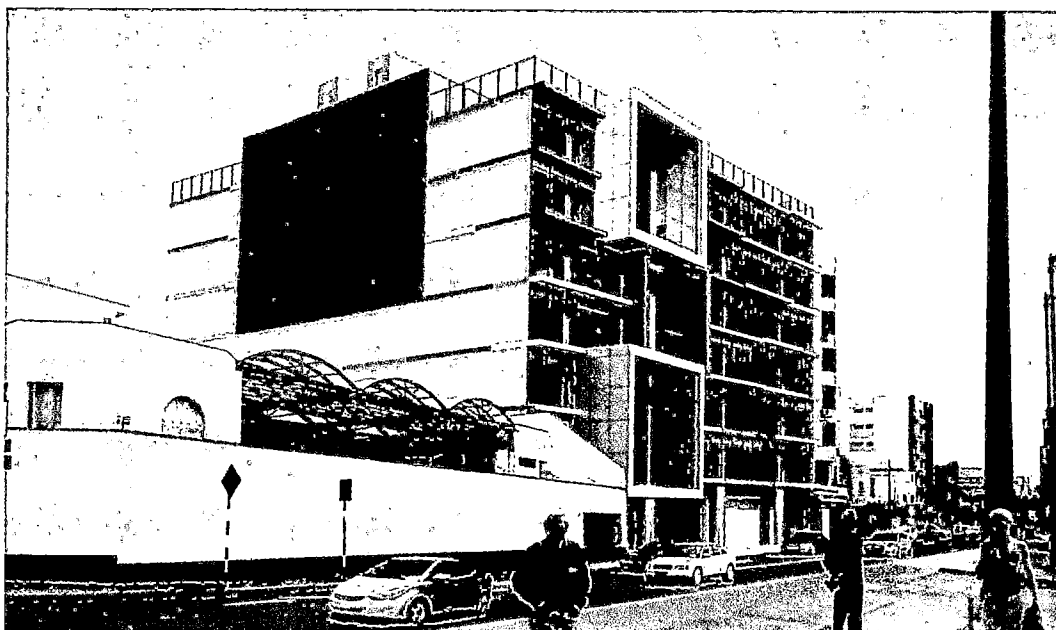


Figura N° 3.8.: Construcción virtual de la obra en Marzo del 2013 (obtenida a inicios de la ejecución del proyecto).

3.2 DETERMINACIÓN DE LAS MÉTRICAS POP EN EL PROYECTO

Al inicio de la etapa de construcción el equipo de trabajo tiene una serie de métodos y herramientas con las cuales pretenden llevar a cabo el desarrollo, planeamiento y control de la obra, con indicadores que puedan mostrar en números los resultados de las labores realizadas en cumplimiento de los objetivos trazados. Métodos y herramientas de la filosofía Lean Construction como la ingeniería de requerimientos, el mejoramiento continuo, reducción de la variabilidad, flujos de valor, trenes de trabajos, last planner, look ahead, etc. Sin embargo para la teoría VDC hace falta definir un modelo POP al inicio y que el equipo reconozca cuales son los valores medibles de producto, procesos y organización, las cuales son llamadas métricas.

El propósito de las métricas POP es predecir o medir el rendimiento del producto, Organización y Procesos (Kunz y Fischer, 2012).

Las métricas POP se pueden utilizar para hacer una evaluación del rendimiento del Producto, Organización y Procesos en todo momento durante el proceso de diseño y construcción. Los actores involucrados en el proceso de diseño y

construcción pueden utilizar esta evaluación para gestionar y dirigir el proceso a lo largo del camino. (Schrama, 2011).

Durante el proyecto de investigación, el equipo no tenía el nivel de madurez en conocimiento sobre la metodología VDC por lo cual la directriz de la aplicación dependió de los ingenieros residente y jefe de ingeniería quienes manejaron la metodología y usaron diferentes tipos de métricas para medir el rendimiento de la mayoría de actividades en la obra. Las métricas que se utilizaron fueron las métricas de resultado y las métricas de proceso, relacionadas al producto, proceso y organización.

Según la teoría, las métricas POP se pueden definir para diferentes niveles de detalle (Schrama, 2011). El nivel de detalle requerido para las métricas en el proyecto fue el respectivo para la etapa de construcción. Asimismo una lista de ejemplos de las diferentes métricas de producto, proceso, organización y sus valores medibles fueron proporcionados por los ingenieros del proyecto que participaron del programa de certificación en VDC por el CIFE de Stanford en el 2013. Estas métricas se usaron como base para determinar las métricas en el proyecto y para el entendimiento de los involucrados, como las que se detallan a continuación:

Métricas de proceso de la tabla N° 3.1: como definir y monitorear el éxito del progreso en intervalos cortos.

Tabla N° 3.1.: Ejemplo de métricas POP de proceso y sus valores medibles desarrollados por el CIFE de Stanford.

Nombre objetivo	Valor objetivo	Tolerancia: +/-	Interesados que ven los datos	Frecuencia de recopilación	Peso objetivo	Predicción / valor medido	Estado evaluado
PRODUCTO							
Conformidad del costo para el plan (actual-previsto / previsto)	90	5	-Cliente -Ing. de presupuesto	mensual	10	90	3
Conformidad de calidad BIM a los elementos de la especificación BIM	85	5	- Equipo BIM - Ing. de control	semanal	15	78	2
Versiones de diseño que tienen modelos explícitos y rendimiento predicho (cantidad)	5	1	- Ing. proyectista - Ing. de la contratista	mensual	5	5	3
Conformidad de la calidad de los elementos instalados según las especificaciones (% de ítems con calificación > = 4)	95	5	- Ing. de la contratista - Ing. de calidad - Ing. de supervisión	mensual	15	95	3
ORGANIZACIÓN							
Conformidad del costo para el plan (actual-previsto / previsto)	80	10	-Jefe de control -Contratista	mensual	10	83	3
Conformidad de calidad de equipos y personas para hacer el trabajo previsto (% con calificación >=4)	80	10	- Jefe de control -Contratista - Recursos humanos	semanal	15	66	2

NOMBRE OBJETIVO	VALOR	+/-Δ	INTERESADOS	FREC.	PESO	MED.	E.E.
Reunión de compromiso de las partes interesadas que eran oportunas y significativas (%)	80	10	- Cliente - Contratista - Gerente de proyecto	semanal	5	0	1
Fracción del personal del proyecto entrenado en VDC (% del total)	90	10	- Contratista - Gerente de proyecto	mensual	10	70	2
PROCESO							
Conformidad de la programación con el plan (%)	80	10	- Contratista - Ing. de campo	semanal	10	83	3
Conformidad de calidad BIM a los elementos de la especificación BIM	80	10	- Equipo BIM - Ing. de control	mensual	15	75	3
Versiones de diseño que tienen modelos explícitos y rendimiento predicho (cantidad)	4	1	- Ing. proyectista - Contratista	mensual	5	5	3
Fracción del personal del proyecto que monitorea las métricas, modelos y diseños (%)	80	10	- Ing. de control - Contratista	mensual	5	80	3
Latencia: % de respuestas recibidas <=1 día	80	5	- Ing. de control - Contratista	mensual	10	85	3
Latencia: % de decisiones recibidas <=2 días	85	5	- Ing. de control - Contratista	mensual	10	90	3
Fracción de conjuntos prefabricados que tienen <=1 día de instalación (%)	70	10	- Ing. de campo - Contratista - Supervisión	mensual	10	80	3

Métricas de resultado de la tabla N° 3.2: definiciones de éxito para los principales hitos y la finalización del proyecto.

Tabla N° 3.2.: Ejemplo de métricas POP de resultado y sus valores medibles desarrollados por el CIFE de Stanford.

Nombre objetivo	Valor objetivo	Tolerancia: +Δ	Interesados que ven los datos	Frecuencia de recopilación	Peso objetivo	Predicción / valor medido	Estado evaluado
PRODUCTO							
Conformidad del costo para el plan (actual-previsto / previsto)	100	5	- Cliente - Ing. de presupuesto	mensual	10	106	2
Conformidad de la calidad para el plan (% de ítems especificados con calificación >=4)	100	5	- Contratista - Ing. de calidad - Ing. de supervisión	Principal hitos	15	96	3
Seguridad (# de incidentes)	0	0	- Ing. seguridad	Principal hitos	15	1	1
ORGANIZACIÓN							
Conformidad del costo para el plan (actual-previsto / previsto)	100	5	- Contratista - Ing. de control	mensual	10	91	2
Participación de los interesados de manera oportuna y significativa (%)	90	5	- Contratista - Gerencia de proyecto	Principal hitos	10	80	2
Preparación individual: participantes que informaron que entendían el contenido del diseño del modelo y su razón (%)	90	5	- Contratista - Ing. de control - Proyectista	Principal hitos	10	99	2
Preparación del equipo: participantes que afirman que otros miembros del equipo llegaron preparados para las reuniones (%)	90	5	- Contratista - Ing. de control - Proyectista	Principal hitos	10	99	2

NOMBRE OBJETIVO	VALOR	+ Δ	INTERESADOS	FREC.	PESO	MED.	E.E.
PROCESO							
Conformidad de la programación con el plan (%)	100	5	-Contratista -Ing. de campo	Principal hitos	10	99	1
Volumen de retrabajo (% del total)	2	2	-Contratista -Ing. control	Principal hitos	5	3	3
Fracción de elementos instalados que fueron prefabricados y tomó ≤ 1 día de instalación (%)	50	5	-Contratista -Ing. de campo - Supervisión	Principal hitos	10	39	1
RFIs de campo (cantidad)	400	20	-Contratista -Ing. control -Ing. campo	Principal hitos		450	2

Explicación de los títulos de las tablas N° 3.1 y N° 3.2:

El Nombre objetivo es el nombre de la métrica que se va a usar y el valor objetivo es el valor trazado por el equipo como un estándar para el cumplimiento. Existe una tolerancia (+ Δ) que se da para evaluar a cada métrica. Cada métrica es seguida por los interesados que ven los datos y la recopilan con cierta frecuencia (semanal, quincenal, mensual). El peso objetivo es un valor referencial de la importancia que el interesado le da a cada métrica (5, 10, 15 o 20) y el valor medido es el dato recogido (real) de la métrica en el proyecto. Finalmente se evalúa el estado de la métrica en el proyecto con las siguientes formulas:

- Verde (3), bueno; si el valor medido se encuentra dentro del rango de tolerancia (dentro de + Δ).
- Amarillo (2), regular; si el valor medido se encuentra fuera del rango de tolerancia (fuera de + Δ) pero no excede al valor de 2 veces la tolerancia (no pasa de +2 Δ).
- Rojo (1), malo; si el valor medido excede el valor de 2 veces la tolerancia (fuera de +2 Δ).

En algunos casos los estados evaluados se deben ajustar a la naturaleza de la métrica ya que sobrepasar el rango de tolerancia hacia arriba puede resultar favorable como por ejemplo detectar muchos más RFIs del objetivo, o sobrepasar el rango de tolerancia para abajo también puede resultar favorable como por ejemplo reportar muchos menos cantidades de incidentes en la obra que el objetivo.

3.2.1 Métricas POP usadas en el proyecto

Tal como se observa en las tablas N° 3.1 y N° 3.2 de las métricas proporcionadas por el CIFE de Stanford podemos inferir que estas pertenecen a un contexto de construcción de edificaciones diferente al nuestro, donde los valores objetivo tan positivos fueron resultado de sus mejoras continuas y los altos niveles de ingeniería que se practicaba en sus proyectos. Sin embargo algunas de estas métricas fueron tomadas como base (más no sus valores objetivos) y otras métricas fueron propuestas por los ingenieros VDC del proyecto en relación a estas; y dependiendo al contexto en el que nos encontramos y a las necesidades del proyecto desarrollaron las siguientes tablas N° 3.3 y N° 3.4 de métricas:

a) Métricas de proceso

Como definir y monitorear el éxito del progreso en intervalos cortos para el proyecto en estudio.

Tabla N° 3.3.: Métricas de proceso usadas por los principales involucrados en la aplicación de la metodología VDC para el proyecto (elaboración propia).

Descripción (Métrica)	N°	Valor objetivo	Interesados que vieron los datos	Frecuencia de uso	Tiempo de uso
PRODUCTO					
Actualización del modelo	1	90% de las RFIs incorporadas en el modelo cada fin de mes	Jefe de Ingeniería	mensual	Diciembre 2012 – Diciembre 2013
Entrega del modelo as-built para la operación	2	100% del modelo ejecutado 15 días después de la finalización del proyecto	Jefe de Ingeniería	trimestral	Diciembre 2012 – Diciembre 2013
Cantidad de nuevas oportunidades para mejorar el resultado de la construcción	3	>= 4	Ing. Residente	mensual	Enero 2013 – Mayo 2013
Obtener cantidades a través del modelo	4	70%	Ing. de control de proyectos	al final de cada modelado	Diciembre 2012 – Enero 2013
Seguimiento de la actualización del modelo	5	Actualizar >90% de RFIs resueltas cada mes	Jefe del área de soporte BIM	mensual	Marzo 2013 – Septiembre 2013
ORGANIZACIÓN					
Garantizar el flujo de nuestras actividades a través de las reuniones ICE	6	Disminuir a 0 las no conformidades de proceso e información en el sitio de trabajo	Ing. Residente	semanal	Febrero 2013 – Diciembre 2013
Aumentar y asegurar la innovación y la ingeniería de la construcción	7	Tenemos que encontrar 4 nuevas oportunidades para mejorar el resultado de la construcción	Ing. Residente	mensual	Enero 2013 – Agosto 2013
Reuniones ICE para revisar el look ahead y metrados del sector	8	100%	Jefe del área de soporte BIM	semanal	Febrero 2013 – Mayo 2013
Implementar el uso de un modelo BIM en reuniones de programación semanal	9	75% de todas las reuniones semanales	Jefe del área de soporte BIM	semanal	Julio 2013 – Octubre 2013
Monitoreo de la utilización de herramientas BIM	10	>90% por el personal	Jefe del área de soporte BIM	mensual	Febrero 2013 – Octubre 2013

Descripción (Métrica)	N°	Valor objetivo	Interesados que vieron los datos	Frecuencia de uso	Tiempo de uso
PROCESO					
Promedio de respuesta de RFIs en la ejecución del proyecto	11	≤ 7 días (actual 15 días)	Jefe de Ingeniería – Ing. Residente	mensual	Enero 2013 – Diciembre 2013
Levantamiento de RFIs-BIM antes de iniciar el proyecto	12	100% de RFIs-BIM 3 meses después de la entrega del modelo	Jefe de Ingeniería	bimensual	Diciembre 2012 – Julio 2013
RFIs de ingeniería	13	Durante la construcción los RFIs de ingeniería serán solo el 10% del total	Ing. Residente	mensual	Febrero 2013 – Agosto 2013
Detectar las interferencias geométricas de los proyectos durante el proceso de modelado	14	80%	Ing. de control de proyectos	mensual	Diciembre 2012 -
Promedio de respuestas de RFIs	15	3 días (normalmente 15 días)	Ing. de control de proyectos	mensual	Diciembre 2012 – Enero 2013

b) Métricas de resultado

Para los principales hitos y la finalización del proyecto en estudio.

Tabla N° 3.4.: Métricas de resultado usadas por los principales involucrados en la aplicación de la metodología VDC para el proyecto (elaboración propia).

Descripción (Métrica)	N°	Valor objetivo	Interesados que vieron los datos	Frecuencia de uso	Tiempo de uso
PRODUCTO					
Delta de beneficio proyectado. Ganancia en costos para la contratista	16	≥ 2%	Ing. Residente	mensual	Mayo 2013 – Diciembre 2013
Conseguir un modelo BIM de la construcción (estructura)	17	100%	Jefe del área de soporte BIM	Al final	Febrero 2013 – Finalización de la etapa de construcción
ORGANIZACIÓN					
Añadir valor a los clientes a través de mejoras de ingeniería en los proyectos.	18	4 mejoras de ingeniería (100%)	Jefe de Ingeniería – Ing. Residente	bimensual	Diciembre 2012 – Diciembre 2013

Descripción (Métrica)	N°	Valor objetivo	Interesados que vieron los datos	Frecuencia de uso	Tiempo de uso
Aumentar y asegurar la innovación y la ingeniería de la construcción	19	Con reuniones ICE donde tenemos que encontrar 4 oportunidades para mejorar la construcción	Ing. Residente	mensual	Enero 2013 – Mayo del 2013
Realizar la programación semanal del proyecto utilizando un modelo BIM.	20	> 90%	Jefe del área de soporte BIM	semanal	Febrero 2013
Realizar la programación semanal del proyecto utilizando un modelo BIM.	21	> 75%	Jefe del área de soporte BIM	semanal	Marzo 2013 – Junio 2013
Capacitar al personal de producción acerca de las herramientas BIM.	22	> 80%	Jefe del área de soporte BIM	Una vez (al comenzar)	Febrero 2013 – Abril 2013
Tener 2 personas capaces de manejar herramientas BIM al final del proyecto.	23	2 personas	Jefe del área de soporte BIM	Al final	Mayo 2013 – Diciembre 2013
PROCESO					
Identificación de RFIs-BIM antes de comenzar el proyecto	24	>=40 RFIs por mes antes de comenzar el proyecto	Jefe de Ingeniería	mensual	Septiembre 2012 – Diciembre 2012
Identificación de RFIs-BIM antes de comenzar el proyecto	25	>=20 RFIs por mes antes de comenzar el proyecto	Jefe de Ingeniería	mensual	Enero 2013 – Marzo 2013
Solución de las RFIs BIM	26	>= 95 %, 1 mes antes de comenzar las actividades	Jefe de Ingeniería	semanal	Septiembre 2012 – Febrero 2013
Aseguramiento de nuestra política de entrega antes de la fecha límite	27	Medir nuestro progreso sobre la fecha límite	Ing. Residente	semanal	Febrero 2013 – Abril 2013
Delta de cronograma	28	>=2%	Ing. Residente	mensual	Mayo 2013 – Agosto 2013

3.3 VISUALIZACIÓN Y MODELOS POP EN EL PROYECTO

3.3.1 Visualización

La visualización mostró el Producto, la Organización y el Proceso de producción para el proyecto en estudio y es la primera etapa de la aplicación de la metodología VDC, la cual requirió del compromiso y esfuerzo de los líderes de la implementación VDC en el proyecto.

Tal como lo indican Kunz and Fischer, 2012. La visualización es la primera etapa del VDC. La tecnología de programas de cómputo actuales hace que sea relativamente fácil de implementar. El hardware es de fácil acceso, y hay una serie de herramientas de software comercial de alta capacidad, todo a un precio aceptable (aunque no barato). Encontramos que la visualización es, por ahora la forma más eficaz para que los interesados puedan describir y explicarse con precisión y analizar en sus mentes su propio trabajo y el de otros.

Por lo tanto, además de darle importancia a la participación en reuniones, asistencia de todos los involucrados, y el contenido de la reunión de gran relevancia, el cumplimiento de la metodología exigió que los participantes sean capaces de explicar sus puntos de vista para que otros entiendan, comprendan y reaccionen de manera constructiva a las decisiones de sus compañeros (ver figura N° 3.9).

El estudio de caso proporcionó una idea de los diferentes tipos de visualizaciones que se usaron durante la etapa de construcción del edificio. Mientras que la teoría VDC describe que las visualizaciones de productos son preferentemente multidimensionales, el equipo de proyecto usó dibujos 2D y 3D.



Figura N° 3.9.: Visualizaciones 2D en el proyecto. Fueron muy provechosos los dibujos 2D para el equipo del proyecto, y también existe cierta reticencia de algunos para el uso del 3D (Diciembre del 2012).

3.3.2 Modelos POP en el Proyecto

Se estableció en el proyecto el objetivo de crear modelos explícitos de aquellos aspectos del proyecto que los ingenieros encargados pudieron gestionar: el producto a ser construido, la organización que hace la construcción, y el proceso de construcción que la organización sigue.

El modelo POP es orientada a objetos en el sentido de que cada elemento P, O y P ha definido el significado (o semántica) de los grupos de interés. Por ejemplo, el modelo del producto define los elementos de construcción, tales como pisos, paredes y vigas, el modelo de la organización define grupos de organización, y el modelo de proceso define las actividades e hitos. (Kunz and Fischer, 2012).

El PhD Claudio Mourgues de Chile indicó sobre los modelos POP en un seminario de Tecnologías en la Construcción dado en Lima (2009) lo siguiente:

“VDC es el uso de modelos POP para apoyar objetivos de negocios y se puede modelar el producto, el proceso y la organización de muchas formas.

Los modelos de producto, representan el producto de construcción y nos referimos al producto a lo que es construido, a lo que nosotros vemos como las

vigas, losas, columnas, etc. Por ejemplo un modelo 3D de un edificio, un sistema de información de la construcción de una carretera en software y una sección típica de las escaleras de un edificio en 2D son modelos de producto.

Los modelos de proceso, representan al proceso de construcción, es decir cómo vamos a construir esos elementos que vemos. Como por ejemplo un modelo 4D de la construcción de paneles Tip Tap, cartas Gantt y diagramas pert son modelos de proceso.

Modelos de Organización, representan a la organización es decir, las personas que van a construir. Como por ejemplo un organigrama de un proyecto con un software que almacene información de las habilidades de cada uno.”

Con respecto a BIM el PHD se refirió que es un modelo de producto en 3D con información e inteligencia, y esto fue relativamente cierto en el proyecto ya que la contratista estaba desarrollando un estándar BIM para todos sus proyectos. También se puede agregar que el uso de BIM en la obra requirió de un conjunto de herramientas, métodos y análisis relacionados con el modelo de producto, ya que no es solamente el modelo mismo, sino de qué manera se iba a usar, como va a ser el flujo de trabajo en el proyecto, organizarse y generar un proceso de trabajo.

A continuación se desarrolla los modelos de producto, proceso y organización, claves para la gestión de VDC de la contratista y que se usaron en el proyecto:

a) Modelos de Producto en el proyecto

Simulación de las plataformas y escaleras de acceso.

Fueron modelados en obra con base al modelo BIM de estructuras para visualizarlas en las reuniones ICE de la obra, y discutir sobre las disposiciones y ubicaciones de estas (duración del uso del modelo: 3 meses). Es un modelo de producto porque representa a las plataformas de acceso a la construcción que se instalaron y sirvió para las coordinaciones con la subcontratista encargada de ejecutarla (ver figura N° 3.10).

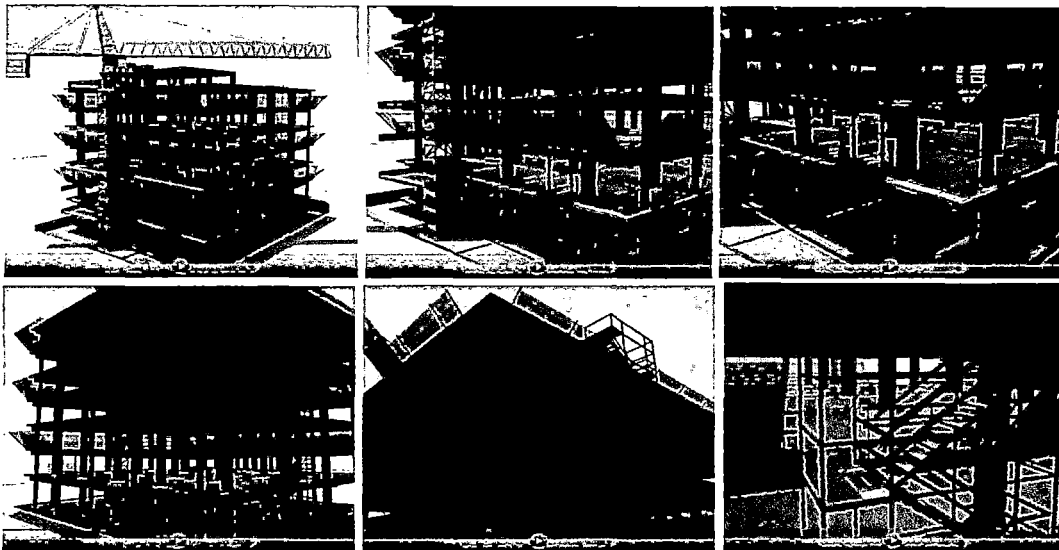


Figura N° 3.10.: Modelado de producto: Plataformas y escaleras de acceso

Modelo BIM del proyecto “Nuevo Edificio Corporativo de Graña y Montero”

Modelo elaborado por el equipo de soporte BIM de la Contratista y que fue actualizado y usado en campo (ver figura N° 3.11). Es un modelo de producto porque contiene toda la información paramétrica de los elementos físicos del proyecto como la tabiquería, vigas, columnas, muros cortina, pilotes, etc. Y contiene a los modelos de todas las especialidades (Arquitectura, Estructuras e Instalaciones).

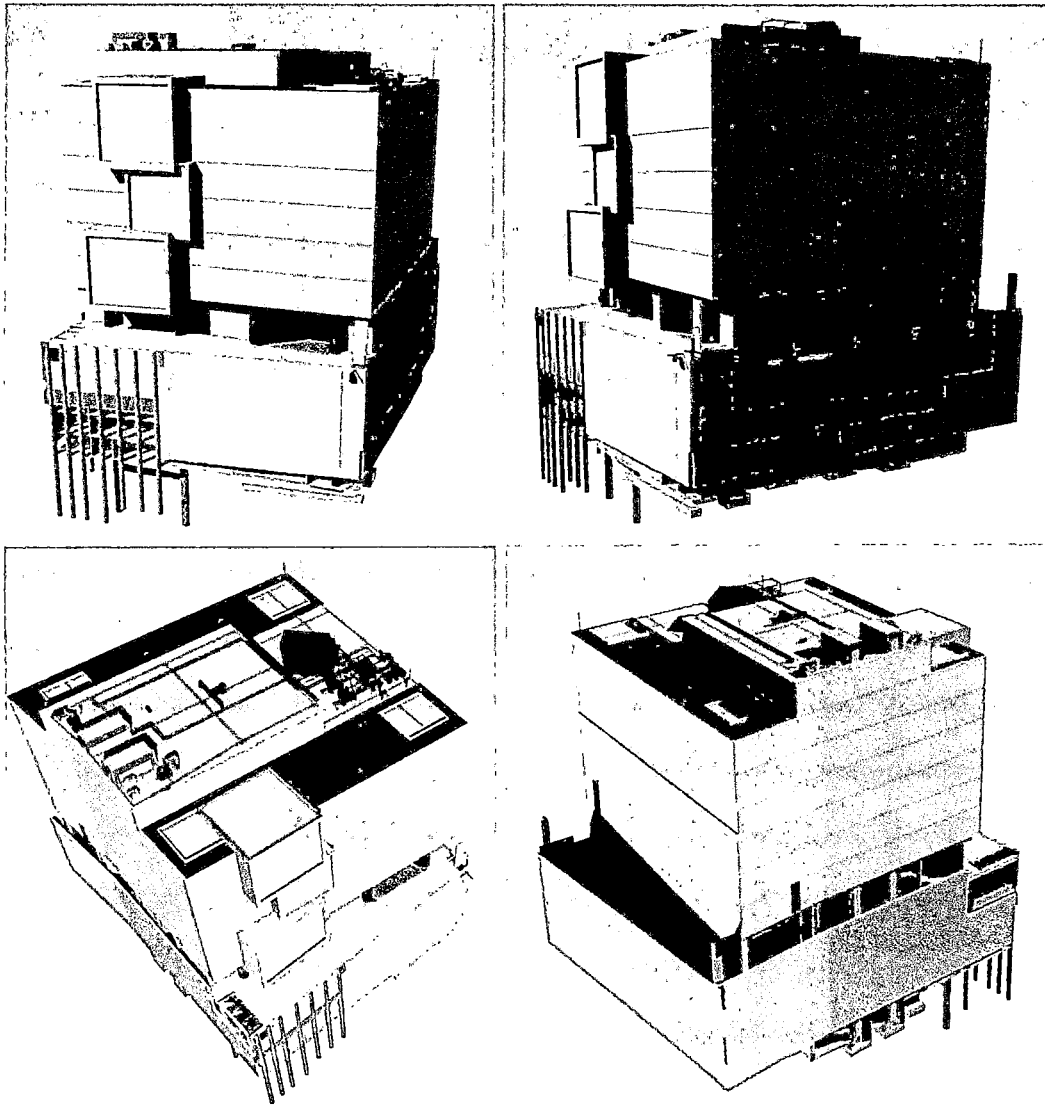


Figura N° 3.11.: Modelo de producto: Modelo BIM completo del proyecto

Modelo BIM de la sectorización

En el proyecto se ensayaron 4 sectorizaciones para obtener la sectorización final y fue plasmada en un modelo de producto que contenía 5 sectores diferenciados tanto visualmente como volumétricamente (información BIM por cada sector) para utilizarlo en la construcción (ver figura N° 3.12).

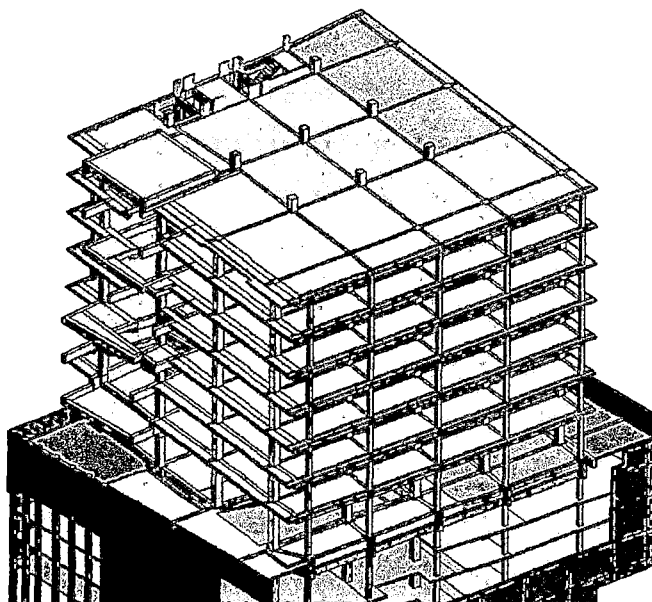


Figura N° 3.12.: Modelo de producto: Sectorización virtual del edificio en BIM

Modelo BIM de Estructuras

Es una parte del modelo global y representa a todos los elementos de la especialidad de estructuras (Columnas, vigas, losas postensadas, pilotes de la subestación, etc.). Usado para la visualización del equipo de construcción y el sectorizado por parte del área de Producción en la obra (ver figura N° 3.13).

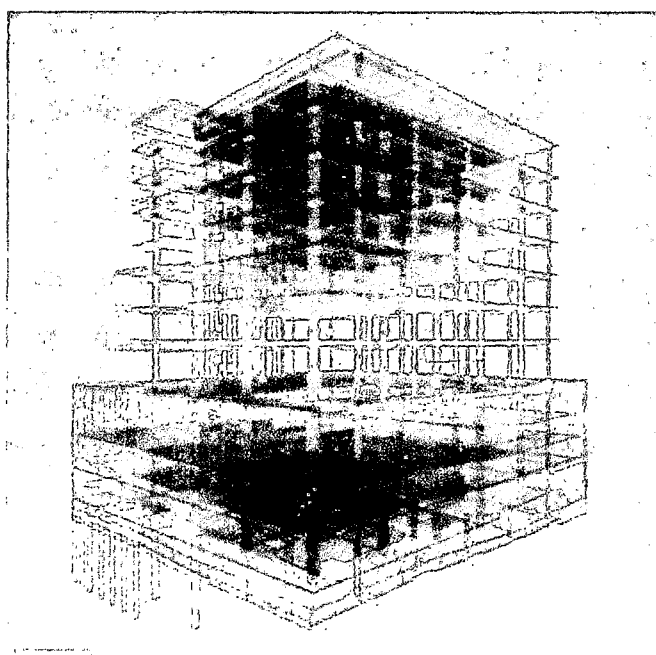


Figura N° 3.13.: Modelo de producto: Modelo BIM de la estructura

Modelo BIM de las Instalaciones

Los modelos de las instalaciones (Agua contra incendio, Instalaciones eléctricas, Instalaciones Sanitarias, etc.) representaron modelos de productos en el proyecto porque contenían información compatibilizada de las instalaciones y se podían visualizar tridimensionalmente para una mejor comunicación entre Contratista y Sub Contratistas (ver figura N° 3.14).

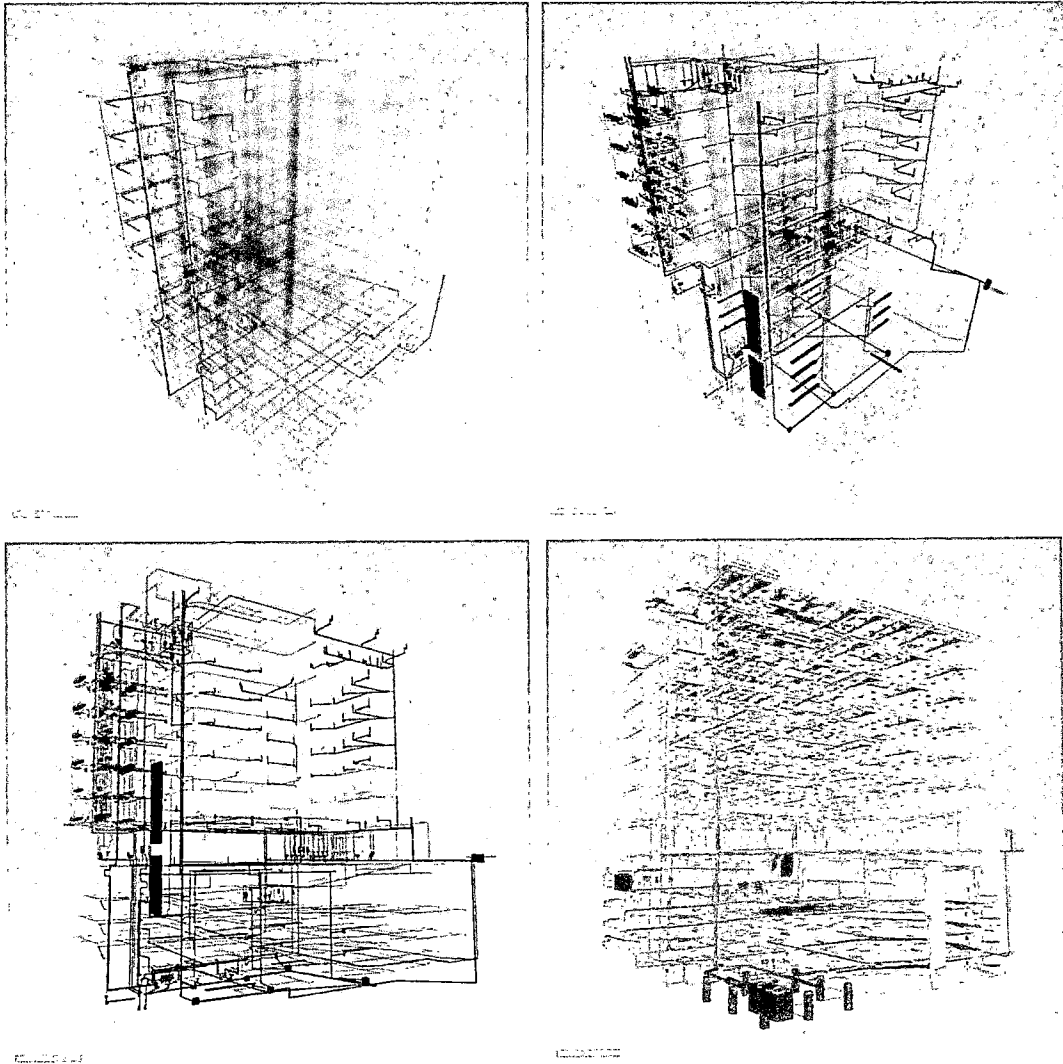


Figura N°: 3.14.: Modelo de producto: Información virtual de las instalaciones con BIM

Análisis de las losas postensadas

Se analizó los espesores de las losas postensadas versus las cargas vivas y muertas con la subcontratista encargada de construirla y se modelaron para visualizarlas en las reuniones de coordinación, el tiempo de uso de este modelo fue de 2 meses. Ayudó a definir el nivel de la profundidad de los sótanos y del pilotaje (ver figura N° 3.15).

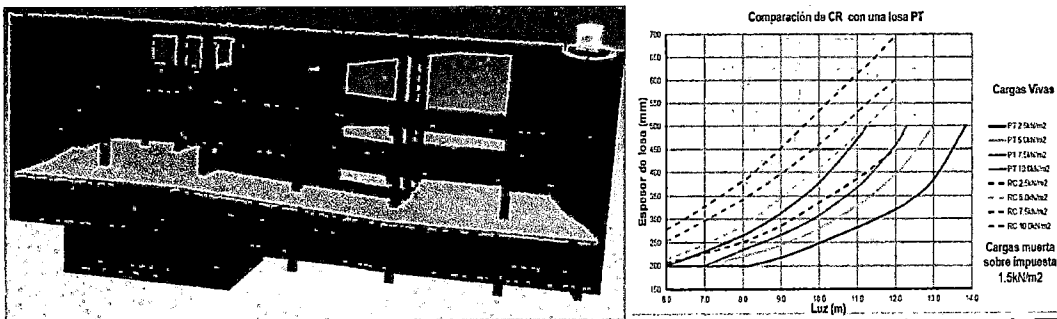


Figura N° 3.15.: Modelo de producto: Modelamiento de las losas postensadas

b) Modelos de Organización en el Proyecto

Diamante de emoción del usuario

El diamante de las emociones del equipo es una evaluación VDC y representaba el estado de la organización a medida que avanzaba el tiempo del proyecto en estudio (ver figura N° 3.16). Fueron calificados a criterio del ingeniero residente y del jefe de ingeniería para ser reportados a la gerencia y al programa de certificación VDC (CIFE).

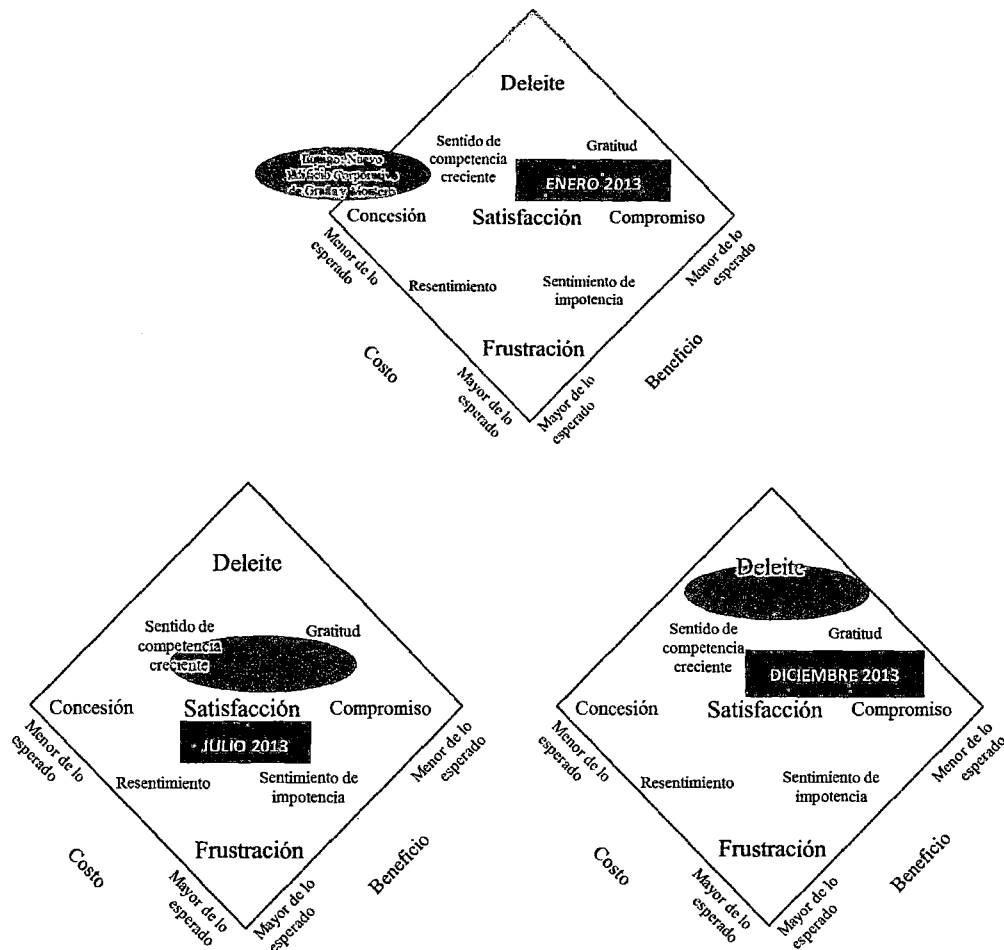


Figura N° 3.16.: Modelo de organización: Diamante de emoción del equipo

En este proyecto no se definieron más modelos VDC relacionados a la organización ya que resultó más difícil su entendimiento para el equipo y se enfatizó en desarrollar los modelos de producto y procesos.

c) Modelos de Proceso en el Proyecto

Construcción de la subestación de energía y sus pilotes

En el proyecto se requirió visualizar la construcción de la sub estación de energía y su reubicación mediante pilotes. Este es un modelo de proceso, porque representó al proceso constructivo en 4D y como se iba construyendo cada elemento de las partidas en el tiempo. El modelo se usó durante 5 meses (ver figura N° 3.17).

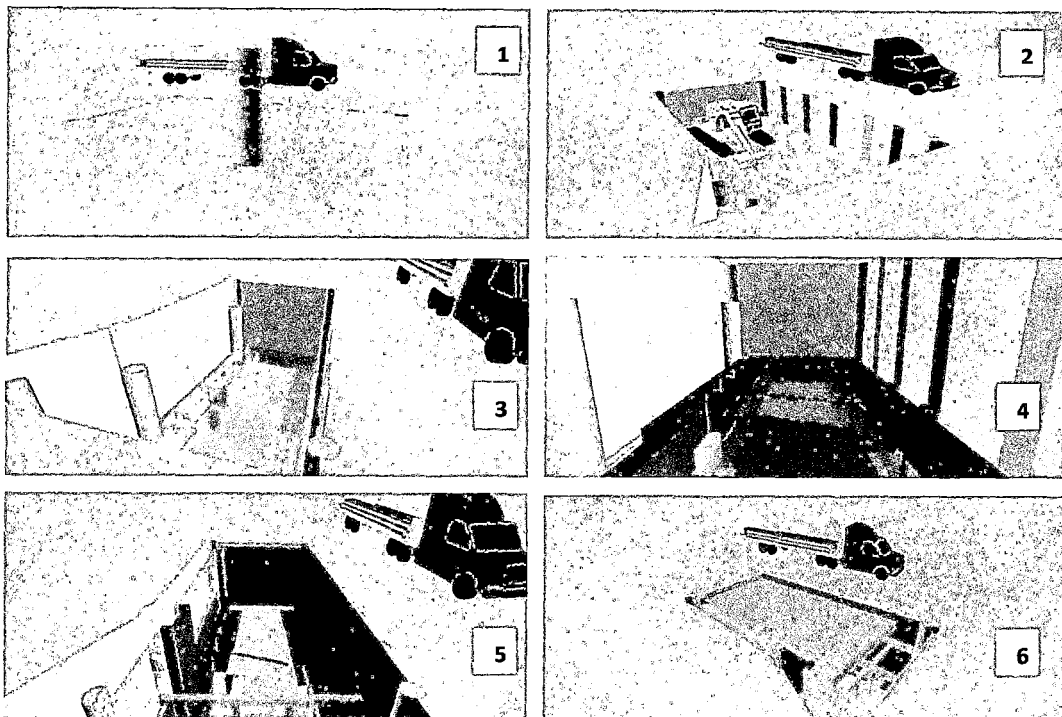


Figura N° 3.17.: Modelo de proceso: Simulación 4D del proceso constructivo de la sub estación. (1) Hincado de pilotes. (2) Excavación con la retroexcavadora. (3) Construcción del solado. (4) Construcción de la plataforma. (5) Construcción de los muros. (6) Techado de la subestación.

Simulación 4D de la sectorización en el casco del proyecto

Representa un modelo de proceso porque se puede visualizar el avance de la construcción por sectores y diferenciados en colores para reconocer cada sector. Se realizó un modelamiento 4D con la primera sectorización y se detectaron problemas de ingeniería por lo cual se hicieron 3 iteraciones más hasta modelar finalmente la 4ta sectorización. Este modelo contenía las partidas con el

cronograma de obra plasmada y se tenía listo desde 1 mes antes del inicio de las actividades (ver figura N° 3.18).

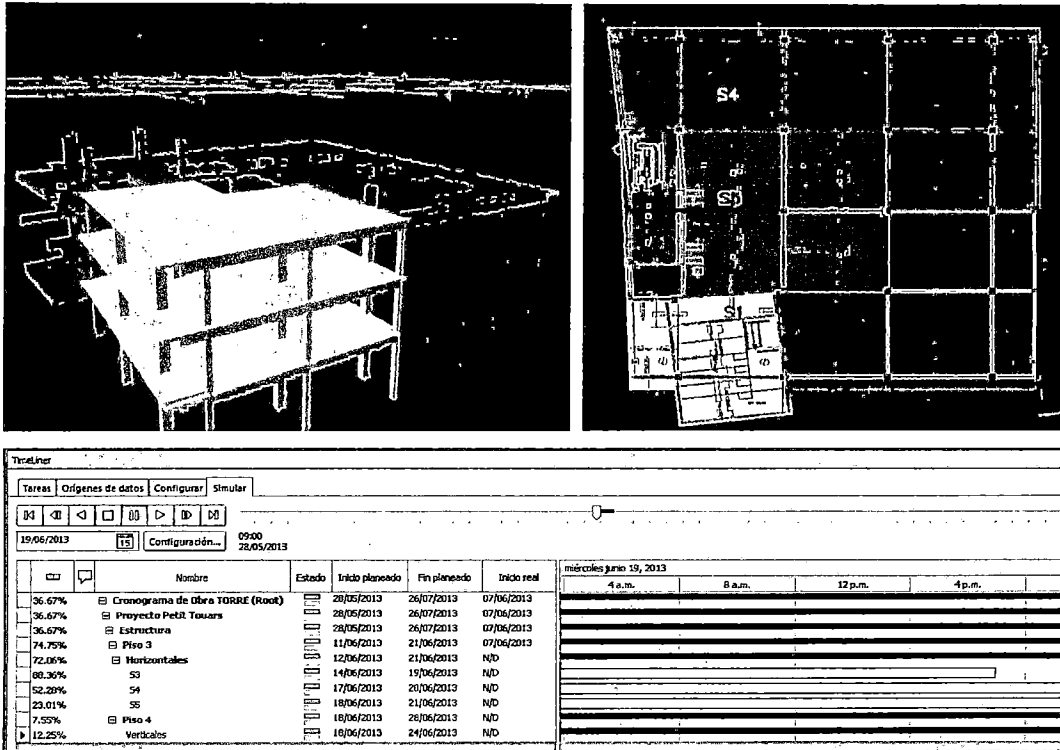


Figura N° 3.18.: Modelo de proceso: Simulación 4D del avance del proyecto por sectores.

Simulación del montaje de prelasas

Se modeló el proceso del montaje de las prelasas con la grúa torre y siguiendo la sectorización planificada. No se usó el cronograma de ejecución (ver figura N° 3.19).

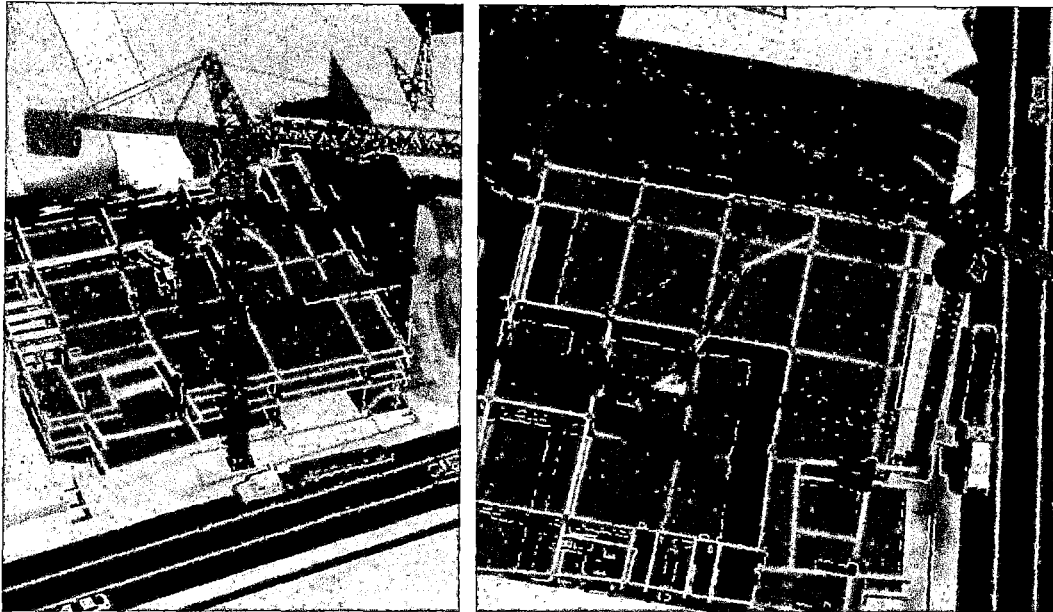


Figura N° 3.19.: Modelo de proceso: Simulación del montaje de las prelasas

Simulación 4D de la construcción estructural de la torre

Se pudo elaborar el proceso constructivo de la torre del edificio utilizando la última sectorización definitiva de las 4 iteraciones que se hicieron en las reuniones ICE. Este modelo 4D se usó para comunicar la información a los capataces en campo y representa un modelo de proceso (ver figura N° 3.20).

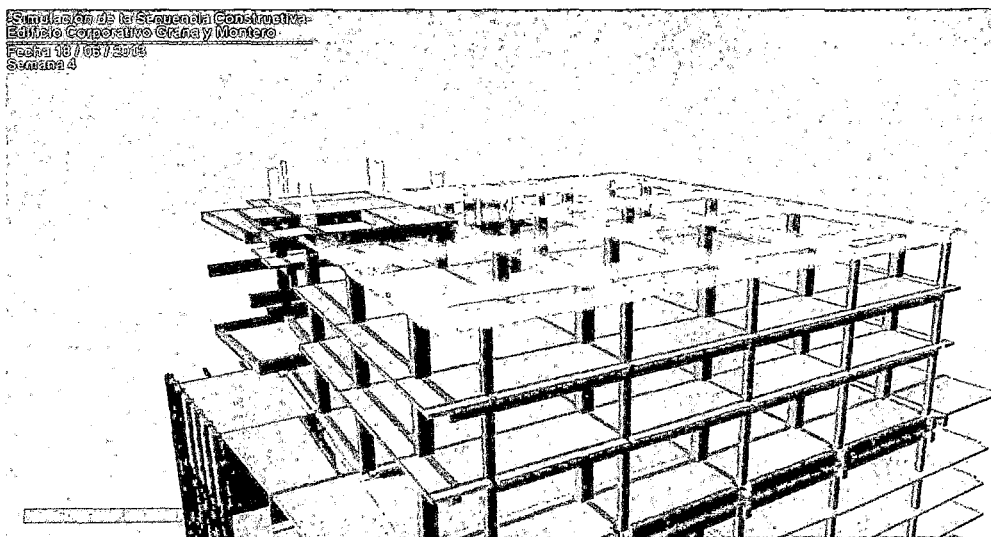


Figura N° 3.20.: Modelo de proceso: Simulación 4D de la construcción de la torre del proyecto

Simulación de la construcción de los aisladores sísmicos

El uso de los aisladores sísmicos como ingeniería de valor en el proyecto (28 aisladores sísmicos elastoméricos) requirió la elaboración de un modelo de proceso para su construcción y definición de la ingeniería crítica. Fueron importantes las reuniones de diseño e ingeniería entre la Contratista y los proveedores con la ayuda de este modelo (ver figura N° 3.21).

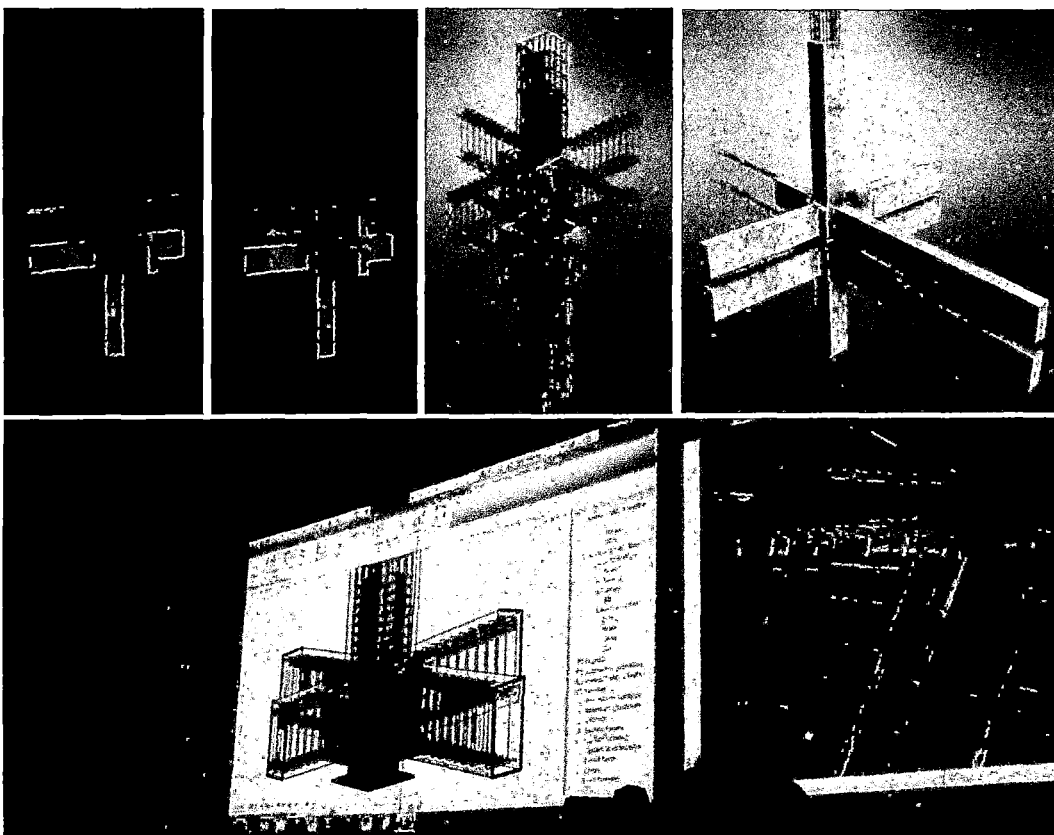


Figura N° 3.21.: Modelo de proceso: Simulación de la construcción y montaje de los aisladores sísmicos

3.4 REUNIONES ICE EN EL PROYECTO

La aplicación de la metodología ICE es uno de los pilares de VDC para gestionar la organización del proyecto y la interacción entre equipos multidisciplinarios. Fue usado en el proyecto de una manera básica para las coordinaciones con todas las especialidades, para mejorar la comunicación y reducir tiempos de respuestas, cambiando la estructura de las reuniones tradicionales.

En el proyecto se plantearon muchos entregables del uso de la metodología ICE tales como:

- ✓ Cumplir los objetivos de la Obra (del producto y procesos de ejecución)
- ✓ Lograr el desempeño esperado
- ✓ Evaluación de múltiples opciones (propuestas)
- ✓ Evaluación de riesgos y estrategias de mitigación
- ✓ Resolver los problemas de ingeniería en menores tiempos

Y el entorno del desarrollo de ICE en el proyecto tuvo dos partes: la tecnología y la metodología.

3.4.1 La tecnología

El uso de las tecnologías de información (TI) en los proyectos de otros países generó un cambio en la forma de trabajo y logró permitir un incremento significativo en la productividad de la industria de la construcción que históricamente ha estado rezagada en comparación con otras actividades económicas. Existen diversas aplicaciones de software y hardware creadas para satisfacer diferentes necesidades de uso para VDC; y en el proyecto, el software, el hardware y demás accesorios para aplicar ICE fueron implementados en un ambiente dentro de la obra.

a) Implementación de la sala de reuniones ICE

Un aspecto muy importante de la aplicación de ICE en el proyecto es que se requirió el uso de un ambiente especialmente acondicionado que permita la interacción estrecha entre software, hardware y el equipo multidisciplinario. Este ambiente es un centro de coordinación que permite la interacción de todos los involucrados y se denominó sala de reuniones ICE. Implementada desde mucho antes del inicio de la construcción (Octubre del 2012) y fue usada hasta diciembre de 2103.

Se usaron 3 proyectores para la visualización de los modelos POP y documentos del proyecto (cronograma, look ahead, planos, etc). Las múltiples proyecciones fueron necesarias para permitir a los equipos de trabajo dispares describir y explicar sus propios modelos e interpretar los de sus colegas un tanto eficaz y rápido (Ver figura N° 3.22).

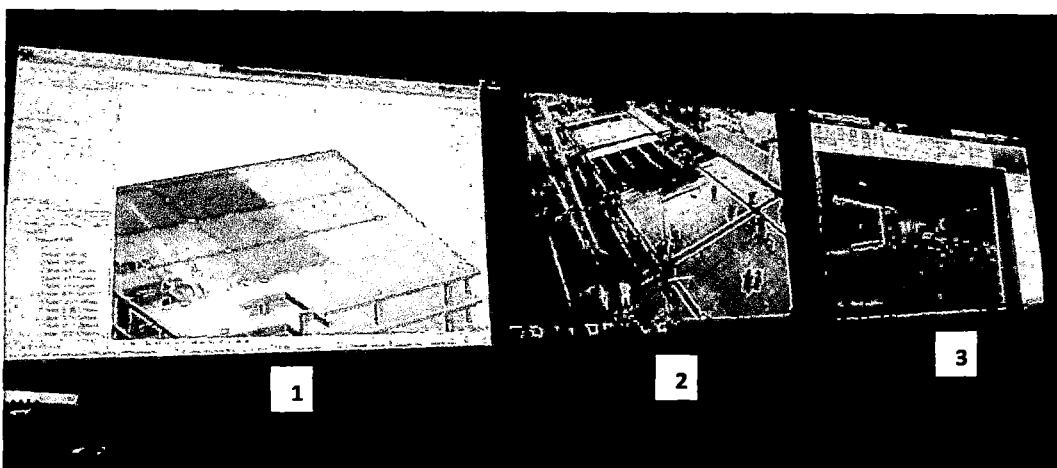


Figura N° 3.22.: Uso de los proyectores en la sala de reuniones. (1) Visualización de la sectorización del proyecto (3D). (2) Visualización de la obra en tiempo real con una cámara Domo. (3) Visualización de los ambientes con el modelo BIM (3D).

Para las visualizaciones 2D se aprovechó al máximo el espacio de la sala colocando en un sector de las paredes los planos definitivos forrados con una cobertura de plástico transparente y de esa manera el equipo podía hacer demarcaciones, trazos y cálculos sobre ella en cada reunión pudiéndolas limpiar al final. De la misma manera el resto de las paredes de la sala de reuniones estaban cubiertas con planchas acrílicas de color blanco para que cumplan las funciones de pizarras y base para las proyecciones (ver figura N° 3.23).



Figura N° 3.23.: Planos 2D y paredes acrílicas en la sala de reuniones ICE hace más proactivo la toma de decisiones. (1) Parte del equipo multidisciplinario discute y remarca indicaciones sobre los planos 2D. (2) Otra parte del equipo analiza las visualizaciones proyectadas en 3D.

b) Software y Hardware usados

Parte importante de las metodologías VDC y BIM es el uso del software y Hardware que hacen posible la realización de sus aplicaciones. Los software más usados para el proyecto fueron los que estaban relacionados al uso de BIM, ya que a partir del modelamiento del edificio se pudo obtener muchos entregables como visualizaciones de procesos constructivos 4D, simulaciones de actividades, vistas 3D y el manejo de la información de las especialidades. Asimismo se realizaron metrados y cortes del modelo, todos estos elaborados en la plataforma de Autodesk que en el mercado peruano tienen gran presencia y desarrollo en varias empresas constructoras y consultoras.

Así como el Software es importante, el Hardware también lo es; se refiere a las partes físicas del sistema de información y comunicación implementados que sirve de soporte al sistema y deben tener ciertas características para su funcionamiento (ver figura N° 3.24). El cuadro N°3.1, siguiente, describe el Software y Hardware usados en la implementación de la sala ICE.

Cuadro N° 3.1.: Software y Hardware usados en el proyecto (elaboración propia)

Software	Descripción
Revit 2013	Herramienta de Autodesk para diseño arquitectónico, ingeniería MEP, ingeniería estructural y construcción en 3D.
Naviswork Manage 2013	Herramienta de Autodesk para generar simulaciones 4D con la programación, animaciones de actividades, recorridos virtuales en el modelo y detección de las interferencias.
Naviswork Freedom 2013	Herramienta de Autodesk que permite ver todas las simulaciones y salidas guardadas en formato NWD. Y genera anotaciones.
Autocad 2013	Herramienta de Autodesk para diseño arquitectónico, ingeniería MEP, ingeniería estructural y construcción en 2D.
Hardware	Descripción
1 Computadora	8GB de RAM y 1GB de tarjeta de video para que soporte los software BIM.
3 monitores	LCD de 20" para visualizar varias funciones al mismo tiempo, aumentando la eficiencia de las labores.
1 teclado y mouse	Inalámbricos para manejar versátilmente los modelos y proyecciones.
3 proyectores	Ubicados en secuencia para proyectar el modelo 3D – 4D, la programación, ect. Al mismo tiempo.
1 cámara IP domo	Para ver los avances en campo en tiempo real desde la sala de reuniones ICE.

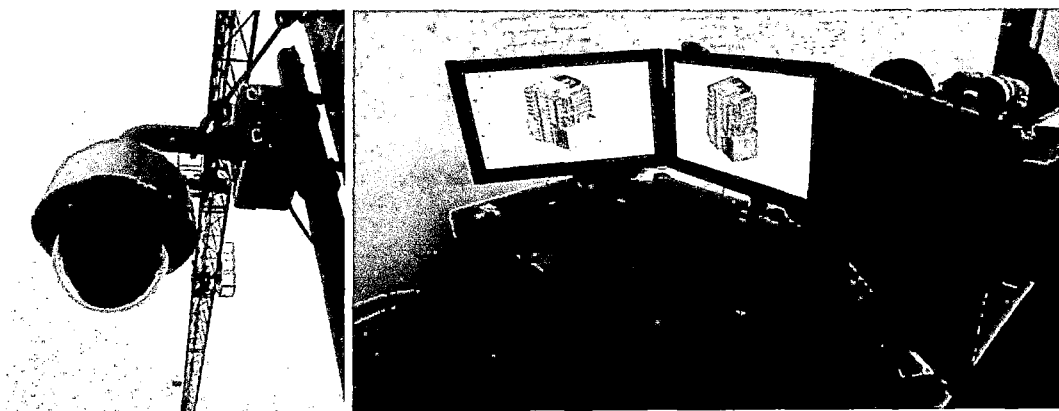


Figura N° 3.24.: Equipos usados para la sala ICE

3.4.2 La metodología

En el proyecto la contratista usó básicamente los principales aspectos de la metodología de VDC y de ICE. Gestionar a la organización con el uso de nuevas metodologías de integración y mejoras de la forma de trabajo, apoyándose con las tecnologías de información (TI). Para esto se implementó estratégicamente una sala de reuniones ICE cerca del área de la construcción para resolver la ingeniería en obra y con la participación multidisciplinaria de todos los interesados del proyecto. La explicación de ICE se dio en una sesión de reunión piloto para el equipo, y todas las reuniones del proyecto se dieron en la sala ICE.

a) Sesión piloto de reunión ICE

En el proyecto se realizaron sesiones piloto de reuniones ICE para que el equipo de trabajo (Oficina técnica y Producción) empiece a familiarizarse con el uso de la metodología VDC. Fueron reuniones de capacitación brindadas por el ingeniero residente y el jefe de ingeniería, quienes llevaron el curso de gestión en VDC (CIFE de Stanford). Las sesiones constaron de las dinámicas de mapeo de procesos que son uno de los pilares de VDC, donde el equipo interactuaba para definir un proceso y cuando se conseguía el proceso, se realizaba un análisis para mejorar dicho proceso (mejora continua) y así poder obtener el proceso óptimo de cualquiera de las actividades importantes del proyecto (ver figura N° 3.25).

Estas sesiones piloto dejó el entendimiento de que se podría mejorar el tiempo del mapeo de procesos y sus resultados, en las reuniones oficiales de coordinación con el apoyo de las visualizaciones del modelo BIM y los procesos constructivos realizados en 4D.

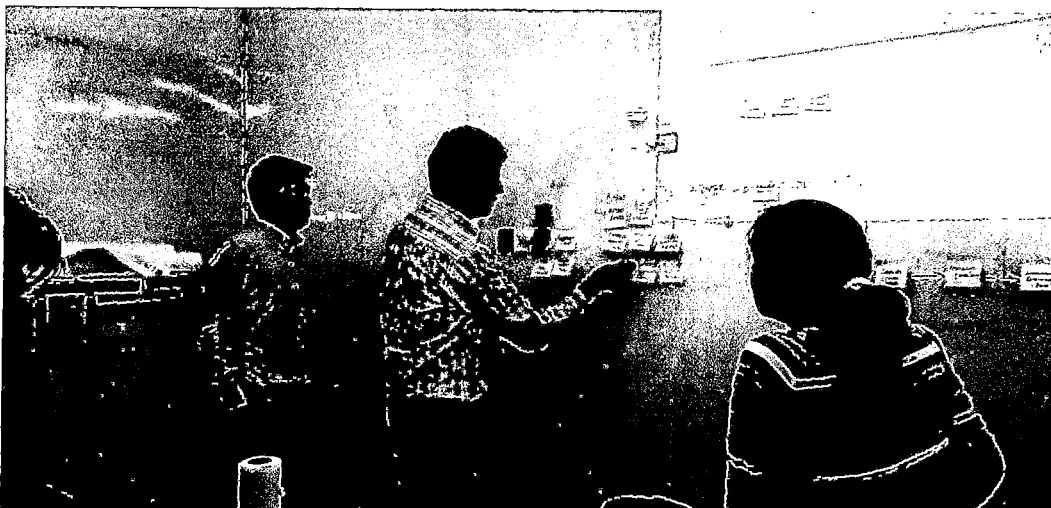


Figura N° 3.25.: Jefe de ingeniería capacitando al equipo en el desarrollo de un mapeo de procesos en la sesión piloto de reunión ICE

b) ¿Cómo fue el trabajo en ICE para la ingeniería del proyecto?

Las investigaciones y experiencias del uso de la metodología ICE principalmente en la etapa de diseño, nos dan un panorama de las potencialidades que podríamos aprovechar al aplicarlas también en la etapa de construcción:

(Kunz and Fischer, 2012). VDC trae múltiples partes interesadas. Diferentes actores tienen objetivos de negocio específicos, incluidas las normas de sus campos como la arquitectura, la ingeniería, la construcción o de las finanzas, que, aunque son diferentes, puede proporcionar perspectivas complementarias para un proyecto. Diferentes perspectivas y experiencias de actores construyen impedimentos a la colaboración efectiva de los interesados, incluyendo el vocabulario que muchas veces no se comparte, los métodos y las culturas diferentes, y carecen de experiencia trabajando estrechamente juntos. Surgen obstáculos adicionales a la colaboración eficaz porque las partes interesadas a menudo tienen objetivos en conflicto, tales como la maximización de la rentabilidad de sus propias organizaciones y maximizar la utilización de sus propios activos de la organización.

(Chachere, Kunz y Levitt, 2009). Nuestro éxito utilizando ICE para el diseño de edificios, basada en los principios observados para el diseño de misión espacial, sugiere fuertemente que el ICE tiene gran generalidad y potencial en muchos sectores de la práctica de la ingeniería. Nuestros resultados teóricos sugieren

métodos por los cuales una importante gama de aplicaciones puede adoptar ICE en su totalidad. De igual importancia, articulan razones por las que la mayoría de las organizaciones pueden encontrar en movimiento al ICE un gran desafío en el corto plazo, y proporcionar un foco de atención que puede mejorar significativamente su eficacia en cualquier tipo de colaboración.

La manera en que se trabajó ICE en el proyecto fue básico y orientado a sus beneficios principales que son la reducción de tiempos para la coordinación y la resolución de la ingeniería, mejorar la calidad del producto final y obtener mayor integración de los procesos (ver figura N° 3.26). Si bien la metodología fue desarrollada para procesos de diseño de proyectos y colaboración extrema en ingeniería (Ver capítulo I), en el proyecto se basó más en el compromiso y colaboración de las partes interesadas y en mejorar la comunicación de la información tal como se describe en los siguientes capítulos.



Figura N° 3.26.: Reunión ICE con la gerencia del proyecto

3.5 MODELO BIM DEL PROYECTO

La utilización de un modelo BIM en la etapa de construcción del proyecto fue fundamental para el desarrollo de la aplicación de VDC. El concepto de poder modelar y gestionar la información de las distintas especialidades (el producto) hizo que la metodología BIM sea uno de los pilares en la implementación VDC.

Construir virtualmente, elaborando modelos BIM-3D por especialidades, es el proceso que requiere más tiempo y demanda un mayor esfuerzo, proceso que no se debe abandonar en plena construcción, pues el modelo debe mantenerse constantemente actualizado conforme se vayan efectuando cambios en el diseño a lo largo del desarrollo del proyecto. De esta manera el modelo BIM podría resultar un “as-built” que forme parte del dossier entregable al cliente al final de la etapa de construcción. (Alcántara, 3)

Este modelo BIM permitió, representar virtualmente los elementos de la construcción y reunir toda la información del proyecto en una sola base de datos completamente integrada e interoperable para el uso de todos los interesados (Contratista, Proyectista, Cliente y Subcontratista), en las etapas de construcción y Operación-mantenimiento. Asimismo mejoró la forma de comunicar la información en el proyecto, que se basaba solo en documentos provenientes del diseño como los planos y especificaciones técnicas⁽⁷⁾, integrando toda la información en un solo modelo que traía muchas ventajas. Una de estas ventajas era de que BIM contribuía en gran parte a la resolución de la ingeniería en el proyecto.

La siguiente figura N° 3.27 nos muestra gráficamente el uso del modelo BIM del edificio y algunos de sus diferentes entregables.

⁷ Los documentos existentes antes de la implementación VDC fueron originados por los proyectistas en la etapa de diseño, y tal como se describe en el capítulo I estos documentos ya vienen con deficiencias.

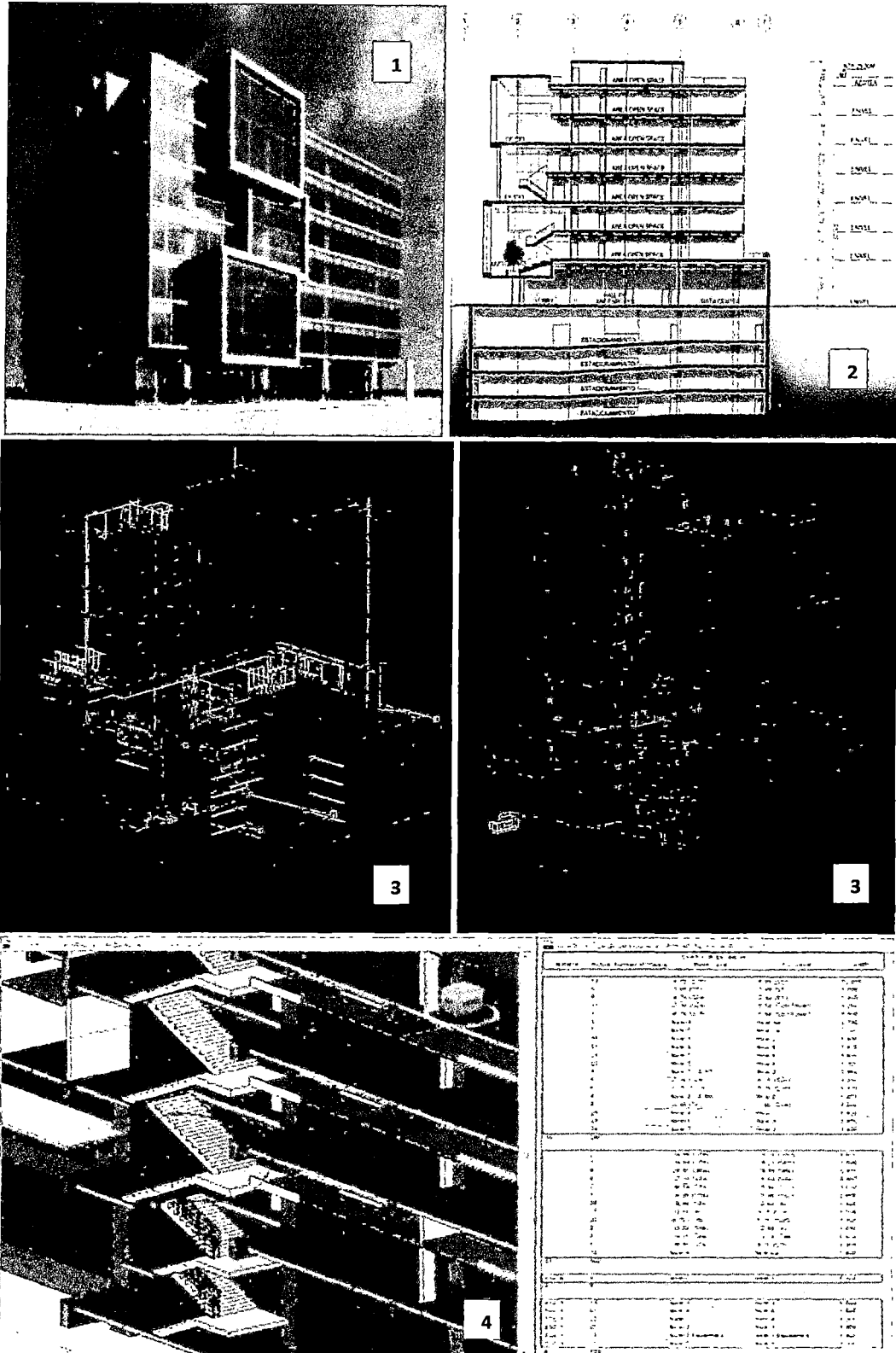


Figura N° 3.27.: (1) Modelo BIM del proyecto. (2) Un corte del modelo, que se podría imprimir para campo. (3) Modelos de las instalaciones que componen al modelo central, modelados con Revit. (4) Manejo de la información de cantidades (metrado) de los materiales con el software (Revit).

En el modelo BIM del edificio cada especialidad contenía sus componentes (virtuales) y fueron modelados de la misma manera como se harían en la construcción (real). La tabla N° 3.5 indica los componentes que son modelados en cada especialidad.

Tabla N° 3.5.: Componentes de cada una de las fases del modelado en BIM. Fuente: Tesis de Vladimir Alcántara (2013).

Especialidad	Componentes
Estructuras	Elementos de concreto armado y acero
Arquitectura Básica	Tabiquerías, Drywall, Falso Cielos Rasos, Mamparas
Arquitectura Detallada	Coberturas de fachada y techo, Puertas, Ventanas, Acabados en pisos, pared y techos, Barandas.
Instalaciones	Ductos, tuberías, bandejas eléctricas, etc. (IIEE, IISS, IIMM, ACI, HVAC, etc.)
Mobiliario y Equipamiento	Mobiliario según el diseño de interiores y demás equipamiento requerido por los proyectistas y el cliente

Es importante indicar que la contratista contaba con un área de soporte BIM que ya tenía experiencia en proyectos precedentes que usaron BIM, y que desarrolló todas las fases del modelado en BIM (ver acápite 1.3). El equipo de soporte BIM modeló el edificio 3 veces, ya que hubo cambios de la ingeniería en muchas ocasiones, pasando del modelo tradicional a un modelo con losas postensadas, aisladores y pilotes. Este modelo fue llevado desde la oficina central de la contratista hasta la oficina técnica en la obra, mediante una reunión de entrega o reunión de transferencia del modelo. En la reunión de transferencia se explicó las observaciones abiertas y se empezó a gestionar el modelo en la misma obra, es decir, que las actualizaciones y la ingeniería resuelta (RFIs) se fueron plasmando al modelo en obra y por el equipo de la construcción.

En el proyecto se cometió un error de coordinación y comunicación entre soporte BIM y el equipo de construcción (oficina técnica) sobre no actualizar un mismo modelo As built de estructuras y que en obra se trabajara sobre una versión anterior del modelo. Provocando que luego se valla desfasando el modelo de estructuras al momento que ser compatibilizado.

3.5.1 Modelamiento 4D

La posibilidad de poder visualizar la construcción que queremos antes de ser construida realmente permitió planificar con mayor eficiencia las actividades críticas del proyecto.

El modelado BIM-4D consiste en la asignación de la cuarta variable, el tiempo, a un modelo tridimensional (3D) útil para realizar la simulación del proceso constructivo de la edificación. Ello se logra asociando cada uno de los objetos 3D del modelo BIM a cada una de las actividades de la programación de la obra. (Alcántara, 2013)

a) Simulaciones BIM 4D en el proyecto

La simulación BIM-4D es la animación de la secuencia constructiva de ciertos procesos a lo largo de la línea de tiempo, análoga a la secuencia constructiva real, y permite un mejor entendimiento de la sectorización del proceso y frentes de trabajo, facilitando la planificación y la distribución de recursos, así como establecer qué procesos deben ser desarrollados en un determinado día. (Alcántara, 2013).

Y estas visualizaciones 4D fueron necesarias en el proyecto tal como lo indica el jefe del área de soporte BIM de la contratista:

“En nuestras sesiones semanales de programación era necesario el uso de un modelo 4D para explicar el proceso de construcción a todos los participantes, y también para programar la construcción de cada elemento específico”.

De la misma manera también se realizaron varias simulaciones BIM pero sin asociación a los tiempos de ejecución de la programación de la obra, simplemente fueron elaboradas para presentar propuestas, cambios y presentaciones del funcionamiento de varias actividades de la obra. Como por ejemplo las simulaciones del izaje de los Chillers, del sistema hidráulicos de Chillers, propuesta de redes de agua contra incendio, propuesta del cambio de la arquitectura del primer piso.

En el proyecto “Nuevo Edificio Corporativo de Graña y Montero” se realizaron varias simulaciones BIM y BIM-4D con el apoyo de soporte BIM, de las cuales 4 fueron actividades críticas que serán detalladas a continuación:

La simulación BIM del montaje de las prelasas de todos los pisos siguiendo la sectorización planificada en la obra. Y para tal el equipo de soporte BIM coordinó con los ingenieros de producción, control documental y jefe de ingeniería a fin de lograr establecer los tiempos y actividades para el proceso constructivo por sectores como se muestra en la figura N° 3.28.

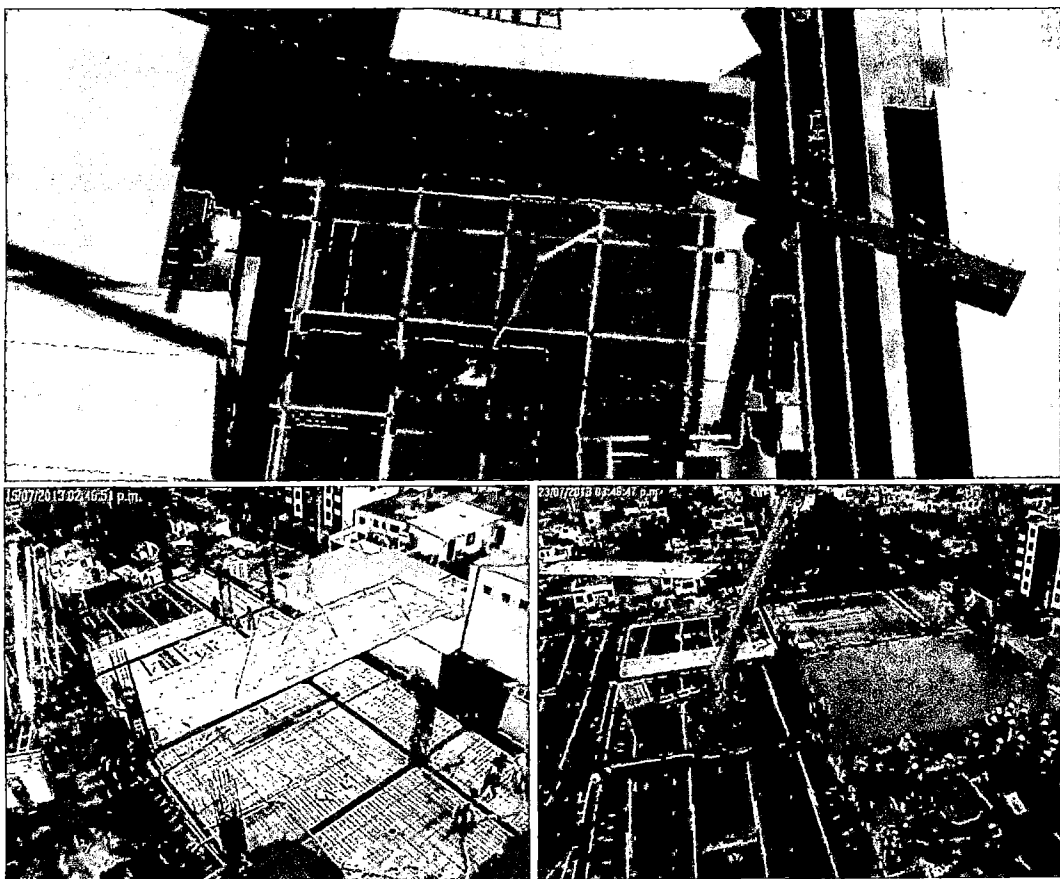


Figura N° 3.28.: Simulación BIM del montaje de las prelasas y el avance real en campo.

La simulación BIM-4D de la construcción de la nueva sub estación del proyecto (ver acápite 2.3) fue realizada para apoyar las tomas de decisiones y cumplir con el cronograma de obra (Montaje Octubre 2012) tal como se muestra en la figura N° 3.29. La construcción virtual lo hizo un tesista de la contratista con asesoría de soporte BIM.

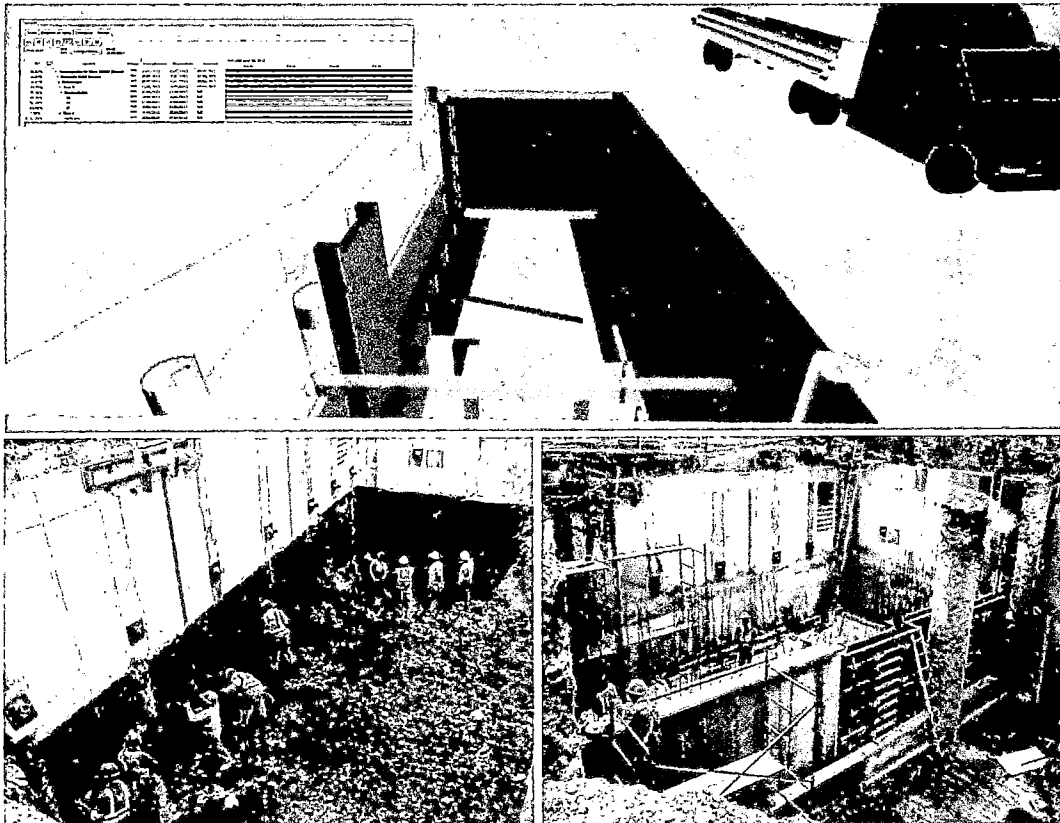


Figura N° 3.29.: Simulación 4D de la construcción de la sub estación y la ejecución en campo.

La simulación BIM del proceso constructivo de los aisladores sísmicos DIS para entender el funcionamiento estructural y las distribuciones de los 28 aisladores elastoméricos como se muestra en la figura N° 3.30.

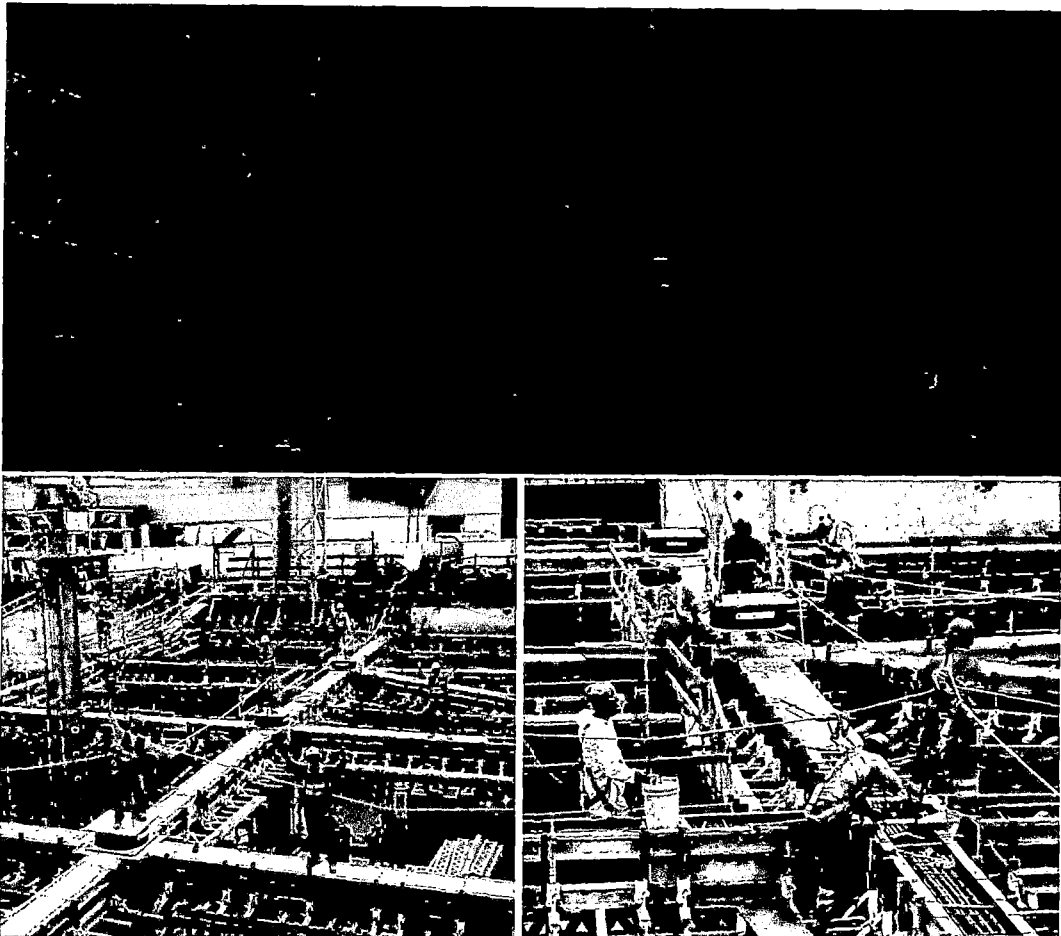


Figura N° 3.30.: Simulación BIM del proceso constructivo de los aisladores sísmicos y su ejecución en campo

Simulación BIM-4D del proceso constructivo de la estructura de concreto armado (casco) de los 7 pisos. Fue coordinado entre el equipo de soporte BIM y la contratista para plasmar la sectorización final y los tiempos de la obra. En el proyecto se realizaron 3 sectorizaciones para llegar a una cuarta sectorización óptima con 5 sectores aprobada por el diseñador estructural (ver figura N° 3.32), y fueron simuladas en 4D la primera sectorización y la cuarta sectorización como se muestra en la figura N° 3.31. El equipo del proyecto pudo contar con la herramienta (BIM) para darse cuenta de que si se usaba la primera sectorización se hubiera tenido muchos problemas al construir, debido a algunas limitaciones de constructabilidad, generando ahorros en tiempo y dinero (ver capítulo IV).

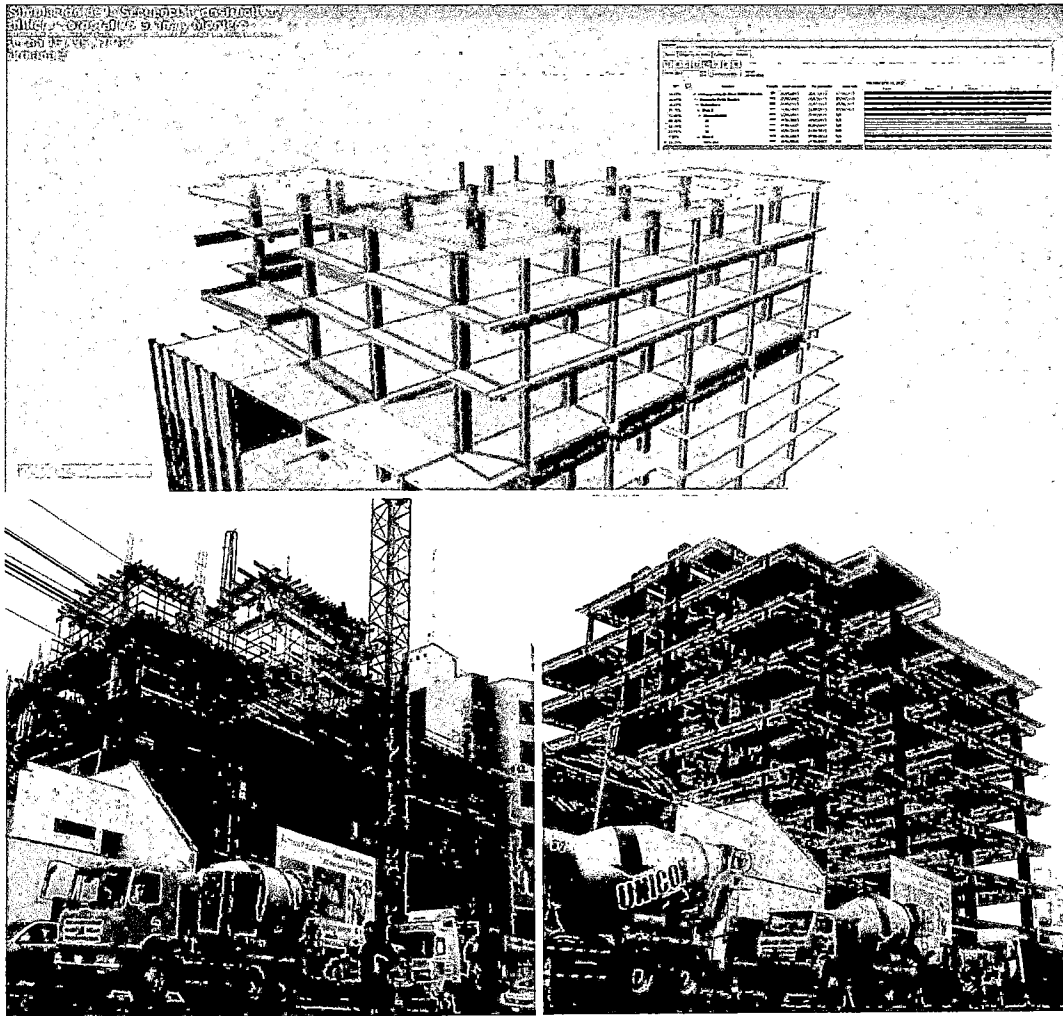


Figura N° 3.31.: Simulación BIM-4D de la construcción de la torre del edificio y un comparativo entre la construcción real vs la construcción virtual del casco.

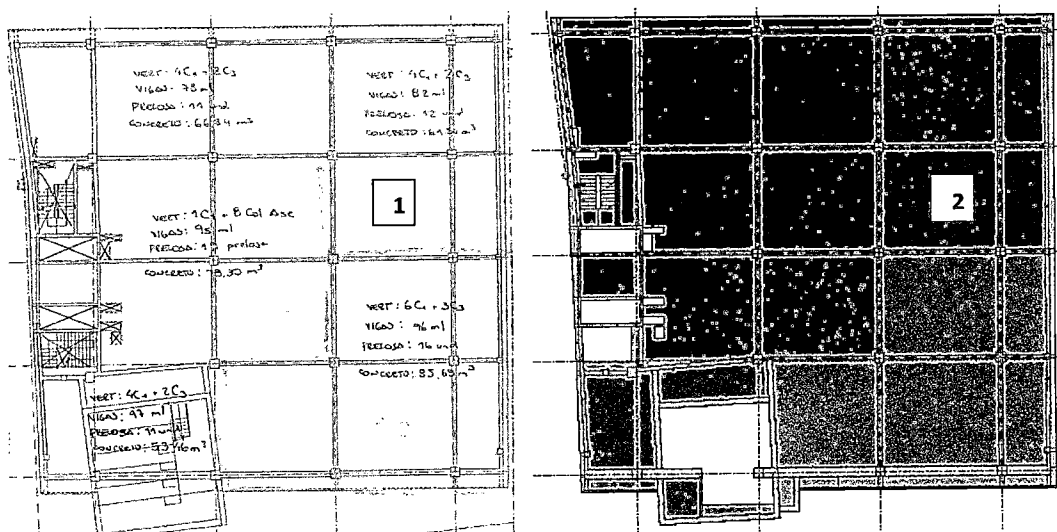


Figura N° 3.32.: Sectorización final del proyecto – 5 sectores. (1) Sectorización de la torre en CAD – visualización 2D. (2) Sectorización de la torre en Revit – visualización 3D.

3.5.2 Facilitación de la comunicación en campo a partir del modelo BIM

Las diferentes formas de comunicar el modelo del producto (modelo BIM) y el modelo del proceso (procesos constructivos 4D) en el campo, apoyaron a 2 de los 11 principios Lean. El principio de aumentar la flexibilidad de los output (salidas), que con el uso de la tecnología ha permitido que los trabajadores puedan tener la información y visualizar los procesos en campo mejorando de esa manera el producto final (la construcción del edificio). Y el principio de aumentar la transparencia del proceso, que se relaciona a la mejora del control visual de la producción y la calidad con el apoyo de las herramientas que permitan hacerlo (BIM en campo), como las que mencionaremos a continuación:

a) Uso del panel de fotos 3D para secuencia de construcción

Ya había sido implementada en un proyecto anterior de la contratista para una mejor comprensión de la secuencia de construcción, mediante el uso de un panel con fotos 3D en la obra. Estas fotografías 3D eran colocadas en el panel por el ingeniero de control documentario según el cronograma de obra y las cambiaba cuando terminaba dicha actividad. Esto ayudo a reducir los problemas de falta de información en el sitio de trabajo no solo para los ingenieros de campo, sino también para los capataces y los obreros (ver figura N° 3.33).



Figura N° 3.33.: Panel de visualizaciones 3D en campo. (1) El ingeniero de control documentario es el encargado de llevar la información al campo. (2) El panel contiene fotografías 3D obtenidas del modelo BIM para los procesos constructivos de la actividad que quiere realizarse, y esta información está disponible para todo el equipo.

b) Uso del IPAD

El uso de la Tablet PC elaborado por la empresa Apple, significa uno de los cambios en la forma de trabajar para los ingenieros de edificaciones. Este ordenador portátil de pantalla táctil puede llevar la información del modelo y usarse de manera versátil en el campo y los ambientes del edificio. El uso de la tecnología en el proyecto mediante estas tabletas sirvió para supervisar los avances en el lugar de trabajo y actualizar el modelo BIM con la construcción real tal como se aprecia en la figura N° 3.34.

Desde noviembre del 2102 se empezó a usar las tabletas (IPAD) para supervisar los avances en el sitio de trabajo y realizar diferentes observaciones en el modelo en tiempo real, es decir, que se pudo actualizar el modelo desde la tableta y enviar la actualización a la oficina técnica mediante el internet. Esto ayuda a tener un mejor control de lo que se modela y a supervisar los cambios ocurridos desde la primera versión del modelo para llegar a obtener un as-built final del modelo. También el uso del IPAD permitió combinar las listas de verificaciones de tareas o avances, con la metodología BIM.

En ingeniero modelador BIM en campo, tuvo una rutina de actualizar el modelo entregado por soporte BIM mediante un levantamiento diario de lo ya construido con el uso del IPAD que también le facilitaba la toma de apuntes y detalles.



Figura N° 3.34.: El uso del IPAD como equipo portátil para visualizar y actualizar el modelo en campo por los ingenieros. (1) Ingeniero de producción verificando las instalaciones en campo con la ayuda de la Tablet. (2) Comparación virtual vs real con la Tablet.

La aplicación usada para abrir el modelo BIM del edificio en el IPAD es el Autodesk® BIM 360 Glue que permite acceder a la información del proyecto desde cualquier lugar y manejar el modelo BIM versátilmente.

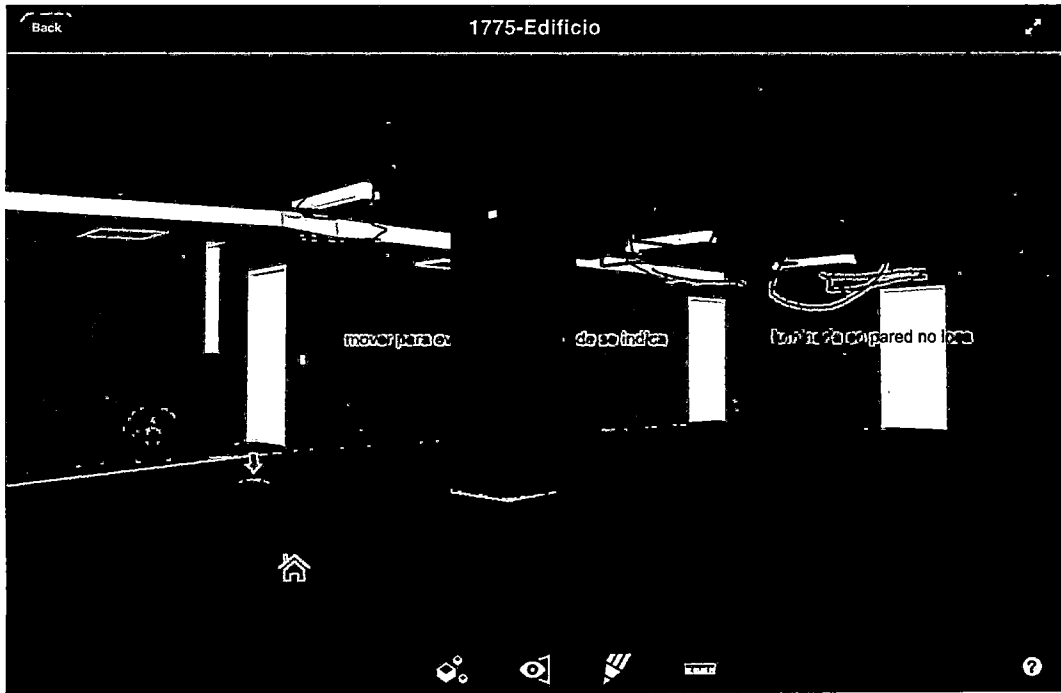


Figura N° 3.35.: Interfaz de la aplicación del Autodesk® BIM 360 Glue en el IPAD.

En el proyecto no se terminó el modelo BIM antes de empezar la construcción debido a muchos cambios producidos por el cliente, por lo que se actualizó el modelo con ayuda de la Tablet levantando información de lo ya construido (ver figura N° 3.36).



Figura N°3.36.: Levantamiento de información en campo con el IPAD para actualizar el modelo.

3.6 COMUNICACIÓN Y COORDINACIÓN EN EL PROYECTO

Hasta hace unos 20 o 10 años el proceso de comunicación y coordinación en los proyectos no eran tan potentes como los de ahora.

3.6.1 Importancia de realizar un buen EDT para un mejor resultado de implementación VDC en la fase de construcción del proyecto

Un tema de fondo de la aplicación de VDC en los proyectos es la comunicación y el flujo de la información. Cómo es que se logra transmitir toda la información y documentación elaborada por el equipo de diseño de una manera eficiente, considerando que los documentos de diseño ya vienen con deficiencias y errores de diseño que son observados directamente en la obra a la espera de ser resueltos. El alcance del proyecto debe ser claro y el mismo para todo el equipo del proyecto.

El Project Management Institute (PMI), 2001 indica: La EDT facilita la comunicación de información sobre el alcance del proyecto, las dependencias, el riesgo, el progreso y el rendimiento entre el director del proyecto y las partes interesadas a lo largo de la vida del proyecto. Los actores del proyecto son todos los que participen directamente o tienen un interés en el resultado del proyecto, e incluyen pero no se limitan a: Gerentes de Proyecto, Miembros del Equipo del Proyecto, Clientes, Proveedores, Gestores, Reguladores, El Público/Comunidad, Patrocinadores, Propietarios. Una de las causas principales por las que un proyecto falla es la mala identificación del alcance en el proyecto, y que cada involucrado entienda de una manera distinta el producto final a entregar, lo que lleva a añadir trabajo no autorizado o presupuestado al proyecto.

Es importante identificar el alcance del contrato con precisión como también es importante identificar los trabajos excluidos. La identificación del alcance permite analizar y planificar nuestras obligaciones y derechos frente al cliente y así cumplir con el trabajo contratado. Los involucrados del proyecto hicieron hincapié en la importancia de un buen EDT para el proyecto:

“Un error que se puede producir, no todos están enfocados en VDC, deben identificarse con el proyecto, el proyecto es desde que se inicia hasta que se entrega al cliente [...] El secreto para que funcione un proyecto de ingeniería (VDC) es que el equipo elabore un buen EDT.” – Coordinador de Investigación y Desarrollo del área de CGP (GyM).

“Se debe dar un orden, cada uno estructura su forma trabajo... No existe un estándar de trabajo entre las plataformas [...] Elaborar estructuras de trabajo que pudieran comunicarse entre las plataformas, lo que llegue del presupuesto te sirva para terminar la construcción.” – Jefe de Ingeniería del proyecto.

Previsto la importancia de la comunicación y el alcance del proyecto para el uso de VDC y el desarrollo de los modelos POP en el proyecto se realizó una reunión integrada con la participación de ingenieros del área de CGP (Control y Gestión de Proyectos) e ingenieros del proyecto en estudio, para definir una buena EDT única que sirva para las demás áreas del mismo proyecto (presupuesto de la contratista, presupuesto de los proyectistas, producción, oficina técnica, soporte BIM) y de esta manera se logró que exista una comunicación entre ellas.



Figura N° 3.37.: Reunión integrada para definir el EDT del proyecto

La figura N° 3.37 muestra la participación del ingeniero de CGP, los ingenieros de campo (parte izquierda). Los ingenieros de oficina técnica y el ingeniero residente (parte derecha), quien usó el modelo actualizado hasta la etapa de sótanos para apoyar la reunión integrada. La indicación por parte del ingeniero de CGP es que no hay EDT único, se analizaron varias posibilidades y se llegó a definir el EDT para el proyecto.

En el cuadro N° 3.2 se describen los puntos principales del uso del EDT en el proyecto.

Cuadro N° 3.2.: Puntos principales del uso de un EDT único en el proyecto (elaboración propia)

NIVELES DE LA EDT DEFINIDOS	El EDT definido en la reunión para el proyecto está conformado de un primer nivel por Etapas , un segundo nivel por Disciplinas y un tercer nivel por Sectorización .
PLUS PARA EL PROYECTO	Es el primer proyecto donde se realiza un EDT único para todas las áreas; ya que esto aumentaría el rendimiento y facilitaría muchas actividades comunes en los proyectos.
CAMBIA Y MEJORA LA FORMA DE TRABAJO	El planteamiento de la nueva forma de trabajo usando el EDT en los metrados, nos ayuda a obtener rápidamente los metrados para un sector (Del sectorizado), de esta manera a diferencia del formato tradicional de metrados se puede obtener muy rápido los metrados para proseguir con la ejecución.
PUNTO CLAVE	Es fundamental realizar un buen EDT partiendo de la clara definición del alcance del proyecto.

Por lo tanto elaborar un buen EDT y definir el alcance real del proyecto apoya a la gestión de VDC, ya que ayuda a no perder la mirada en el objetivo esencial del proyecto debiendo controlar cada una de las actividades que la componen. El modelamiento de la construcción (BIM) partiendo de la EDT del proyecto ayudó a representar el alcance, de tal manera que conociendo exactamente el producto final del proyecto, todo el equipo estaría de acuerdo en sus roles para lograr la meta que se pretendía alcanzar con la creación del proyecto.

3.6.2 Control de la información y los cambios

Alarcón y Mardones (1998) señalan: La contratista es responsable de detectar y comunicar todos los problemas o deficiencias de diseño que puedan afectar la constructabilidad, operación y mantenimiento de los proyectos. También deben supervisar la constructabilidad de los cambios, evaluar el impacto económico directo e indirecto sobre el proyecto y determinar las variaciones en la programación de los plazos de obra.

La Gestión de la Información comprende el control documentario de toda la información del proyecto, que básicamente consta de planos, especificaciones técnicas y memorias descriptivas. La información documentaria del proyecto fue revisada y pasó por un proceso para que sea consistente y esté compatibilizada. Una de las estrategias VDC planteadas en el proyecto, era de optimizar el flujo de información cuya estructura se basaba en las coordinaciones entre proyectistas y oficina técnica (Contratista) realizando actas de acuerdos semanales. Se usó el BIM y las reuniones ICE como herramientas potentes para lograr los objetivos.

El medio formal para el control y para que se realice el flujo de la información eran las solicitudes de información (SI o RFI de sus siglas en inglés, Request For Information). Cada observación encontrada por el análisis de los documentos de diseño, que buscaba aclarar y resolver los problemas de la ingeniería no definida en el proyecto, eran reportados por el área pertinente de detección (área BIM, Oficina Técnica) al Ingeniero de control documentario a través de las SI o RFI (ver figura N° 3.38).

El Ingeniero de control documentario o también llamado Ingeniero de control de la información fue el responsable de registrar los cambios a lo largo del proyecto, y es a través de él que se dio la comunicación entre los proyectistas y los encargados de las distintas especialidades del proyecto. Recibe toda la información proveniente de las consultas y observaciones (SI) para programar las fechas de las reuniones ICE y sean levantadas todas las consultas. El manejo de la información procesada y las decisiones tomadas en la reuniones ICE para informar y responder las consultas fue clave por parte de la gestión de la información, ya que se anticipaba a su uso en la ejecución del proyecto y no

se realizaban esperas porque antes de ejecutar la actividad respectiva ya se contaba con la ingeniería terminada.

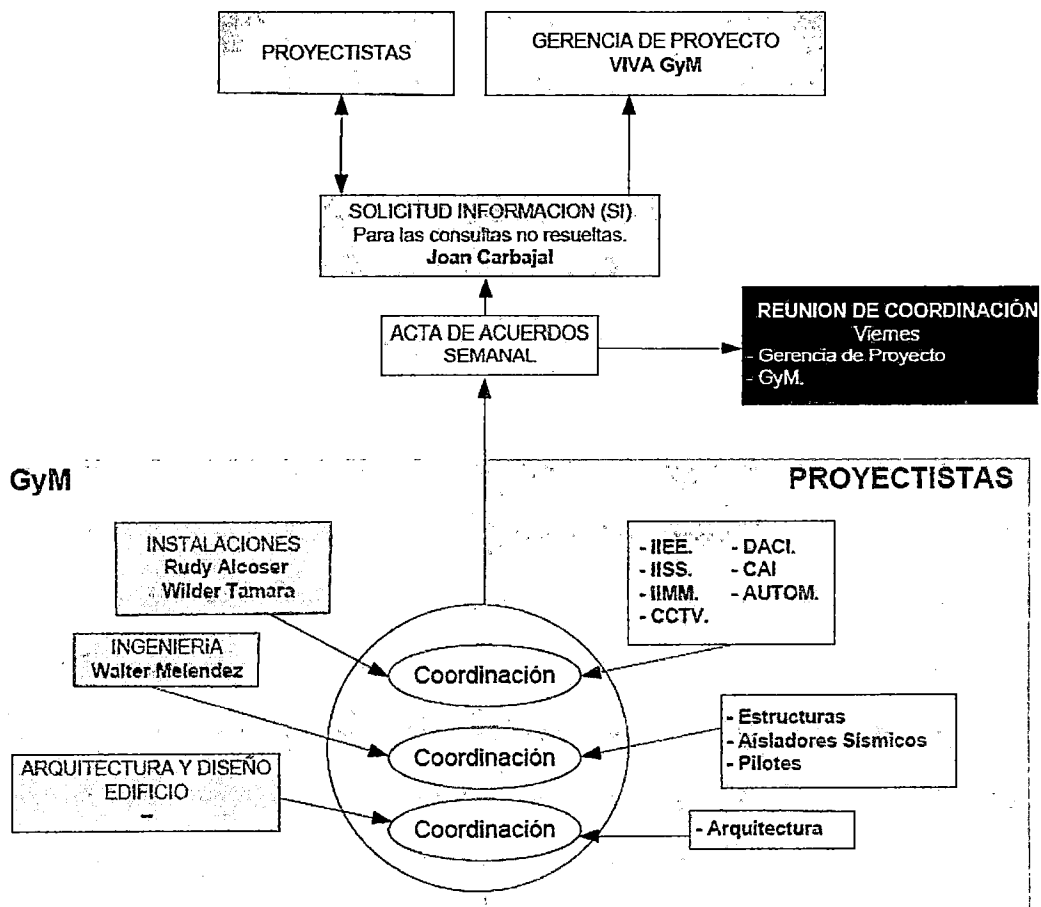


Figura N° 3.38.: Flujo de información Edificio Corporativo de GyM

También existen las decisiones tomadas en campo, es decir, que no fueron necesarias reportar las consultas a los proyectistas sino coordinar directamente en oficina técnica como se muestra en la figura N° 3.39 (Producción y Oficina Técnica), tal como lo indica el ingeniero de control documentario:

“Algunos cambios son por procedimientos constructivos y por ende los propone el constructor, al final estas actualizaciones se plasman en los planos As built, es decir, como se construyó.” – Ing. de control documentario.

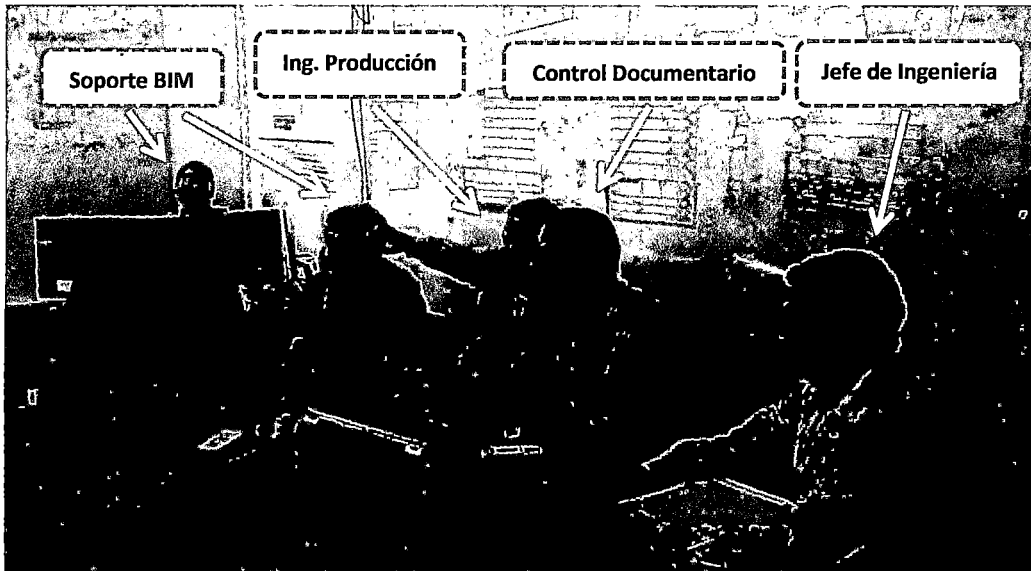


Figura N° 3.39.: Reunión con el ingeniero de Producción y el jefe de Ingeniería para tomar decisiones sobre los cambios por procedimiento constructivo. Asistidos por el equipo de soporte BIM para el manejo del modelo.

Finalmente la información de cómo se debe construir correctamente tiene que llegar a campo de muchas maneras, ya sea plasmado en los planos actualizados, en el cronograma actualizado, lista de tareas diarias, instrucciones de trabajos, etc. La gestión de la información y los cambios se encargaba de que esta información final esté a la disposición de todos en la misma obra con el enfoque de la metodología VDC (ver figura N° 3.40).

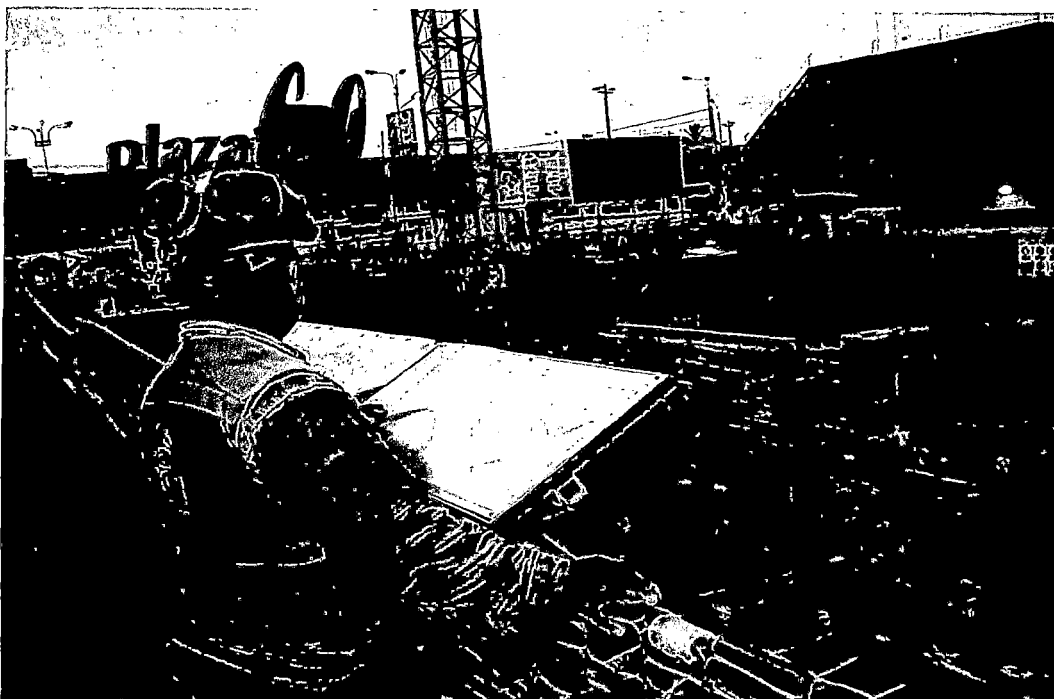


Figura N° 3.40.: Panel de fotografías 3D del proceso constructivo para ejecutar la construcción de los sótanos.

En el cuadro N° 3.3 se describen los puntos principales del control de la información y los cambios.

Cuadro N° 3.3.: Puntos principales del control de la información y los cambios en el proyecto

GESTIÓN DE LAS ESPECIALIDADES	La gestión de las especialidades se daba para la compatibilización del proyecto.
VALOR OBJETIVO	Intercambio de la información de una manera más efectiva con todas las partes interesadas integrando la información en tiempo real.
VALOR A LA GESTIÓN DE VDC	Uso de las reuniones ICE en la obra para mejorar las coordinaciones entre Projectistas y Contratista. Uso del panel de fotografías 3D de procesos constructivos instalado en campo.
VALOR A LA GESTIÓN BIM	Utilizar el modelo BIM del edificio para mejorar la toma de decisiones en los cambios del proyecto y agilizar el procesamiento de la información.

3.6.3 Reuniones de programación y coordinación en Obra con apoyo virtual

A diferencia de las reuniones tradicionales de coordinación y programación se ha desarrollado otra rutina de reuniones con el enfoque VDC, iniciativa de la Contratista practicada por todos los involucrados en el proyecto. Las rutinas de reuniones realizadas se dieron con el fin de involucrar a todas las partes interesadas en el proyecto, en las cuales participaron ingenieros de muchas especialidades (Civiles, Mecánicos, De instalaciones), Arquitectos, Administradores, Los clientes del proyecto, Projectistas y Diseñadores, Maestros de obra y capataces.

Tal como lo indican Kunz and Fischer, 2012. Un proyecto de diseño del edificio incluirá múltiples participantes, tales como la arquitectura, la ingeniería estructural, diseño de interiores, diseño de paisaje, analistas, consultores de energía de iluminación, calefacción y ventilación, consultor de planificación de la construcción y la planificación, estimación de costos, los usuarios y los propietarios.

Se formaron equipos multidisciplinarios de trabajo como un primer paso para seguir la metodología ICE (Ingeniería Concurrente Integrada) en el proyecto. Mejorando la planificación y la programación del proyecto con la ayuda de BIM y los modelos virtuales desarrollados (ver figura N° 3.41).

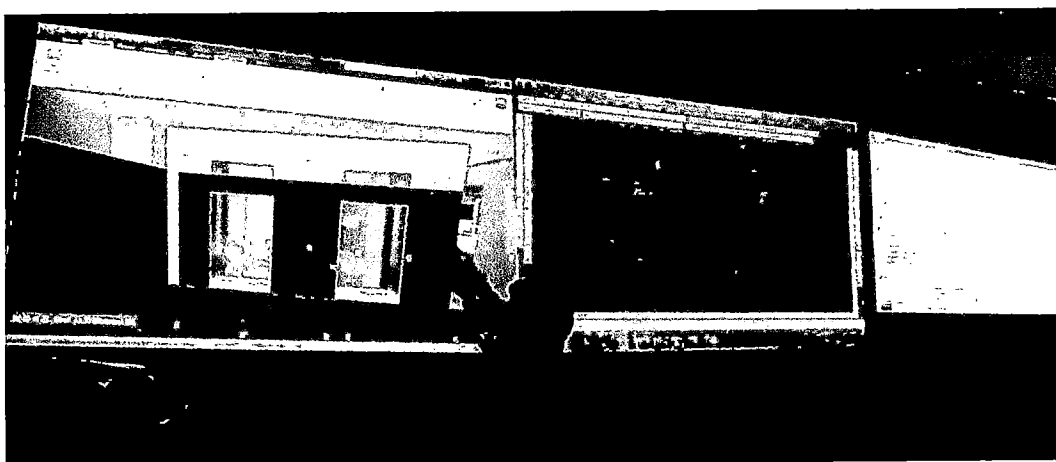


Figura N° 3.41.: Fotografía tomada en una de las reuniones semanales de programación (2013). Algunas características del proceso tradicional de reuniones se están modificando en los últimos años, por ejemplo, el apoyo de la computadora interactiva para trabajar de manera virtual partes del proyecto y mejorar la comunicación.

a) Reuniones con el Cliente y los Projectistas en la Obra

Cada proyecto tiene una propuesta de valor que justifica el compromiso del cliente hacia el proyecto. Además, en principio, los diseñadores, los contratistas y el cliente podrían considerar los cambios incrementales en el producto, organización o procesos para analizar el beneficio para el propietario así como los costos para el proyecto (Kunz and Fischer, 2012).

La situación Contractual Cliente - Contratista (ver acápite 2.4) y el enfoque VDC de la Contratista para integrar al cliente en la construcción facilitó la participación y compromiso de este en reuniones ICE conjuntamente con los projectistas. Tal como lo indica el Ing. Residente del proyecto de una experiencia previa:

“Teníamos que concientizar a nuestro cliente de la importancia de que ellos estuvieran en el proyecto, que estuvieran encima de los projectistas, que estuvieran encima de algunos subcontratistas, de la importancia que ellos nos daban hacia nosotros [...] Era clave que ellos estuvieran presentes en las principales reuniones de projectistas que tenían una velocidad lenta de entregas, era clave que ellos estén en reuniones con nuestros proveedores” - Residente del Proyecto.

Fue fundamental realizarse las rutinas semanales de sesiones ICE con los propietarios, diseñadores y constructores (ver figura N° 3.42). Siendo uno de los objetivos que se planteó la Contratista de reducir las latencias en las RFI del proyecto con la colaboración de Projectistas y el Cliente.

Se planteó en un inicio que estas reuniones semanales con el cliente y los projectistas sea la primera de todas las reuniones de coordinación de los días jueves (reunión de Producción-Ingeniería, Reunión con equipo BIM, Reunión con capataces) para mantener un flujo de la resolución de la ingeniería que valla desde las decisiones tomadas con el propio cliente – projectista por la mañana hasta la reunión con los capataces por la tarde.

Sin embargo el planteamiento de resolver los problemas y pasar la información de los cambios a los capataces pasó a un segundo plano ya que en las

reuniones se tocaban diferentes temas aparte de la construcción. Como por ejemplo temas de coordinación con los proveedores que se volvieron fundamentales ya que el mismo cliente sentía la responsabilidad sobre los materiales, accesorios y la calidad de su propio proyecto y el producto final que iba a recibir.

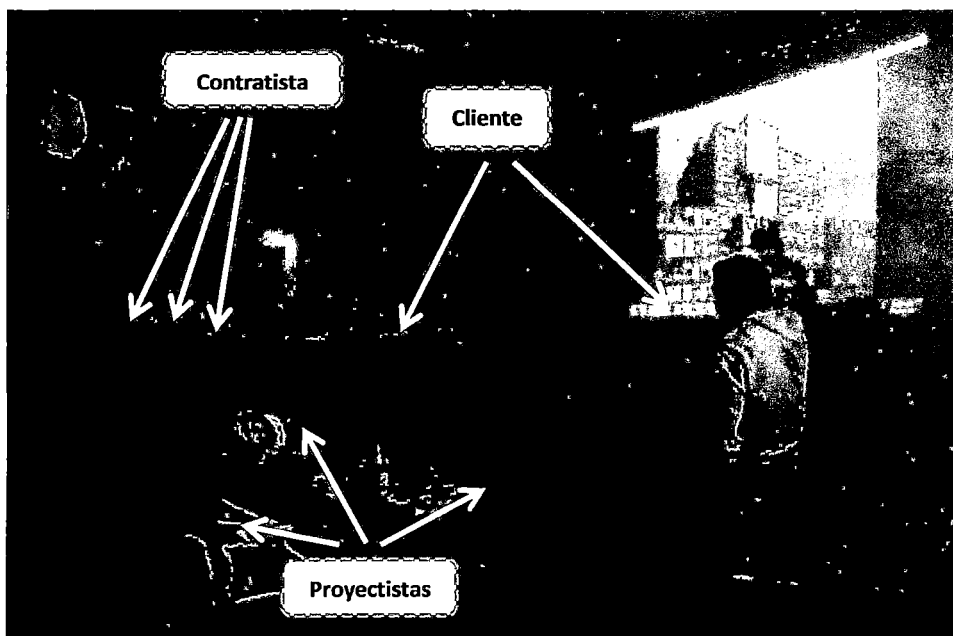


Figura N° 3.42.: Fotografía de una reunión de definición con el Cliente, Proyectistas y Contratista. Con el uso del modelo BIM y la sala ICE del proyecto.

Una de las coordinaciones más importantes con los proveedores y que costó más esfuerzo fueron las reuniones ICE hechas entre el residente de la fase de Arquitectura, el Cliente, la contratista y el proveedor del muro cortina para resolver las incertidumbres de la pared de cortina, que fue representado en el modelo y en un Mock up o maqueta con elementos reales a escala (ver figura N° 3.43). Estas reuniones lograron terminar la definición de la cortina de vidrio del edificio partiendo de las especificaciones técnicas y el proceso tomó 4 reuniones ICE.



Figura N° 3.43.: Fotografía del Mock up realizado (lado izquierdo) de los muros cortinas del proyecto para definir la cortina de vidrio del proyecto. Al lado derecho se observa el modelo realizado virtualmente.

Con el cliente se revisó también los aspectos arquitectónicos y de iluminación de los bloques cuadrados de la fachada. La ayuda del modelo facilitaba la toma de decisiones con respecto al tipo de material de vidrio a usarse en la iluminación del muro cortina, visualizando 2 opciones de diseño de iluminación entre el uso de vidrio microserigrafiado y paneles de vidrio. Como podemos ver en la figura N° 3.44 siguiente:

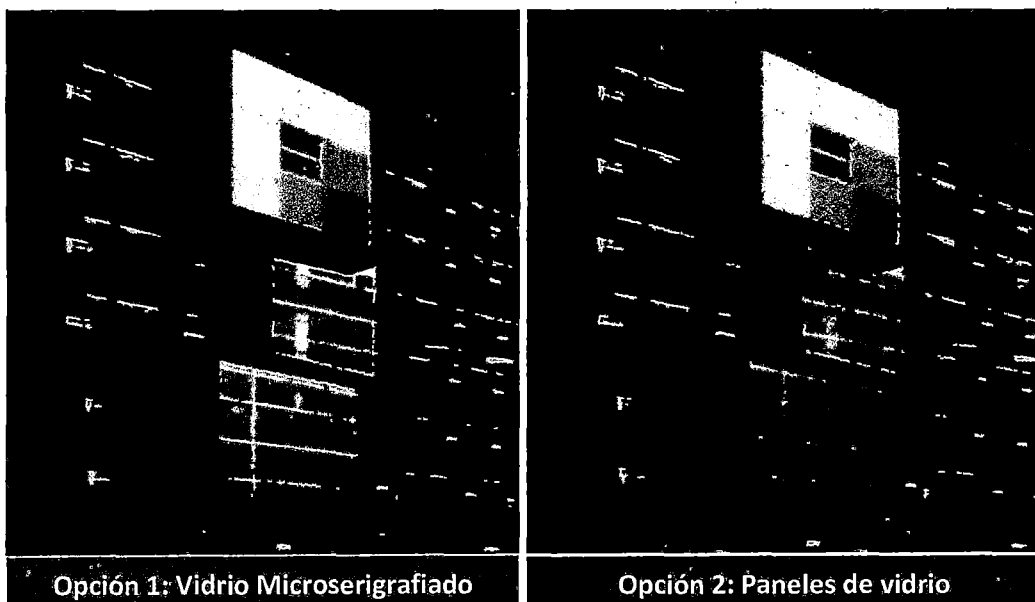


Figura N° 3.44: Usando el modelo para el diseño de las opciones de la iluminación de los muros cortina del proyecto. Integrando al Cliente

En el cuadro N° 3.4 se describen los puntos principales de las reuniones con el Cliente y los Proyectistas.

Cuadro N° 3.4.: Puntos principales de la participación del cliente en las rutinas de coordinación entre Contratista y Proyectistas.

VALORA LA GESTIÓN VDC	Mayor participación y compromiso del cliente en las decisiones del proyecto. Todos los involucrados en el proyecto podían tener una mejor concepción del alcance del proyecto agilizando los tiempos de respuestas de los RFI.
VALORA LA GESTIÓN BIM	La utilización del modelo BIM se volvió más dinámico y proactivo, ya que también se usó para ver el diseño de los ambientes de los pisos.
MÉTRICAS	4 reuniones ICE para definir el muro cortina del proyecto. Participación de 3 representantes del cliente.

b) Reuniones con el equipo de ejecución de Arquitectura en la Obra

A pesar de que la investigación corresponde a la etapa de construcción del proyecto, es decir solo el casco (estructuras) y las instalaciones del proyecto, más no se contempla como estudio la etapa de acabados y acondicionamientos de arquitectura, se trabajó mucho con las definiciones de los detalles sobre la arquitectura. El enfoque VDC abarca la realización de un proyecto desde la etapa de diseño hasta la etapa de operación de la misma, por tal motivo era importante uno de los hitos estratégicos para la realización del proyecto, la entrega de la obra al equipo de ejecución de Arquitectura en el plazo establecido. Se realizó la integración del equipo de ejecución de Arquitectura desde las fases de Estructuras e Instalaciones. Se coordinaron reuniones con el equipo de Arquitectura⁽⁸⁾ (ver figura N° 3.45) para reducir los problemas naturales que se tendrían al entregarles la obra (entrega del casco y las instalaciones terminadas al 100%), como sucede normalmente en todos los proyectos.

⁸ El equipo de Arquitectura fue el encargado de la ejecución de los acabados y acondicionamientos de arquitectura, y entró a obra cuando estuvo terminado el Casco (Estructuras) y las Instalaciones del proyecto.

En las coordinaciones con el equipo de Arquitectura se analizaban diferentes tipos de propuesta de acabados y de materiales alternativos a usar que no habían sido resueltos por los diseñadores del proyecto. Los puntos que no estaban definidos en los detalles elaborados por los diseñadores eran discutidos en la reunión y se tomaban las decisiones sobre ellos, con las autorizaciones del Ingeniero residente de la Construcción y la Arquitecta Residente de los Acabados.

También se trabajaba la armonía que solicitaba la Arquitecta entre algunos elementos de la especialidad de Estructuras (vigas, columnas, escaleras y losas) con los ambientes (baños y oficinas) y elementos de arquitectura (parapeto, muros y volados).

Debido a que las reuniones empezaron antes de la construcción de los pisos y sótanos del proyecto se recibían indicaciones por parte de la arquitecta para el momento de la construcción de las columnas y del montaje de los aisladores que dividía a los sótanos de los pisos, y según su experiencia con la ayuda de los planos proyectados en la sala de reuniones ICE, recomendaba:

“A la hora de hacer esto asegúrense de que las cotas sean los que manden en los planos, porque no vaya a ser de que esta cota sea menor. Que por cosas constructivas esto se corre hacia el interior y queda justo con el ángulo de las puertas, y estas puertas no abren [...] Eventualmente si la puerta se descuelga, si la junta de acero se levanta son un peligro porque no van a abrir. Y esto acarrea una junta de evaluación.” – Residente de Arquitectura y Acabados.

En todo momento se hacía uso del modelo BIM del proyecto para las visualizaciones de los ambientes, elementos estructurales y arquitectónicos que se estaban discutiendo en cada reunión. Pero también era muy importante el uso de los planos en 2D ya que todavía el uso del BIM para los proyectos en Lima estaba comenzando y dando sus inicios. Así como para algunos de los participantes de las reuniones, no tenían mucha experiencia en reuniones usando el modelo 3D BIM por lo que preferían trabajar con los planos 2D del proyecto. Uno de los participantes de la reunión al ver cómo era manejado el modelo por parte de un ingeniero de Soporte BIM se refirió a su uso:

“A mí eso me parece genial para ver las interferencias, pero para resolverlas prefiero verlas en 2D” – Residente de Arquitectura y Acabados.

Sin embargo cuando se requería visualizar los ambientes y sus elementos (muros, vigas y columnas) para discutir y definir las soluciones más críticas, hacían uso del modelo 3D con cierto nivel de dificultad al comienzo.

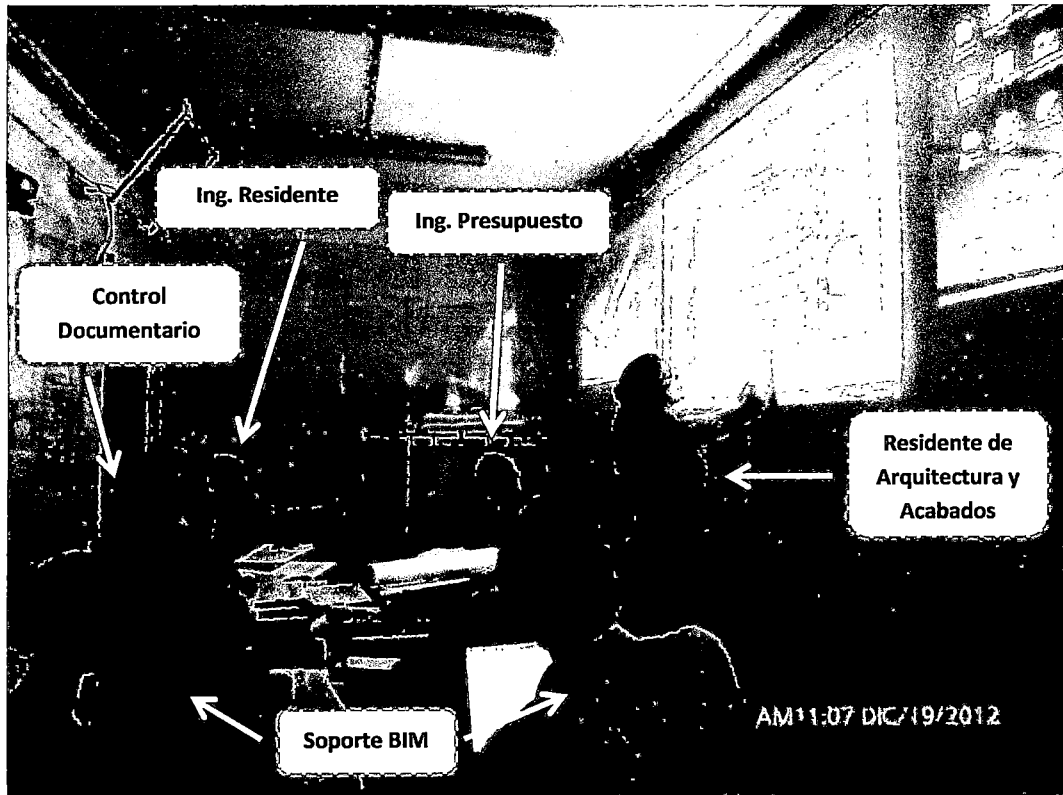


Figura N° 3.45.: Reuniones de coordinación con el Residente de la Etapa de Arquitectura y Acabados del proyecto, para anticiparse en la resolución de problemas que se generarían en la entrega de obra.

En el cuadro N° 3.5 se describen los puntos principales de las reuniones ICE con el equipo de ejecución de Arquitectura.

Cuadro N° 3.5.: Puntos principales de las reuniones ICE con el equipo de ejecución de Arquitectura

HITO ESTRATEGICO VDC	La entrada del equipo de Arquitectura al proyecto significó un HITO muy importante VDC para el equipo de la etapa de Construcción. Se debía entregar la Obra a "Arquitectura" en el plazo establecido.
ANTICIPACIÓN EN LA RESOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS	Una de las iniciativas del enfoque VDC que se estaban practicando era la anticipación y la predicción de los problemas en la fase de Arquitectura. Y eran resueltas mucho antes, desde las fases de Estructuras (Casco) e Instalaciones.
COMPROMISOS	La participación en las reuniones ICE de los Residentes de la Construcción (Casco e Instalaciones) y Arquitectura generaba compromisos entre ambas fases a la hora de resolver los problemas comunes y de una manera colaborativa.
PARTICIPANTES PRINCIPALES EN LAS REUNIONES	Ing. Residente de la etapa de construcción, Arq. Residente de la fase de Arquitectura, Jefe de Ingeniería de Oficina Técnica, Ing. de Control Documentario, Ing. de Presupuesto de Oficina Técnica, Equipo de Soporte BIM.

c) Reuniones con el equipo de soporte BIM en Obra para resolver interferencias e incompatibilidades

Una parte de las deficiencias de los documentos traídos del diseño son reveladas cuando el proyecto es modelado en 3D, en especial deficiencias de los planos y las especificaciones técnicas. Las interferencias, las incompatibilidades y los conflictos entre los distintos objetos 3D que contienen los modelos (Arquitectura, Estructura, ACI, IIEE, IISS) son detectados cuando el equipo de soporte BIM integra estos modelos 3D con softwares de gestión BIM como el Autodesk Naviswork Manage. Generando reportes de interferencias y conflictos plasmados en los RFIs-BIM que deben ser resueltas en una reunión de coordinación en la que deben participar todos los involucrados.

Estos reportes deben ser revisados y analizados minuciosamente, ya que no todas las interferencias detectadas automáticamente por estos programas pueden ser relevantes para los procesos de coordinación, haciendo distinción de

las interferencias leves (p.e. entre una tubería y un muro) de las interferencias críticas (p.e. entre un ducto y una bandeja eléctrica). (Vladimir Alcantara, 2013).

Las reuniones de coordinación se realizaban semanalmente con los ingenieros del equipo de soporte BIM y los ingenieros de oficina técnica del proyecto (ver figura N° 3.46) para resolver el reporte de interferencias (RFIs-BIM). En la sala de reuniones del proyecto, se podían abrir los planos y el modelo (proyectados en las paredes acrílicas) ya que todas las computadoras del proyecto estaban conectadas a una red de acceso, que contenía toda la base de datos del proyecto (planos, documentos, fotos, cronograma, etc). Cada reunión contaba con un facilitador por parte del equipo de soporte BIM, quien manejaba el modelo y el reporte de interferencias. Otro ingeniero del equipo de soporte BIM, quien dirigía la reunión (también llamado Líder BIM), era el que promovía el análisis y las discusiones entre los participantes y anotaba las decisiones tomadas para su control. Los demás participantes analizaban las interferencias en el modelo, discutían sobre las posibles soluciones y resolvían cada interferencia.

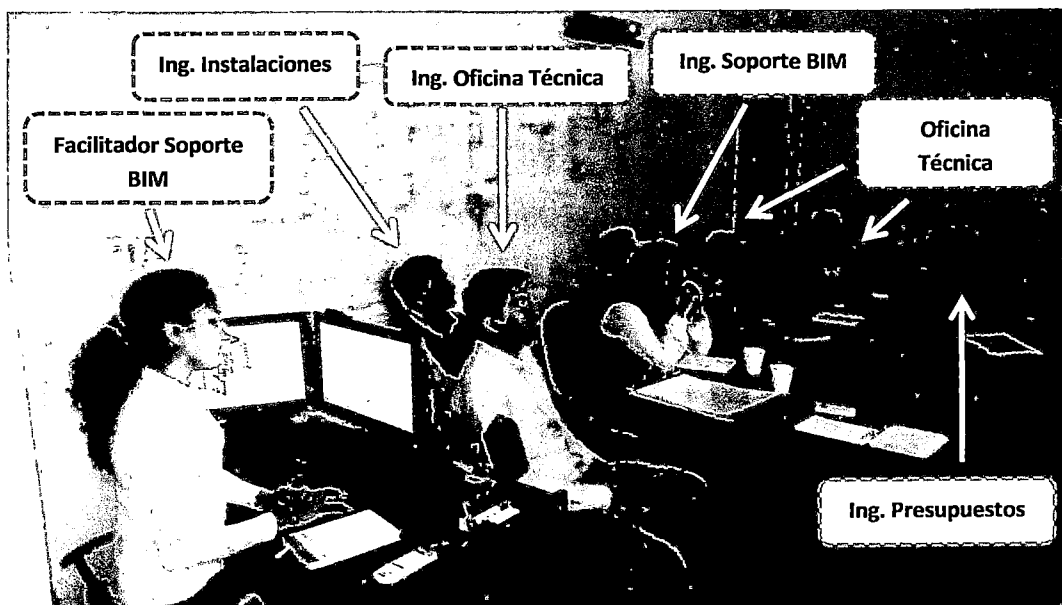


Figura N° 3.46.: Participantes de la reunión de coordinación con el equipo de soporte BIM para levantar las interferencias detectadas en el Modelo.

Las reuniones de coordinación con el equipo de soporte BIM empezaron la primera semana de noviembre del 2012 dándose lugar en la sala de reuniones del proyecto equipado con 3 proyectores y paredes acrílicas. Una de las reuniones más importantes dada a inicios de enero del 2013 fue llamada y agendada por los ingenieros de oficina técnica como “Reunión de entrega del modelo BIM” (ver figura N° 3.47). La reunión de entrega del modelo consistió en entregar o transferir el modelo elaborado por el equipo de soporte BIM al equipo de trabajo del proyecto (oficina técnica) para que sea de su responsabilidad y realicen en colaboración el levantamiento de las interferencias e incompatibilidades del modelo.

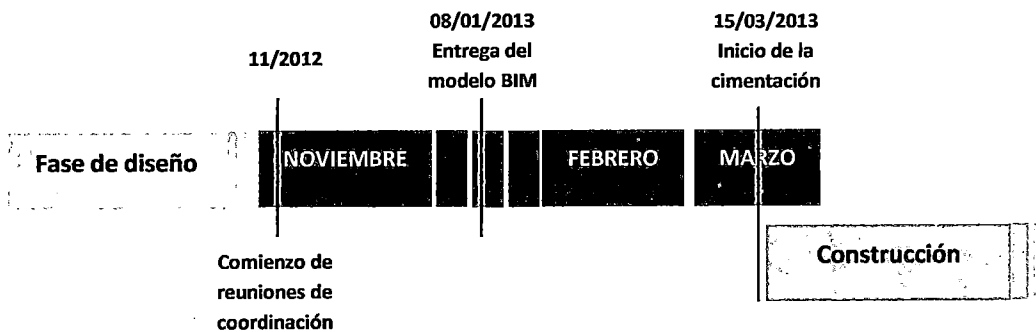


Figura N° 3.47.: Línea de tiempo de las reuniones de coordinación con el equipo de soporte BIM

La siguiente figura N° 3.48 muestra una reunión para levantar las interferencias del proyecto en la sala ICE, la cual se realizaba en el lugar de trabajo y se levantaban los reportes de interferencias generados del “clash detection” (Naviswork).

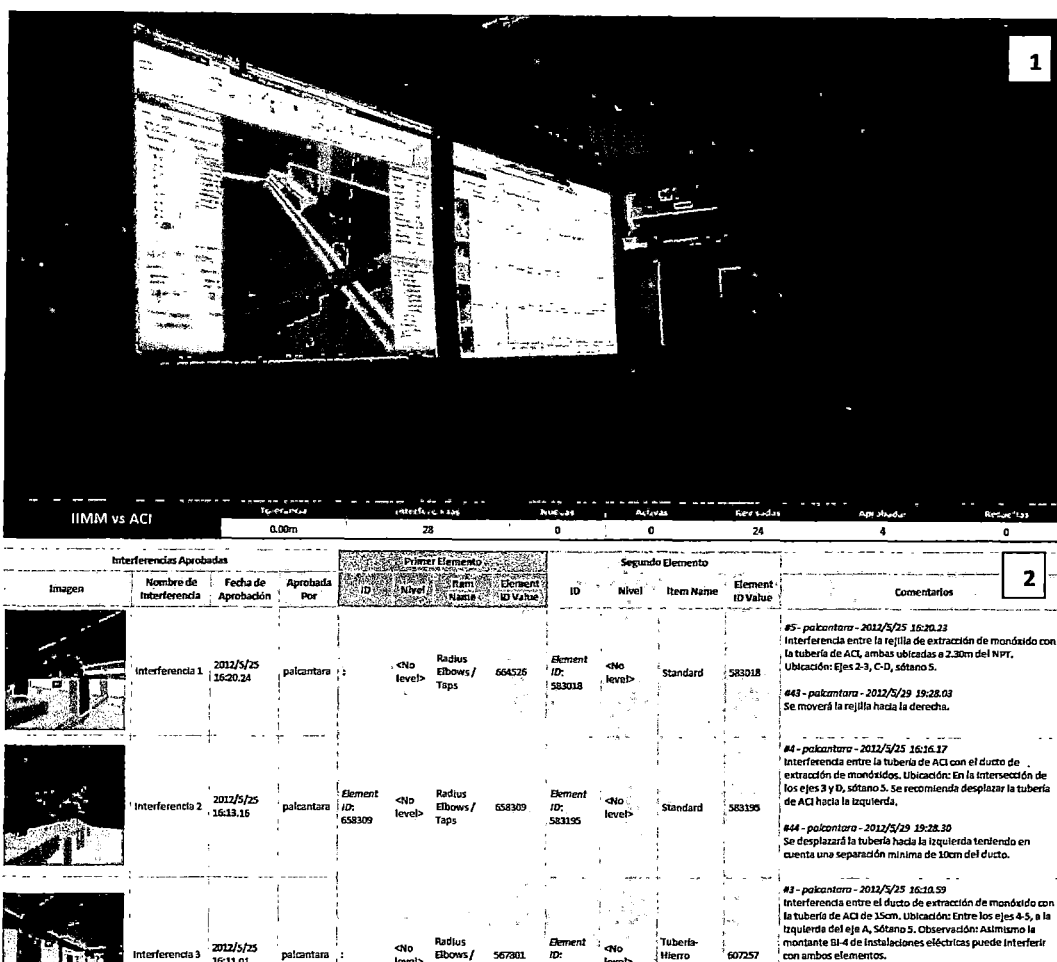


Figura 3.48.: (1) Reuniones con Soporte BIM en obra para resolver las interferencias. (2) Un modelo de reporte de interferencias que se analiza, discute y resuelve en una reunión de coordinación.

El objetivo VDC de las coordinaciones con el equipo de soporte BIM era el levantamiento de las RFI-BIM antes de empezar el proyecto. Y para fines de marzo del 2013, tres meses después, se tenía casi el 78% de las RFI-BIM levantadas (ver acápite 4.2). EL problema que presentaban los modeladores del equipo de soporte BIM a mediados del mes de marzo del 2013 era que no se tenía el modelo de arquitectura actualizada al 100% y que limitaba algunas soluciones de las interferencias.

La siguiente figura N° 3.49 muestra como quedaba el modelo compatibilizado después de la toma de decisiones por parte del equipo de trabajo (Oficina técnica y Soporte BIM).

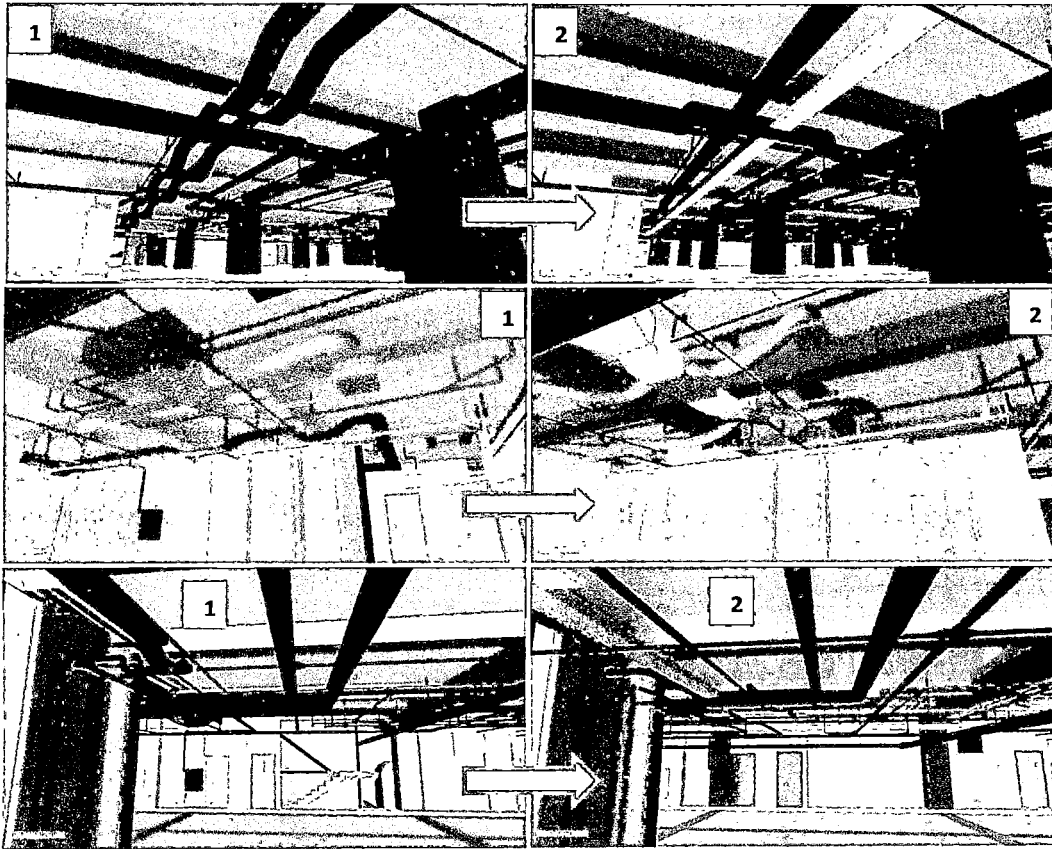


Figura 3.49.: (1) Modelo con interferencias según los planos del Diseño. (2) Modelo compatibilizado después de una reunión con Soporte BIM en campo.

d) Coordinación entre especialidades de la Contratista, reuniones semanales de la obra

La comunicación y coordinación entre las especialidades se daba para la compatibilización del proyecto, esta gestión involucraba principalmente a las compatibilizaciones entre Arquitectura, Estructuras, Instalaciones eléctricas, Instalaciones Sanitarias y Agua Contra Incendio desarrolladas con las reuniones de coordinación (reuniones con el Cliente, con los Proyectistas, con Arquitectura, con Soporte BIM y con los Proveedores). Y toda la información e ingeniería resuelta se informaba a todo el equipo de la Contratista en las "reuniones de obra" para llevarlas a la construcción (ver figura N° 3.51).

Las "reuniones de obra" se daban 2 veces por semana y participaba todo el equipo de trabajo de la Contratista (Oficina técnica y Producción), como se aprecia en la figura N° 3.50, donde se les informaba de las decisiones tomadas y del estado de la ingeniería del proyecto; es decir de las resoluciones de los RFI, los detalles de ingeniería para construir, los procesos mejorados de las actividades como resultado del mapeo de procesos⁹ y las restricciones que todavía quedaban pendientes para tomar las siguientes decisiones.

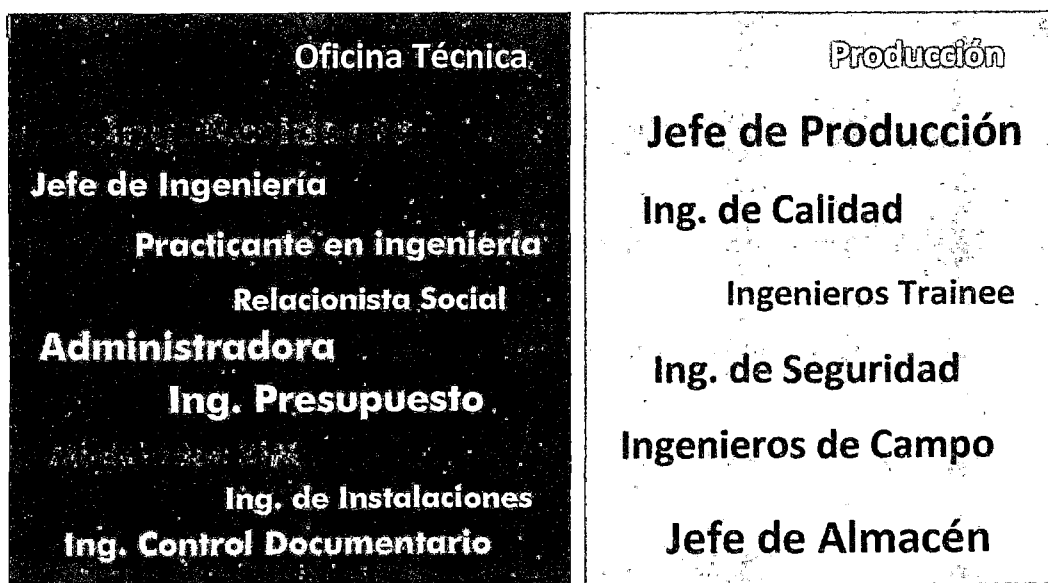


Figura N° 3.50.: Equipo de trabajo multidisciplinario de la contratista, Oficina técnica que estaba instalada muy cerca del área de trabajo y Producción que operaba en el mismo lugar de trabajo.

⁹ En esta investigación no se describió el uso del mapeo de procesos que es uno de los pilares de la metodología VDC.

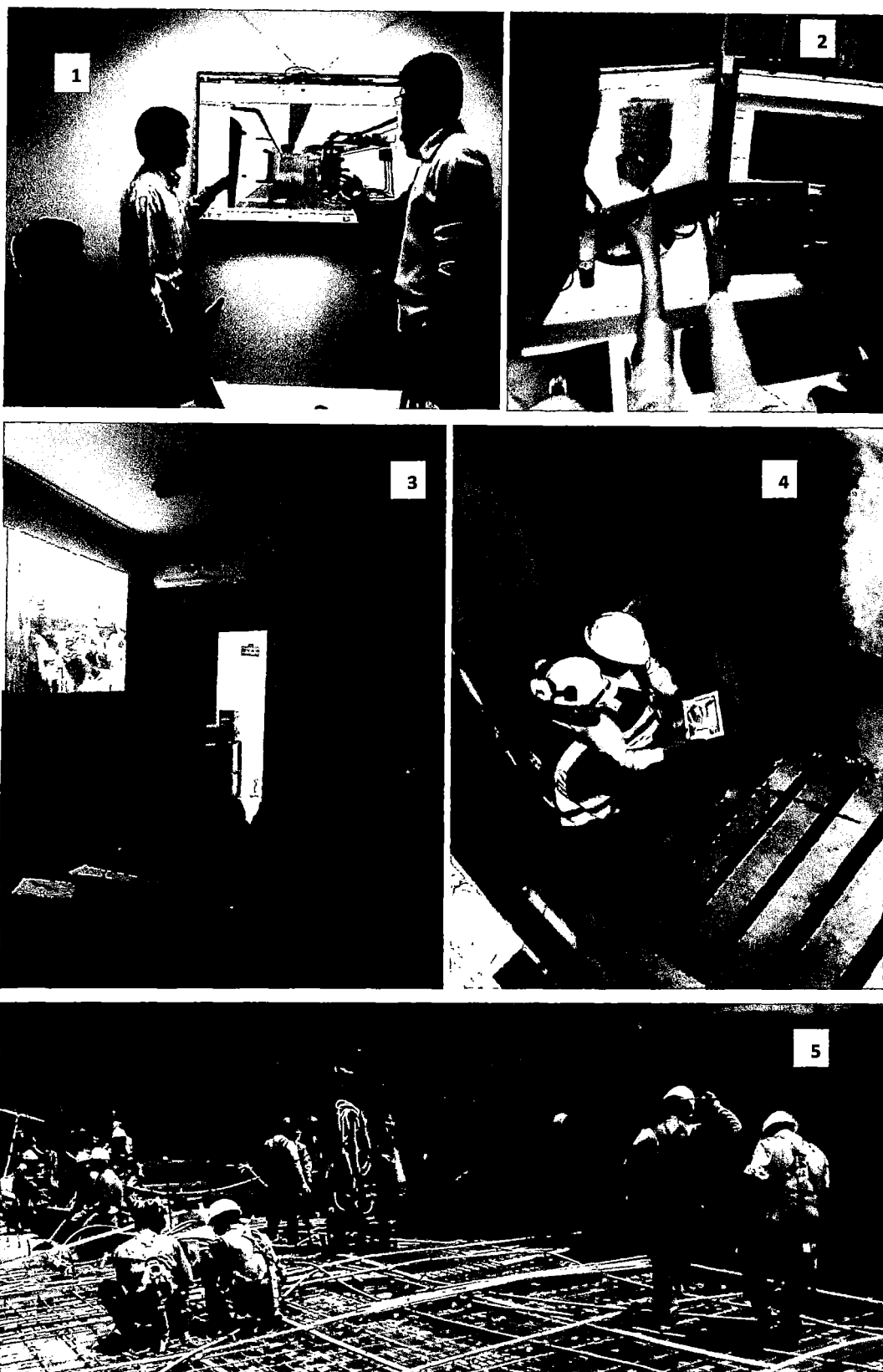


Figura N° 3.51.: (1) Gestionar las especialidades con BIM-ICE. (2) Para usar el modelo en oficina técnica. (3) Y "reuniones de obra" para mejorar la constructabilidad. (4) De esa manera poder acceder a la información en campo. (5) Superando los problemas de ingeniería en la construcción.

e) Reuniones de Producción

Las reuniones de Producción es quizá una de las más importantes sesiones de programación de la Contratista, debido a que su fin es plasmar definitivamente en campo (La construcción) toda la planificación y documentación elaborada por los proyectistas y diseñadores. El rol de la aplicación VDC en el proyecto es lograr un buen flujo de la información desde el Diseño hasta la Construcción y lograr de esta manera que se construya todo lo que se diseña incluido los cambios.

Estas reuniones de producción en el proyecto se iniciaron en Mayo del 2013 y se llevaban a cabo semanalmente en la sala de reuniones ICE del proyecto con los Ingenieros de Producción, Proveedores, Maestro de Obra, Capataces de las diferentes especialidades (Acero, Concreto y Encofrado) y los Subcontratistas. Se trabajaba de manea integrada entre los involucrados y se daban las instrucciones de trabajo con la ayuda del modelo BIM 3D y las visualizaciones 4D de las actividades a realizar.

Fundamentalmente estas reuniones de Producción con apoyo virtual se hicieron para reducir los problemas de la información en el sitio de trabajo. Lograr Mejorar la comunicación y la coordinación de todas las operaciones del proyecto, obteniendo del modelo información geométrica, cantidades y vistas del modelo para crear mejores instrucciones de trabajo. Otro objetivo VDC planteado era que todos los participantes empiecen a conocer las rutinas de trabajo con BIM – VDC y contribuyan a la facilidad de la construcción (ver figura N° 3.52).



Figura N° 3.52.: Reunión de Producción en la sala ICE del proyecto. Se buscaba integrar a los Subcontratistas en las tomas de decisiones entre los capataces e ingenieros de Campo, y de esa manera hacer la construcción más fácil.

Uno de los puntos importantes de las reuniones de Producción era que se trabajaba la *Constructabilidad del Proceso Constructivo*¹⁰, esto quiere decir que los expertos de construcción (como los ingenieros y maestros de obra) revisan la secuencia constructiva, modelada por soporte BIM, a través de modelos 4D (ver acápite 3.5). Los modelos 4D eran proyectados en la sala ICE y se visualizaban los procesos constructivos de muchas actividades del cronograma de obra, y en cada reunión se trataba de anticipar la mayor cantidad de imprevistos posibles que podrían ocasionarse en las ejecuciones reales de construcción con 3 semanas de anticipación para cada actividad a ejecutarse de acuerdo al look ahead del proyecto.

Principalmente en las reuniones se revisaba el plan semanal de ejecución con las restricciones del proyecto ya levantadas en las *reuniones semanales de Obra* (Producción y Oficina Técnica). Dando una retroalimentación al equipo de lo que se va a hacer en la semana, los procedimientos constructivos, las tareas y cuáles son los entregables, es decir el producto a construir.

Entonces así se conseguía un Output mejorado de la planificación 4D teniendo como un plus a favor la experiencia de los trabajadores plasmado en el modelo y

¹⁰ También existe la definición de *Constructabilidad del Diseño*, donde los expertos de construcción revisan el impacto del diseño en la construcción a través del modelo 3D pudiendo usar como herramienta el Navisworks.

a consecuencia de la integración fue aumentando la participación de los capataces, maestro de obra y proveedores en las reuniones a medida que se familiarizaban con las reuniones ICE y el uso de BIM (modelo 3D, 4D). Ver figura N° 3.53.

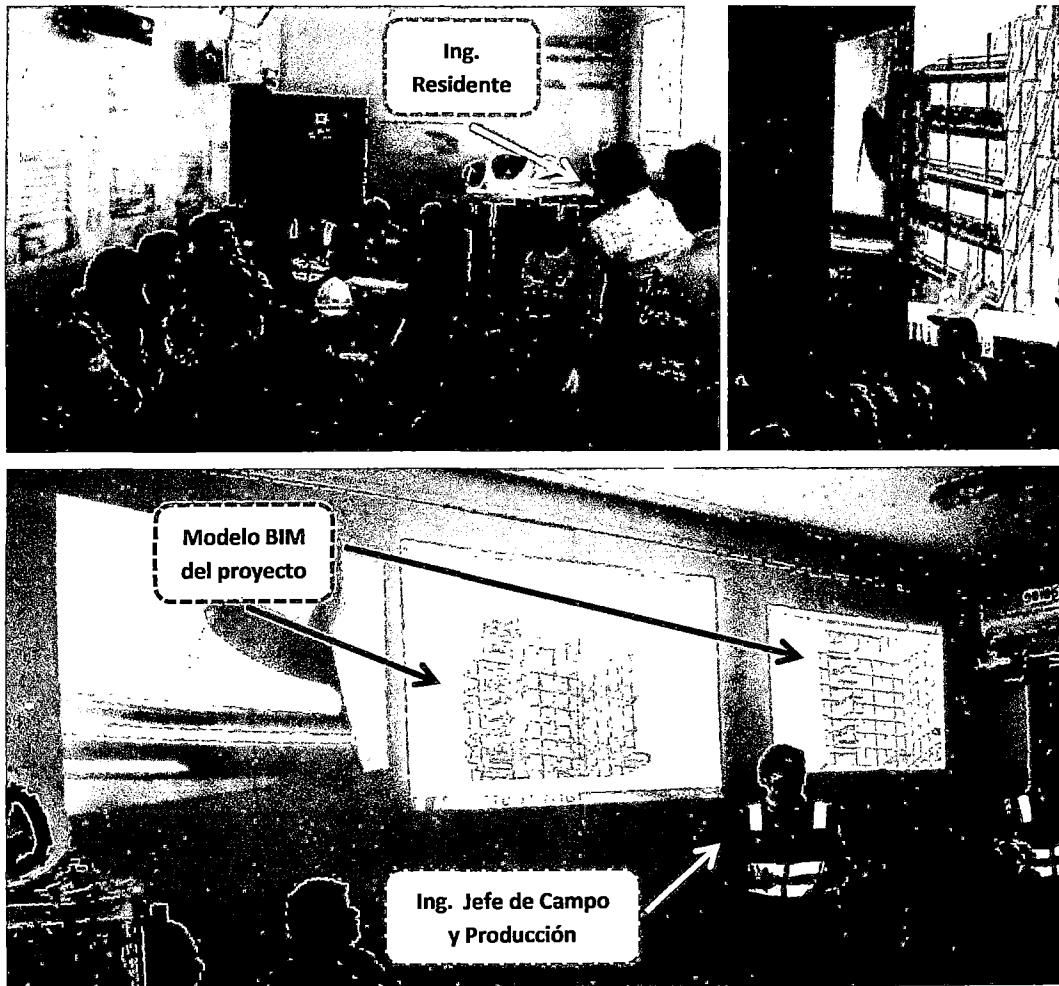


Figura N° 3.53.: Uso de herramientas BIM en la obra para visualizaciones de procedimientos constructivos y revisiones del plan semanal.

En el cuadro N° 3.6 se describen los puntos principales de las reuniones del equipo de Producción de obra.

Cuadro N° 3.6.: Puntos principales de las reuniones de Producción.

ANTICIPACION DE LOS IMPREVISTOS EN LA EJECUCIÓN	La participación de todos los involucrados claves, añadiendo sus experiencias en proyectos pasados generaba una colaboración para identificar y anticiparse a los imprevistos que se ocasionarían en la construcción. Revisando las secuencias constructivas 4D.
VALOR A LA GESTIÓN BIM	Apoyo BIM para la planificación y programación del proyecto. Modelo 3D y modelamiento 4D de los procesos constructivos
VALOR A LA GESTIÓN VDC	Facilitar la construcción del proyecto con la integración de los capataces, maestro de obra y subcontratistas en una habitación ICE. Mejor Constructabilidad en el proyecto.
PRICIPANTES EN LAS REUNIONES	Ing. Residente, Ingenieros de Producción, Ing. de Seguridad, Ing. Control Documentario, Capataces (Acero, Concreto y Encofrado), Maestro de Obra y Subcontratistas.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LAS MÉTRICAS USADAS EN EL PROYECTO

Las métricas POP se pueden utilizar para hacer una evaluación del rendimiento del producto, organización y procesos en todo momento durante el proceso de diseño y construcción. Los actores involucrados en el proceso de diseño y construcción pueden utilizar esta evaluación para gestionar y dirigir el proceso a lo largo del camino. (Schrama, 2011).

4.1.1 Valor de las métricas para la gestión de la contratista

Tal como lo señala Schrama, los actores involucrados que llevaron a cabo el seguimiento de las 28 métricas en el proyecto (tablas N° 3.3 y N° 3.4) pudieron concluir el valor del uso de cada métrica para la gestión VDC de la contratista, como resultado de la experiencia en el seguimiento de estas métricas.

Los involucrados que calificaron cada valor para la gestión, de las 28 métricas, fueron el ingeniero residente, el jefe de ingeniería y el jefe de soporte BIM de la contratista. Las tablas N° 4.1 y N° 4.2 indican el valor para la gestión de cada métrica usadas en el proyecto.

Tabla N° 4.1.: Valor para la gestión de la contratista de las métricas de proceso, evaluadas por los principales involucrados en la aplicación de la metodología VDC para el proyecto (elaboración propia).

Descripción	Valor objetivo	Tiempo de uso	Valor para la gestión
PRODUCTO			
Actualización del modelo	90% de las RFIs incorporadas en el modelo cada fin de mes	Diciembre 2012 – Diciembre 2013	Actualización del modelo para planificación 4D
Entrega del modelo as-build para la operación	100% del modelo ejecutado 15 días después de la finalización del proyecto	Diciembre 2012 – Diciembre 2013	Actualización del modelo para que le sirva al cliente en la etapa de operación
Cantidad de nuevas oportunidades para mejorar el resultado de la construcción	≥ 4	Agosto 2013 – Diciembre 2013	Podemos mejorar nuestros resultados en tiempo y costo.

Descripción	Valor objetivo	Tiempo de uso	Valor para la gestión
Obtener cantidades a través del modelo	70%	Diciembre 2012 – Enero 2013	Reducción de estimaciones manuales de cantidades
Seguimiento de la actualización del modelo	Actualizar >90% de RFIs resueltas cada mes	Febrero 2013 – Octubre 2013	Tener la última versión de información en el modelo para planificación en 4D
ORGANIZACIÓN			
Garantizar el flujo de nuestras actividades a través de las reuniones ICE	Disminuir a 0 las no conformidades de proceso e información en el sitio de trabajo	Febrero 2013 – Diciembre 2013	Disminuir las pérdidas por paradas en el flujo de nuestras actividades
Aumentar y asegurar la innovación y la ingeniería de la construcción	Tenemos que encontrar 4 nuevas oportunidades para mejorar el resultado de la construcción	Mayo 2013 – Julio 2013	Podemos mejorar nuestros resultados en tiempo y costo
Reuniones ICE para revisar el look ahead y metrados del sector	100%	Febrero 2013 – Mayo 2013	Medir la confiabilidad del programa y comparar los metrados por sectores obtenidos del modelo BIM
Implementar el uso de un modelo BIM en reuniones de programación semanal	75% de todas las reuniones semanales	Julio 2013 – Octubre 2013	Reducir los errores de programación y tener una mejor comprensión de esta. Además, medir la fiabilidad del programa comparando los metrados del sector obtenidos del modelo BIM
Monitoreo de la utilización de herramientas BIM	>90% por el personal	Febrero 2013 – Octubre 2013	Asegurar la capacidad del personal
PROCESO			
Promedio de respuesta de RFIs en la ejecución de proyectos	<= 7 días (actual 15 días)	Enero 2013 – Diciembre 2013	Disminución de atrasos por falta de ingeniería y se puede ver con el PPC. La producción tendrá siempre la información confiable
Levantamiento de RFIs-BIM antes de iniciar el proyecto	100% de RFIs-BIM 3 meses después de la entrega del modelo	Diciembre 2012 – Diciembre 2013	Eliminación de interferencias e incompatibilidades encontradas en el modelo
RFIs de ingeniería	Durante la construcción los RFIs de ingeniería serán solo el 10% del total	Febrero 2013 – Julio 2013	Disminuir las pérdidas por paradas en el flujo de nuestras actividades
Detectar las interferencias geométricas de los proyectos durante el proceso de modelado	80%	Diciembre 2012 -	Confiabilidad en el diseño

Descripción	Valor objetivo	Tiempo de uso	Valor para la gestión
Promedio de respuestas de RFIs	3 días (normalmente 15 días)	Diciembre 2012 – Enero 2013	acelerar el fin del proceso de diseño y priorizar el uso de recursos en la planificación de la gestión de proyectos

Tabla N° 4.2.: Valor para la gestión de la contratista de las métricas de resultado, evaluadas por los principales involucrados en la aplicación de la metodología VDC para el proyecto (elaboración propia).

Descripción	Valor objetivo	Tiempo de uso	Valor para la gestión
PRODUCTO			
Delta de beneficio proyectado	$\geq 2\%$	Mayo 2013 – Diciembre 2013	Podemos mejorar nuestros resultados en costo
Conseguir un modelo BIM de la construcción (estructura)	100%	Febrero 2013 – Finalización de la etapa de construcción	Obtener planos de construcción (estructura)
ORGANIZACIÓN			
Añadir valor a los clientes a través de mejoras de ingeniería en los proyectos.	4 mejoras de ingeniería	Diciembre 2012 – finalización de la etapa de construcción	Mejorar la satisfacción del cliente a través de iniciativas de inclusión y la documentación para los proyectos futuros.
Aumentar y asegurar la innovación y la ingeniería de la construcción	Con reuniones ICE donde tenemos que encontrar 4 oportunidades para mejorar la construcción	Febrero 2013 – finalización de la etapa de construcción	Podemos mejorar nuestros resultados de tiempo y costo
Realizar la programación semanal del proyecto utilizando un modelo BIM.	$> 90\%$	Febrero 2013	Reducir los errores de programa y obtener los metrados del sector automáticamente del modelo BIM
Realizar la programación semanal del proyecto utilizando un modelo BIM.	$> 75\%$	Marzo 2013 – Junio 2013	Reducir los errores de programa y obtener los metrados del sector automáticamente del modelo BIM
Capacitar al personal de producción acerca de las herramientas BIM.	$> 80\%$	Febrero 2013 – Abril 2013	Mejorar las habilidades del personal para usarlos en otros proyectos
Tener 2 personas capaces de manejar herramientas BIM al final del proyecto.	2 personas	Mayo 2013 – Finalización de la etapa de construcción.	Mejorar las habilidades del personal para usarlos en otros proyectos

Descripción	Valor objetivo	Tiempo de uso	Valor para la gestión
PROCESO			
Identificación de RFIs-BIM antes de comenzar el proyecto	>=40 RFIs por mes antes de comenzar el proyecto	Diciembre 2012 – Enero 2013	Reducción de las RFIs en la fase de ejecución del proyecto
Identificación de RFIs-BIM antes de comenzar el proyecto	>=20 RFIs por mes antes de comenzar el proyecto	Febrero 2013 – Antes de comenzar el proyecto	Reducción de las RFIs en la fase de ejecución del proyecto
Solución de las RFIs BIM	>= 95 %, 1 mes antes de comenzar las actividades	Diciembre 2012 – Diciembre 2013	Control e identificación de la ingeniería crítica para la fase de construcción y especialidades.
Aseguramiento de nuestra política de entrega antes de la fecha límite	Medir nuestro progreso sobre la fecha límite	Febrero 2013 – Diciembre 2013	Tener la certeza que nuestro proyecto se entregue antes de la fecha límite
Delta de cronograma	>=2%	Mayo 2013 – Agosto 2013	Tener la certeza que nuestro proyecto se entregue antes de la fecha límite

4.1.2 Resultados y análisis del seguimiento de las métricas VDC en el proyecto

En el proyecto se desarrollaron 28 métricas descritas en las tablas N° 3.3 y N° 3.4 del capítulo III, entre métricas de procesos y métricas de resultados, relacionadas al producto, organización y procesos (POP). De todas estas métricas solo se analizan, a continuación, 17 métricas de las cuales se pudo recoger el seguimiento y los resultados brindados por los ingenieros de la contratista.

En el presente acápite se desarrollan los resultados obtenidos del seguimiento que se hizo a cada métrica en los meses que fueron monitoreados, así como el análisis y sus estados evaluados⁽¹¹⁾.

Ejemplos de los 3 tipos de estados evaluados en las métricas:

Nombre objetivo	Valor objetivo	Tolerancia (+-Δ)	Valor medido	Estado evaluado
Seguimiento de la actualización del modelo	Actualizar >90% de RFIs resueltas cada mes	5%	100%	3 (bueno)

Nombre objetivo	Valor objetivo	Tolerancia (+-Δ)	Valor medido	Estado evaluado
Identificación de RFIs-BIM antes de comenzar el proyecto	>=40 RFIs por mes antes de comenzar el proyecto	5	30	2 (regular)

Nombre objetivo	Valor objetivo	Tolerancia (+-Δ)	Valor medido	Estado evaluado
Levantamiento de RFIs-BIM antes de iniciar el proyecto	100% de RFIs-BIM 3 meses después de la entrega del modelo	5%	78%	1 (malo)

¹¹ Los estados evaluados son explicados en las tablas N° 3.1 y N° 3.2 del capítulo III:

*Verde (3), bueno; si el valor medido se encuentra dentro del rango de tolerancia (dentro +-Δ).

*Amarillo (2), regular; si el valor medido se encuentra fuera del rango de tolerancia (fuera de +-Δ) pero no excede al valor de 2 veces la tolerancia (no pasa de +-2Δ).

*Rojo (1), malo; si el valor medido excede el valor de 2 veces la tolerancia (fuera de +-2Δ).

Métricas de proyecto N° 1 y N° 5 (tabla N° 3.3):

El seguimiento de la actualización del modelo consistió en lograr actualizar más del 90% de las RFIs resueltas cada mes en el proyecto al modelo BIM, y todas estas actualizaciones fueron elaboradas por soporte BIM. Ellos pudieron plasmar en el modelo la ingeniería resuelta mediante las RFIs entre los meses de marzo y septiembre del 2013. La figura N°4.1 muestra el porcentaje de actualizaciones de las RFIs mensuales del proyecto en el modelo (ordenadas) vs los meses que duró esta actividad (abscisas).

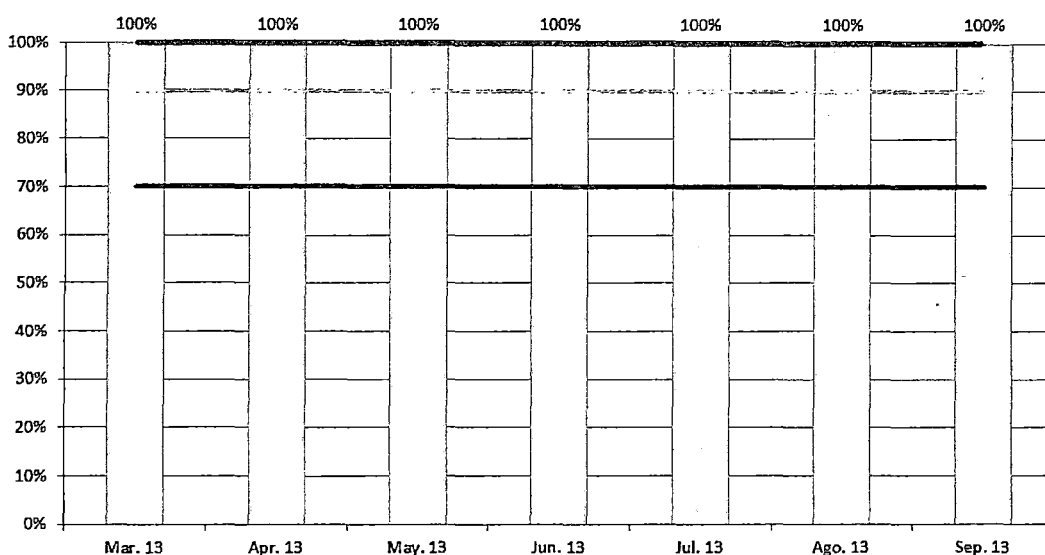


Figura N° 4.1.: Diagrama de barras del porcentaje de las RFIs resueltas que fueron actualizadas en el modelo cada mes. La línea verde indica el porcentaje máximo (100%), la línea amarilla el porcentaje aceptable (90%) y la línea roja el porcentaje mínimo (70%).⁽¹²⁾

Del diagrama de barras se observa que el equipo de soporte BIM logró actualizar todos los meses en el modelo, el 100% de las RFIs resueltas cada mes en el proyecto. Esto indica que el equipo de soporte BIM tuvo la capacidad de lograr el 100% de la métrica propuesta desde que comenzó la actividad en marzo del 2013 hasta septiembre del mismo año.

¹² Las líneas verde, amarillo y rojo del porcentaje máximo, aceptable y mínimo respectivamente; fueron propuestas por el jefe de soporte BIM y no representan necesariamente a los colores que se está usando para medir el estado evaluado de cada métrica.

Y si le asignamos un valor de tolerancia de $\pm 5\%$ podemos obtener el siguiente estado evaluado:

Nombre objetivo	Valor objetivo	Tolerancia (+- Δ)	Valor medido	Estado evaluado
Seguimiento de la actualización del modelo	Actualizar >90% de RFIs resueltas cada mes	5%	100%	3 (bueno)

Nos resulta un estado evaluado "bueno" ya que los resultados fueron todos por encima del valor objetivo.

Métricas de proyecto N° 3, N° 7 (tabla N° 3.3) y N° 19 (tabla N° 3.4):

La gestión VDC de la contratista buscó 4, o más, nuevas oportunidades para mejorar y asegurar el resultado de la construcción y la innovación en cada mes. El ingeniero residente fue el encargado de hacer el cumplimiento de estas métricas mediante las reuniones ICE y de reportar los resultados al programa de certificación VDC del CIFE (Stanford). La tabla N°4.3 detalla los resultados obtenidos de estas métricas en los meses que fueron monitoreadas y sus parámetros que fueron optimizados.

Tabla N° 4.3.: Mejoras e innovaciones de la ingeniería y la construcción registradas en el proyecto – 2013 (elaboración propia)

Mes	Propuesta	Objetivo	Estado	Resultado	Parámetro inicial	Parámetro final
Enero	Usar pilotes	Estabilización de la subestación con pilotes y empezar	Satisfactorio	La subestación se construyó de manera más fácil	Programación: 7 meses	Tiempo real: 5 meses
Enero	Nuevo sistema de excavación	Podríamos usar una nueva máquina para excavar	Satisfactorio	Se terminó antes del cronograma	Programación: 3 meses	Tiempo real: 2 meses
Enero	Rediseño de anclajes	Sugerimos cambiar el diseño	Satisfactorio	Se disminuyó la cantidad de anclajes	Inicial: 1256 ml de anclajes	Final: 816 ml de anclajes
Enero	Usar una nueva grúa	Nos vendría bien una nueva grúa para la excavación	Satisfactorio	Se terminó antes del cronograma	Programación: 3 meses	Tiempo real: 2 meses
Febrero	Usar pilotes	Empezar antes de lo planeado	Satisfactorio	Se pudo comenzar antes del plan	Comenzar: Febrero 2013	Inicio: Diciembre 2012
Febrero	Usar un nuevo sistema de losas	Estamos utilizando un sistema de losas postensadas	Satisfactorio	Se usó menos tiempo en las losas	Programación: 2 meses	Tiempo real: 1.5 meses
Febrero	Usar un nuevo sistema de losas	Utilizar un sistema de losas postensadas	Satisfactorio	El propietario tuvo más espacio y menos tiempo en la construcción de sus estacionamientos.	Programación: 2 meses	Tiempo real: 1.5 meses
Febrero	Usar una nueva tecnología para vaciado del concreto	Estamos utilizando un brazo hormigonador	Satisfactorio	El vaciado del concreto fue más eficiente	Programación IP: 1 hh/m3	IP real: 0.8 hh/m3
Febrero	Usar aisladores sísmicos	Modelar los aisladores sísmicos y evaluar su impacto en el proyecto para decidir el cambio	Satisfactorio	Se decidió el uso de los aisladores sísmicos con la información del modelo	Programación: 2 meses	Tiempo real: 1 mes
Febrero	Usar concreto celular	Para una mejor acústica, confort y menos peso en el edificio	No se concretó	Con menos peso es más rápido y tiene menos acero	Programación: 4 meses	-

Febrero	Rediseñar la forma de trabajo	Cambiamos algunas medidas para estandarizarla	Satisfactorio	Se usó menos mano de obra	Programación IP: 1.2 hh/m2	IP real: 0.9 hh/m2
Febrero	Usar estructura de acero pre armado	Estamos utilizando la estructura de acero pero con pre-armados	Satisfactorio	Se usó menos mano de obra	Programación IP: 0.042 hh/kg	IP real: 0.039 hh/kg
Marzo	Modelar los aisladores sísmicos	Encontrar las interferencias y mejorar la colaboración entre las diferentes áreas del proyecto	Satisfactorio	Se gestionó el impacto de los cambios en el proyecto en 6 reuniones ICE, incluido los aisladores sísmicos	Programación: 1.5 meses	Tiempo real: 1 mes
Marzo	Modelar las uniones entre las columnas y vigas	Encontrar problemas con el acero	Satisfactorio	La cantidad de acero era muy alta y se utilizó conectores	Peso total	Peso final = 0.94 del peso total
Marzo	Modelar la grúa y el brazo hormigonador	Encontrar interferencias de desplazamientos entre estos equipos	Satisfactorio	Se encontró problemas y se cambió el tipo de grúa	Grúa torre MC 85	Grúa torre MC 115
Marzo	Modelar la programación	Tenemos que encontrar la mejor manera de construir el edificio	Satisfactorio	Se hizo muchos modelos con la programación	-	-
Abril	Cambio de junta sísmica	Aumentar junta sísmica	Satisfactorio	El propietario pudo ver la estructura peligrosa junto al proyecto y decidió cambiar la junta	Inicio: Marzo 2013	Inicio: Mayo 2012
Abril	Cambio del acabado de arquitectura	Reducir el costo sin disminuir la calidad	Satisfactorio	Con el uso de BIM los propietarios pueden ver diferentes propuestas de cambio	Inicio: Marzo 2013	Inicio: Abril 2012
Abril	Nueva ubicación del grupo eléctrico	Buscar un nuevo lugar para el nuevo tamaño del grupo eléctrico	Satisfactorio	Con el uso de BIM los propietarios pueden ver diferentes propuestas de cambio	Inicio: Marzo 2013	Inicio: Abril 2012
Abril	Nueva ubicación de la sub estación	Buscar un nuevo lugar para optimizar el espacio	Satisfactorio	Con el uso de BIM los propietarios pueden ver diferentes propuestas de cambio	Inicio: Marzo 2013	Inicio: Abril 2012
Abril	Usar BIM para la seguridad	Usar BIM en otras áreas	Satisfactorio	Todo el equipo pudo ver las propuestas de seguridad antes de entrar al lugar de trabajo	No se usó antes	Se usó esta herramienta en el proyecto
Abril	Usar BIM en MEP	Reducir las interferencias en salas técnicas	Satisfactorio	Se encontró más interferencias con las instalaciones	Al final del diseño estas salas deben tener 0 interferencias	125 interferencias en salas técnicas

Abril	Usar escaleras pre fabricadas	Reducir la variabilidad	Satisfactorio	Se disminuyó mano de obra especializada para esta actividad	Malos indicadores en esta actividad	Se hizo todo el montaje de las escaleras
Abril	Usar pre losas	Mejorar la productividad de este sistema	Satisfactorio	Se redujo horas hombre en apuntalamiento y encofrado de losa	Programación IP: 0.38	Programación IP: 0.31
Mayo	Unir vigas y losas	Mejorar el diseño en conjunto	Satisfactorio	Se encontró el mejor diseño en 1 reunión ICE entre diseñador y constructor	6 opciones de trabajos establecidos	7 opciones de trabajos establecidos
Mayo	Madures del concreto	Medir la resistencia del concreto en obra para agilizar los trabajos	Satisfactorio	Se hizo 1 reunión ICE de coordinación entre diseñador y constructor	7 días para tomar el encofrado	4 días para tomar el encofrado
Mayo	Usar BIM para supervisar el avance de la construcción	Uso de tablets para controlar el correcto avance de la construcción	Regular	Fue más fácil verificar el progreso en campo	-	-
Mayo	Usar BIM para hacer observaciones en el lugar de trabajo	Uso de tablets para hacer observaciones en una lista de verificación	Regular	Fue más fácil hacer las observaciones en campo	No se usó antes	Se usó esta herramienta en el proyecto
Junio	Mock Up en muro cortina	Construir una maqueta para buscar detalles	Satisfactorio	Con el uso de BIM los propietarios pueden ver diferentes propuestas de cambio	Programado: 10 meses	Tiempo real: 8 meses
Junio	Colocar un logo en el muro cortina	Reducir la latencia en las decisiones para el muro cortina	Satisfactorio	Con el uso de BIM los propietarios pueden ver diferentes propuestas de cambio	Programado: 2.5 meses	Real: 1.5 meses
Junio	Revisar el diseño de la nueva sala de reuniones en el edificio	Ver diferentes opciones de diseño de este ambiente y decidir rápidamente	No se concretó	Con el uso de BIM los propietarios pueden ver diferentes propuestas de cambio	Programado: 1 mes	-
Junio	Revisar el diseño del primer piso del edificio	Se necesita definir el diseño de la arquitectura del primer piso	Satisfactorio	Con el uso de BIM los propietarios pueden ver diferentes propuestas de cambio	Programado: 2 meses	Programado: 1 mes

La tabla N° 4.3 contiene 32 propuestas de mejoras e innovaciones para el proyecto, de las cuales 2 no se concretaron. Asimismo 5 propuestas, que también no fueron concretadas, no se registraron en esta tabla; haciendo un total de 37 propuestas de mejoras e innovaciones realizadas en el proyecto (ver figura N° 4.3).

Como se aprecia de la tabla anterior, la contratista logró 4, o más, mejoras de la ingeniería y la construcción en cada mes desde enero hasta mayo del 2013; mediante el uso de innovaciones en las actividades y con la herramienta potente del BIM. Cada mejora se sustentó con los parámetros finales medidos por el ingeniero residente.

El objetivo inicial de la contratista fue monitorear estas 3 métricas durante todo el 2013, sin embargo solo se tiene el registro de los 6 primeros meses (tabla N° 4.3). La figura N° 4.2 muestra la cantidad de mejoras (innovaciones) de la ingeniería proyectadas hasta diciembre del 2013 y la cantidad de mejoras (innovaciones) reales hasta junio del 2013.

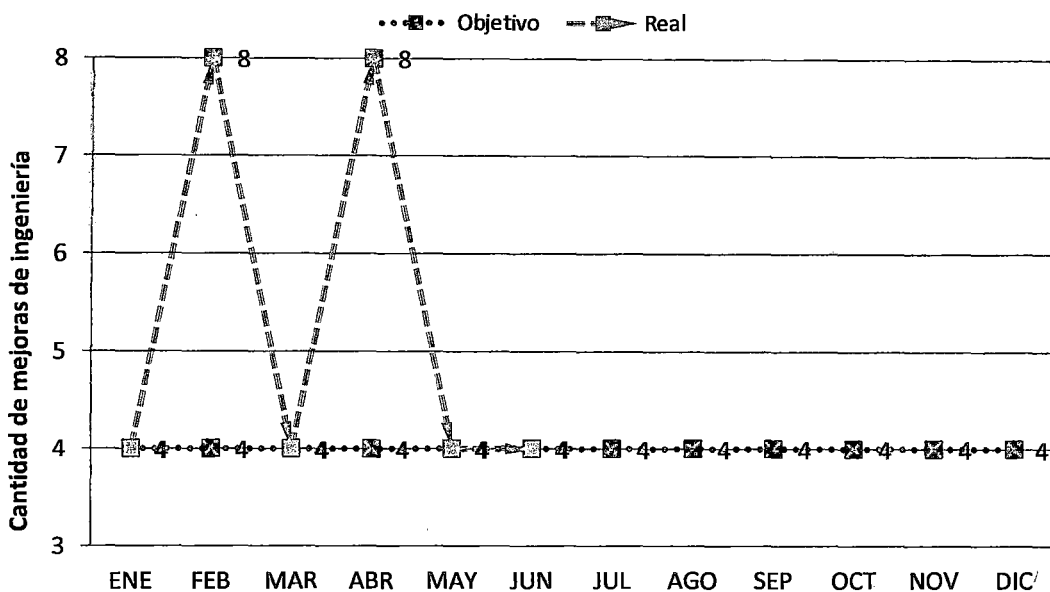


Figura N° 4.2.: Mejoras de la ingeniería e innovaciones registradas en el proyecto, cantidades reales vs cantidades objetivo mensual (2013).

De la gráfica se puede calcular que el promedio de mejoras en los 6 meses registrados es 5.33, y el valor objetivo es de 4 mejoras por mes. Si le asignamos un valor de tolerancia de +- 1 podemos obtener el siguiente estado evaluado:

Nombre objetivo	Valor objetivo	Tolerancia (+-Δ)	Valor medido	Estado evaluado
Cantidad de nuevas oportunidades para mejorar el resultado de la construcción	≥ 4	1	5.33	3 (bueno)

Nos resulta un estado evaluado “bueno” ya que cada mes se cumplió el objetivo de encontrar 4, o más, mejoras en la ingeniería del proyecto y promover las innovaciones en los procesos de trabajo de la contratista.

La gestión de promover estas innovaciones en los procesos fue documentada por el ingeniero residente del proyecto (ver figura N° 4.3), y clasificada por el jefe de ingeniería (ver figura N° 4.4) para emitir el reporte mensual al programa de certificación VDC del CIFE.

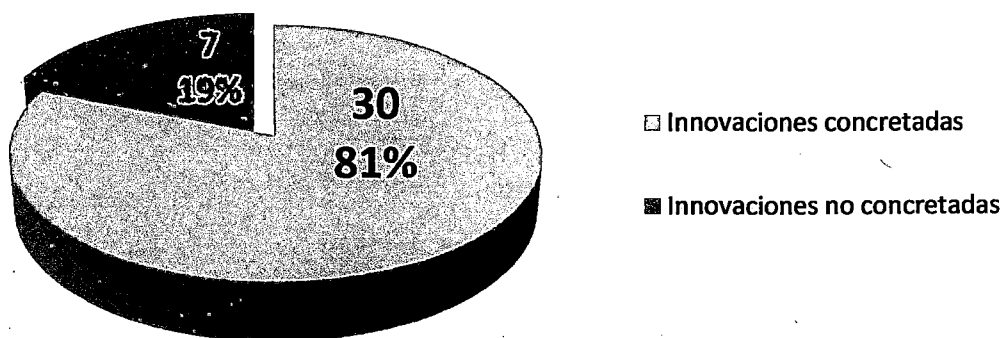


Figura N° 4.3.: Diagrama circular de la cantidad de innovaciones concretadas y no concretadas en el proyecto, documentadas por el ingeniero residente.

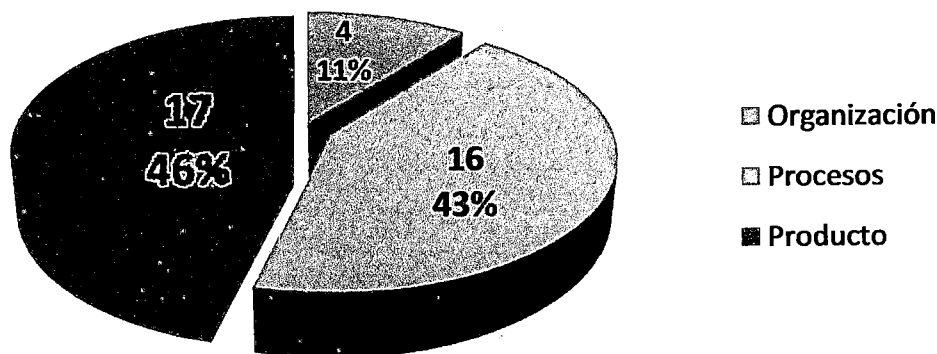


Figura N° 4.4.: Diagrama circular de la clasificación de las innovaciones para la organización, procesos y producto por el jefe de ingeniería.

Métricas de proyecto N° 9 (tabla N° 3.3) y N° 21 (tabla N° 3.4):

Implementar el uso de un modelo BIM en las reuniones de programación semanal en obra, el objetivo era de lograr el uso del modelo en el 75% de todas las reuniones semanales en cada mes. Esta métrica fue impulsada por soporte BIM quienes enseñaron a las demás áreas del proyecto el uso del modelo en las reuniones semanales de manera integrada y colaborativa en obra (ICE) durante los meses en que se necesitó apoyarse del modelo para programar las actividades en la fase de construcción, desde marzo hasta septiembre del 2013.

La figura N° 4.5 muestra el porcentaje de reuniones semanales de programación en obra con el uso del modelo BIM en el mes (ordenadas) vs los meses que duró esta actividad (abscisas).

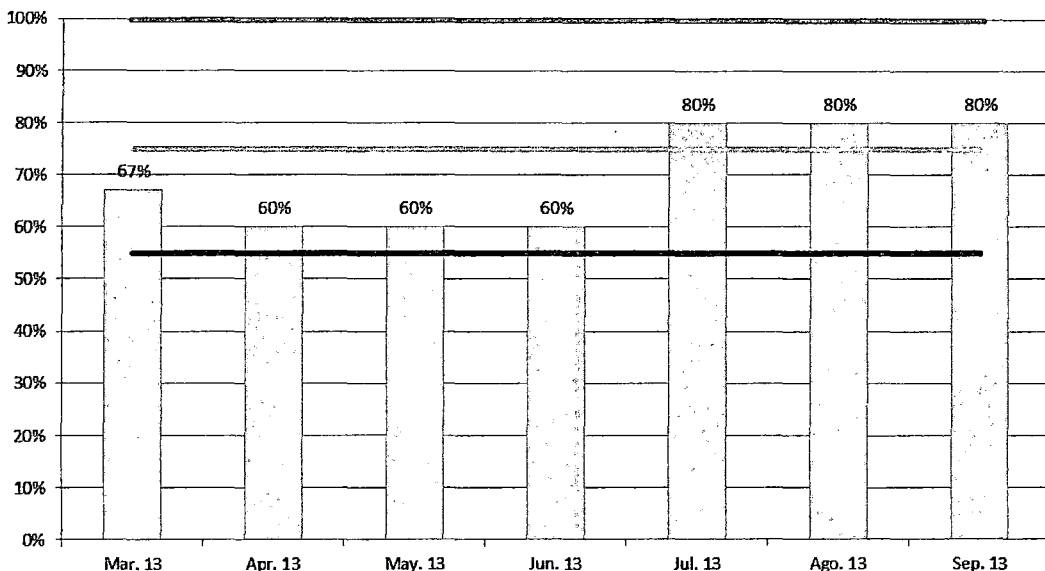


Figura N° 4.5.: Diagrama de barras del porcentaje de reuniones con el uso del modelo BIM en cada mes. La línea verde indica el porcentaje máximo (100%), la línea amarilla el porcentaje aceptable (75%) y la línea roja el porcentaje mínimo (55%).⁽¹³⁾

Del diagrama de barras podemos analizar que el equipo de soporte BIM tuvo la iniciativa en el mes de marzo y que los siguientes 3 meses no se mejoró la práctica del uso del modelo en las reuniones debido a que a la organización le

¹³ Las líneas verde, amarillo y rojo del porcentaje máximo, aceptable y mínimo respectivamente; fueron propuestas por el jefe de soporte BIM y no representan necesariamente a los colores que se está usando para medir el estado evaluado de cada métrica.

costó familiarizarse con las rutinas de trabajo BIM en obra. Después en los últimos 3 meses ya se usó el modelo en el 80% de las reuniones de programación y el equipo del proyecto ya comprendía las rutinas de trabajo en obra con BIM.

El promedio de los valores medidos en los 7 meses es de 69.6% y si le asignamos una tolerancia de +- 5% podemos obtener el siguiente estado evaluado:

Nombre objetivo	Valor objetivo	Tolerancia (+-Δ)	Valor medido	Estado evaluado
Implementar el uso de un modelo BIM en reuniones de programación semanal	75% de todas las reuniones semanales	5%	69.6%	2 (regular)

Nos resulta un estado evaluado “regular” ya que no se logró estar dentro del rango de tolerancia, y al equipo le tomó 4 meses para adaptarse a las rutinas de trabajo con ICE y BIM.

Métrica de proyecto N° 11 y N° 15 (tabla N° 3.3):

El promedio de respuesta de las RFIs en la etapa de ejecución del proyecto. El objetivo era responder, desde enero del 2013, cada RFI a los 7 días de haberse generado. Esta métrica fue monitoreada por el jefe de ingeniería y el ingeniero residente del proyecto.

La figura N° 4.17 del acápite 4.2 muestra los tiempos de respuesta promedio de las consultas en las RFI que se generaron en cada mes.

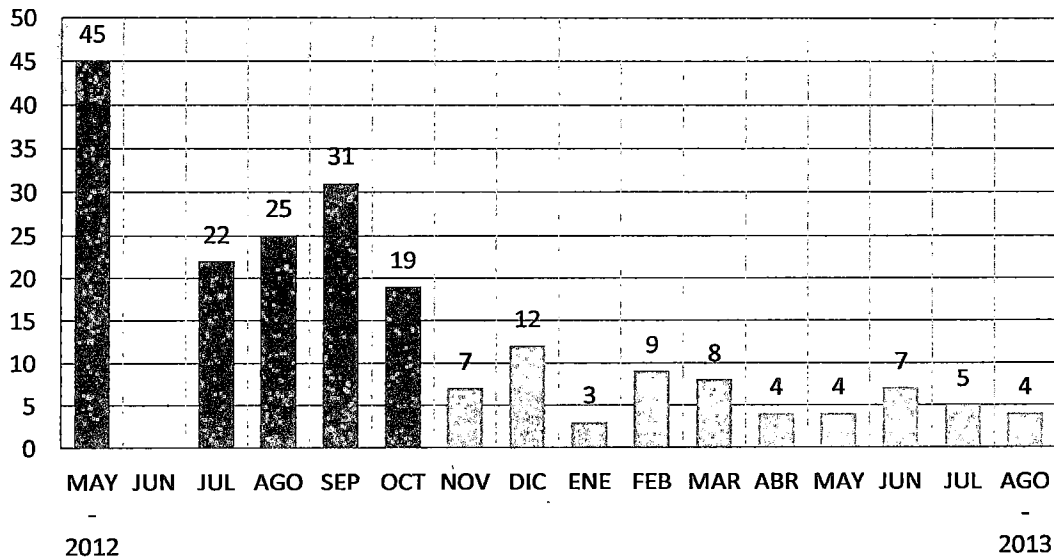


Figura N° 4.17-c.: Diagrama de barras en días de los tiempos promedios de respuesta (latencia) de las consultas que se generaron en cada mes en el proyecto.

De la gráfica anterior se observan valores muy cercanos a 7 días de latencia en las RFI generadas desde enero del 2013. El promedio de las latencias en los 8 meses desde enero hasta agosto del 2013 es de aproximadamente 6 días, y si le asignamos una tolerancia de ± 1 día podemos obtener el siguiente estado evaluado:

Nombre objetivo	Valor objetivo	Tolerancia (+-Δ)	Valor medido	Estado evaluado
Promedio de respuesta de RFIs en la ejecución del proyecto	≤ 7 días	1 día	6	3 (bueno)

Nos resulta un estado evaluado “bueno” ya que los valores de las latencias fueron muy cercanos al valor objetivo. Sin embargo la métrica N° 15 resultó de la siguiente manera:

Nombre objetivo	Valor objetivo	Tolerancia (+-Δ)	Valor medido	Estado evaluado
Promedio de respuestas de RFIs	3 días (normalmente 15 días)	1 día	7.5	1 (malo)

Nos resulta un estado evaluado “malo” ya que los valores de las latencias fueron mayores al valor objetivo.

Métrica de proyecto N° 12 (tabla N° 3.3):

El objetivo de levantar el 100% de las RFIs BIM antes de iniciar el proyecto (3 meses después de la entrega del modelo), no se cumplió, ya que como podemos calcular con los datos de la figura N° YY en marzo del 2013 las 111 RFIs BIM levantadas representaron el 78% de las 143 RFIs-BIM totales. La ejecución del proyecto comenzó a fines de marzo.

En esta investigación no se usaron tolerancias (+-Δ) para medir los estados evaluados de las métricas de las tablas N° 3.3 y N° 3.4. Pero si le asignamos un valor de tolerancia tomado de una de las métricas⁽¹⁴⁾ relacionada a las RFI de la tabla N° 3.2 podemos calcular el siguiente estado evaluado:

Nombre objetivo	Valor objetivo	Tolerancia (+-Δ)	Valor medido	Estado evaluado
Levantamiento de RFIs-BIM antes de iniciar el proyecto	100% de RFIs-BIM 3 meses después de la entrega del modelo	5%	78%	1 (malo)

Nos resulta un estado evaluado “malo” y es debido principalmente a la cantidad de RFIs pendientes (26) que quedaron a fines de marzo.

Métrica de proyecto N° 13 (tabla N° 3.3):

Los RFIs de ingeniería generados durante la etapa de construcción. El objetivo era reducir a 10% la cantidad de RFIs detectados en la etapa de construcción, como producto de la gestión anticipada en la resolución de los problemas de ingeniería y el uso de las metodologías BIM y VDC en el proyecto.

Para el análisis se considera la fecha de inicio de la construcción de la cimentación realizada a fines marzo del 2013, ya que casi la totalidad de RFIs son relacionadas a las actividades netamente para la construcción del edificio.

¹⁴ Se tomó el valor de la tolerancia (20 <> 5%) asignada a la métrica “RFIs de campo” de la tabla N° 3.2.

La figura N° 4.14 del acápite 4.2 muestra las consultas totales del proyecto, contenidas en las RFIs, durante los meses en que fueron monitoreadas.

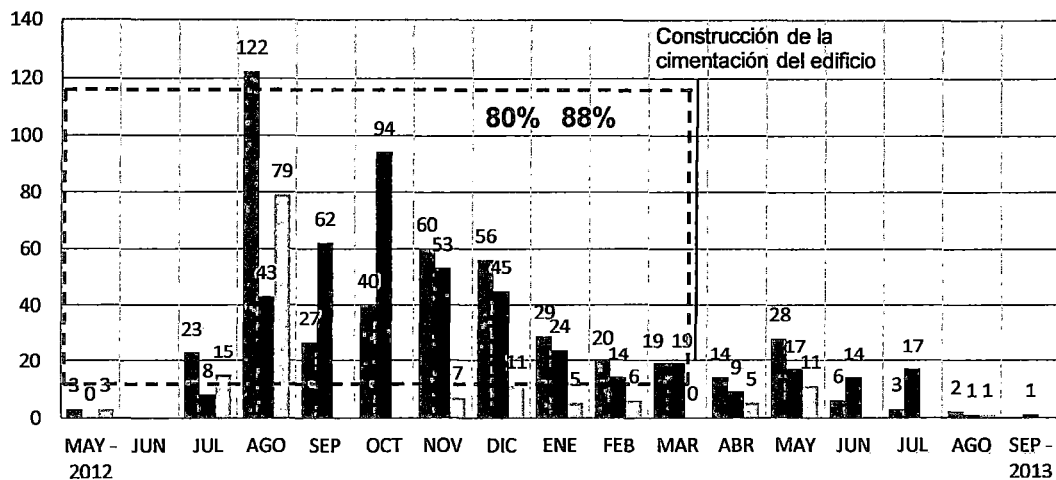


Figura N° 4.14-c.: Diagrama de barras del status mensual de las consultas totales, en las RFIs de ingeniería del proyecto, durante los meses en que fueron monitoreadas. Las barras de azul indican las consultas generadas, las barras de rojo indican las consultas respondidas y las barras de amarillo indican las consultas pendientes.

De la gráfica anterior se observa que hasta marzo del 2103 se detectaron el 88% de las RFIs en el proyecto, quedando por detectarse el 12% de las RFIs. Si le asignamos una tolerancia de +- 3% podemos obtener el siguiente estado evaluado:

Nombre objetivo	Valor objetivo	Tolerancia (+-Δ)	Valor medido	Estado evaluado
RFIs de ingeniería	Durante la construcción los RFIs de ingeniería serán solo el 10% del total	3%	12%	3 (bueno)

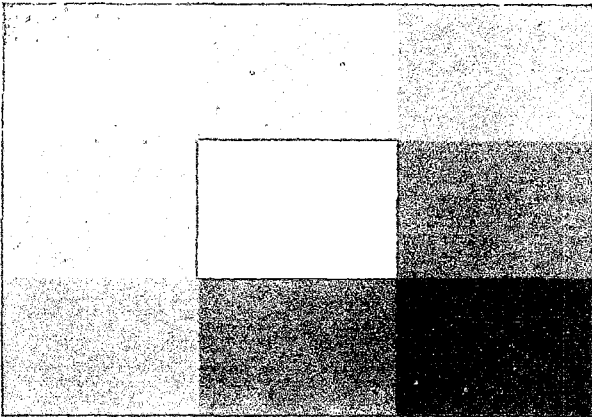
Nos resulta un estado evaluado "bueno" ya que se logró reducir a un 12% las RFIs en la etapa de construcción, que representó un valor aceptable con el cual se pudo disminuir también las paradas en el flujo de las actividades con la ingeniería lista y resuelta.


Métrica de proyecto N° 17 y N° 23 (tabla N° 3.4):

Estas 2 métricas de resultado fueron monitoreadas por el jefe del área de soporte BIM: Conseguir el modelo BIM de la estructura y tener 2 personas capaces de manejar totalmente las herramientas BIM en campo. En diciembre

del 2013 el ingeniero reportó al programa de certificación VDC (CIFE) el cumplimiento de estas 2 métricas.

La figura N° 4.6 muestra la sustentación de estas 2 métricas donde el jefe de soporte BIM reporta al CIFE de Stanford el cumplimiento de las métricas.






**New Corporate Building
GyM / VDC Initiative**

10/12/2013

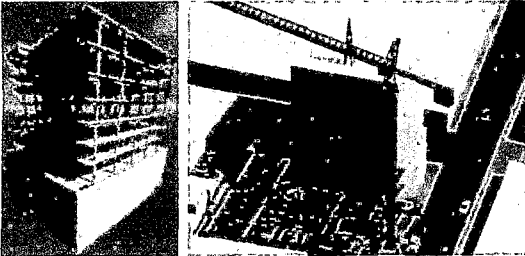
*Monthly Report - VDC
Certificate Program*
José Antonio Taboada García
Chief of BIM Support Area - GyM S.A.




3. OBJECTIVES & METRICS

Metric Type	Description	Target Value	Frequency	Value to Management
Outcome	To get the 'asbuilt' 3D model of the structures .	100% ✓	At the end	To obtain as-built plans of structures.
	To have 2 persons capable of managing BIM tools at the end of the project.	2 persons ✓	At the end	To enhance the staff's abilities to replicate in other projects.


3D Model



Chief of MEP in the
Petit Thouars
building



BIM modeler in the
Petit Thouars
building



7

Figura N° 4.6.: Reporte al CIFE de Stanford del cumplimiento de las métricas N° 17 y N° 23 en diciembre del 2013 por el jefe de soporte BIM

Entonces el estado evaluado del cumplimiento de estas 2 métricas sería “bueno”:

Nombre objetivo	Valor objetivo	Tolerancia (+-Δ)	Valor medido	Estado evaluado
Métricas N° 17 y N° 23	*100% *2 personas	-	*100% *2 personas	3 (bueno)

Métrica de proyecto N° 18 (tabla N° 3.4):

Las iniciativas por parte de la contratista de realizar mejoras de ingeniería en el proyecto, añaden valor a los clientes y aumentan su satisfacción. Las propuestas de ingeniería de valor más importantes para el cliente y la contratista fueron el uso de: pilotes para la subestación, las losas postensadas, los aisladores sísmicos y el concreto celular.

Para analizar el avance de la ingeniería de valor en el proyecto, representada por las 4 propuestas anteriores, desarrollaremos como ejemplo los cuadros N° 4.1 y N° 4.2 referidos al estado de la ingeniería de valor hasta el mes de febrero:

Cuadro N° 4.1.: Estado de la ingeniería de valor de cada propuesta hasta febrero del 2013

Ingeniería de valor (innovaciones)	Aprobado por el cliente	Presupuesto aprobado	Ingeniería terminada	Ejecutado
Pilotes en subestación	SI	SI	SI	SI
Losas postensadas	SI	SI	SI	NO
Aisladores sísmicos	SI	SI	SI	NO
Concreto celular	SI	NO	NO	NO

Se observa un avance de la ingeniería de valor hasta su ejecución, y para medir este avance le asignaremos valores a SI y NO de 1 y 0 respectivamente, transformando el avance a porcentajes:

Cuadro N° 4.2.: Calculo del porcentaje de avance de la ingeniería de valor hasta febrero del 2013

Ingeniería de valor (innovaciones)	Aprobado por el cliente	Presupuesto aprobado	Ingeniería terminada	Ejecutado	% Avance
Pilotes en subestación	1	1	1	1	100%
Losas postensadas	1	1	1	0	75%
Aisladores sísmicos	1	1	1	0	75%
Concreto celular	1	0	0	0	25%
				% Prom.	69%

Entonces en el mes de febrero se tuvo un 69% de avance en el cumplimiento de la ingeniería de valor para el cliente y faltando ejecutarse 3 propuestas.

De la misma manera se calcula el porcentaje de avance de la ingeniería de valor hasta los meses de Mayo y Septiembre en los cuadros N° 4.3 y N° 4.4 siguientes:

Cuadro N° 4.3.: Calculo del porcentaje de avance de la ingeniería de valor hasta mayo del 2013

Ingeniería de valor (innovaciones)	Aprobado por el cliente	Presupuesto aprobado	Ingeniería terminada	Ejecutado	% Avance
Pilotes en subestación	1	1	1	1	100%
Losas postensadas	1	1	1	1	100%
Aisladores sísmicos	1	1	1	1	100%
Concreto celular	1	1	0	0	50%
				% Prom.	88%

En Junio ocurrió un cambio del uso del concreto celular por el uso de escaleras prefabricadas y maduras del concreto, cancelando la operación al proveedor del concreto celular.

Cuadro N° 4.4.: Calculo del porcentaje de avance de la ingeniería de valor hasta junio del 2013

Ingeniería de valor (innovaciones)	Aprobado por el cliente	Presupuesto aprobado	Ingeniería terminada	Ejecutado	% Avance
Pilotes en subestación	1	1	1	1	100%
Losas postensadas	1	1	1	1	100%
Aisladores sísmicos	1	1	1	1	100%
Concreto celular	1	1	-	-	50%
				% Prom.	88%

De esta manera la ingeniería de valor para el cliente se quedó en un 88% de avance respecto a lo planeado por la contratista. Los resultados de esta métrica fueron monitoreados por el jefe de ingeniería desde el mes de octubre del 2012 hasta el mes de septiembre del 2013, obteniendo en cada mes el porcentaje de avance de estas 4 mejoras de ingeniería que representan a la ingeniería de valor para el proyecto.

La figura N° 4.7 desarrollada a continuación muestra el porcentaje del avance de la ingeniería de valor en cada mes, registrados por el jefe de ingeniería, con respecto al porcentaje planeado.

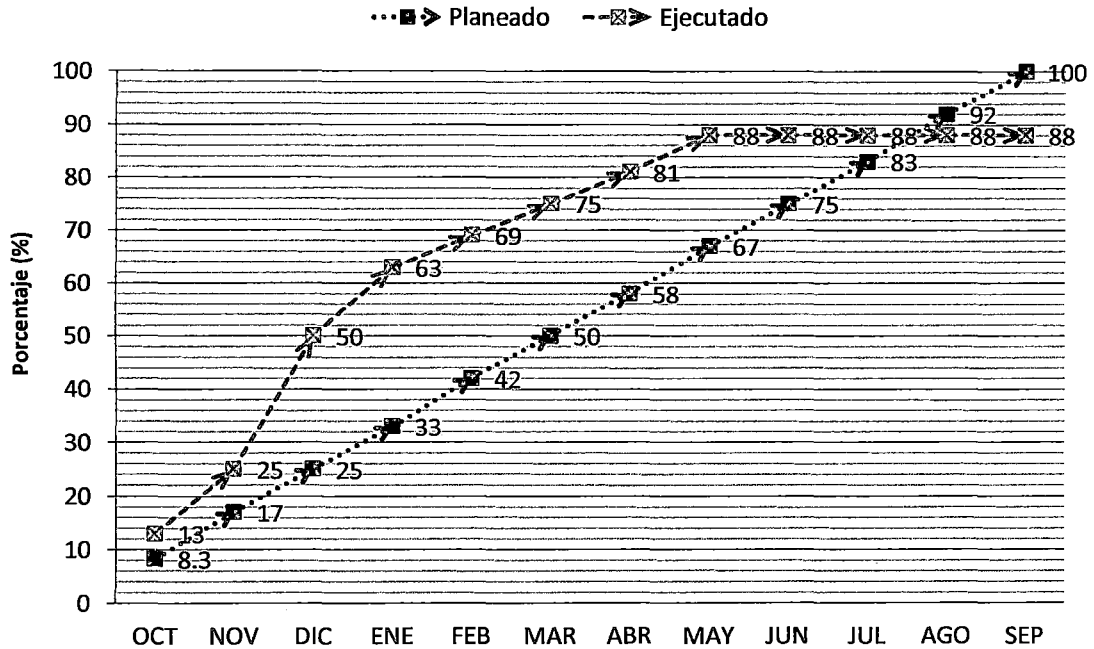


Figura N° 4.7.: Porcentaje del avance mensual de la ingeniería de valor desde octubre del 2012 hasta mayo del 2013. Avance planeado vs avance ejecutado.

Finalmente con el resultado obtenido de la ingeniería de valor se calcula el siguiente estado evaluado de la métrica, asignándole una tolerancia del 10%

Nombre objetivo	Valor objetivo	Tolerancia (+-Δ)	Valor medido	Estado evaluado
Añadir valor a los clientes a través de mejoras de ingeniería en los proyectos.	4 mejoras de ingeniería (100%)	10%	88%	2 (regular)

Métricas de proyecto N° 24 y N° 25 (tabla N° 3.4):

Para la identificación de RFIs BIM antes de comenzar el proyecto, el encargado que monitoreaba los datos (jefe de ingeniería) de la contratista propuso 2 valores objetivo, uno mayor al comienzo para lograr que el equipo se comprometa a cumplirlas y otro, reducido a la mitad de su valor, cuando ya se habían identificado el 84% de las RFIs-BIM en diciembre del 2012. La construcción de los elementos del edificio comenzó a fines de marzo del 2013 (Cimentación).

Analicemos el primer valor objetivo, Identificación de RFIs-BIM ≥ 40 RFIs por mes antes de comenzar el proyecto; el tiempo de uso de esta métrica fue de 4 meses (Septiembre a Diciembre del 2012). Vemos en la figura N° 4.15 (acápites 4.2) del diagrama de barras acumulado, que hasta diciembre del 2102 se tenía 120 RFIs-BIM identificadas, lo que nos da un promedio de 30 RFIs-BIM identificadas por mes (valor medido). Y si le asignamos un valor de tolerancia de ± 5 RFIs-BIM podemos obtener el siguiente estado evaluado:

Nombre objetivo	Valor objetivo	Tolerancia (+- Δ)	Valor medido	Estado evaluado
Identificación de RFIs-BIM antes de comenzar el proyecto	≥ 40 RFIs por mes antes de comenzar el proyecto	5	30	2 (regular)

Nos resulta un estado evaluado “regular” ya que no se logró estar dentro del rango de tolerancia, sin embargo para el equipo significó un resultado aceptable ya que a pesar de que ocurrieron muchos cambios en la ingeniería y el modelo se hizo hasta en 3 ocasiones, el estado evaluado no fue malo.

Ahora analicemos el segundo valor objetivo propuesto, Identificación de RFIs-BIM ≥ 20 RFIs por mes antes de comenzar el proyecto; el tiempo de uso de esta métrica fue de 3 meses (Enero a Marzo del 2013). Sin embargo para el cálculo del estado evaluado de la métrica al que corresponde, se considera los 7 meses antes de comenzar el proyecto ya que su valor objetivo está referido a los datos mensuales acumulados. También vemos en la figura N° 4.9 (acápites 4.2) del diagrama de barras acumulado que hasta marzo del 2103 se tenía 137 RFIs-BIM identificadas, lo que nos da un promedio de 19 RFIs-BIM identificadas por mes (Valor medido).

Si le asignamos un valor de tolerancia de ± 5 RFIs-BIM podemos obtener el siguiente estado evaluado:

Nombre objetivo	Valor objetivo	Tolerancia (+- Δ)	Valor medido	Estado evaluado
Identificación de RFIs-BIM antes de comenzar el proyecto	≥ 20 RFIs por mes antes de comenzar el proyecto	5	19	3 (bueno)

Nos resulta un estado evaluado “bueno” ya que los resultados estuvieron dentro del rango de tolerancia, y refleja el compromiso de los ingenieros involucrados en esta métrica (contratista) y en cuanto ayudó el área de soporte BIM de la contratista para la gestión con VDC.

Métrica de proyecto N° 26 (tabla N° 3.4):

El objetivo de solucionar el 95% o más de las RFIs BIM 1 mes antes de comenzar las actividades (Febrero 2013) no se logró, ya que como podemos calcular con los datos de la figura N° 4.9 (acápito 4.2) en febrero del 2013 las 108 RFIs BIM levantadas representaron el 76% de las 143 RFIs BIM totales. Y si le asignamos un valor de tolerancia de $\pm 5\%$ podemos obtener el siguiente estado evaluado:

Nombre objetivo	Valor objetivo	Tolerancia (+- Δ)	Valor medido	Estado evaluado
Solución de las RFIs BIM	$\geq 95\%$, 1 mes antes de comenzar las actividades	5%	76%	1 (malo)

Nos resulta un estado evaluado “malo” ya que los resultados no estuvieron dentro del rango de tolerancia, y demuestra que 1 mes antes de comenzar la construcción del proyecto todavía faltaba resolver el 24% de las deficiencias encontradas (RFIs BIM) con ayuda de soporte BIM.

Este valor del 95% de las RFIs-BIM solucionadas o respondidas se superó recién en julio del 2013 (5 meses después) con 97%, valor que podemos calcular de la figura N° 4.9 (acápito 4.2), lo que nos indica que la ejecución del proyecto tuvo un tiempo de 4 meses en que se construía con el 23% de ingeniería no resuelta de las RFIs BIM.

Tanto las 17 métricas desarrolladas anteriormente como las 11 métricas restantes que no se desarrollan, fueron monitoreadas y reportadas por los ingenieros de la contratista al programa de certificación en VDC del CIFE – Stanford.

El cuadro N° 4.5 indica y explica las 11 métricas, que no se analizaron, a continuación.

Cuadro N° 4.5.: Métricas que no se analizaron en el proyecto (elaboración propia)

Descripción (Métrica)	N°	Valor objetivo	¿Por qué no se analiza?	En el proyecto
Entrega del modelo as-built para la operación	2	100% del modelo ejecutado 15 días después de la finalización del proyecto	Debido a cambios del cliente en la arquitectura y en algunos sistemas de las instalaciones (ACI) se hicieron más cambios en el modelo lo que no permitió recoger la información a tiempo.	El ingeniero BIM en campo reportó que hasta fines de febrero del 2014 se tenía el 90% de las instalaciones en el modelo (As built)
Obtener cantidades a través del modelo	4	70%	No se pudo recoger la información sobre el seguimiento de esta métrica	Soporte BIM y el ingeniero BIM en campo pudieron obtener metrados del modelo
Garantizar el flujo de nuestras actividades a través de las reuniones ICE	6	Disminuir a 0 las no conformidades de proceso e información en el sitio de trabajo	No se pudo recoger la clasificación total de los tipos de no conformidades.	El ingeniero residente reportó en septiembre del 2013 0 no conformidades de proceso en información
Reuniones ICE para revisar el look ahead y metrados del sector	8	100%	No se pudo recoger información cuantificable sobre la cantidad de reuniones ICE semanales en el proyecto	Las reuniones ICE existieron de manera básica en el proyecto y están desarrolladas en el capítulo III
Monitoreo de la utilización de herramientas BIM	10	>90% por el personal	No se pudo recoger información cuantificable sobre el personal del proyecto que usaba las herramientas BIM en cada mes	En el proyecto los involucrados con el modelo BIM fueron los ingenieros de soporte BIM, el ingeniero modelador BIM en campo y el 60% de los ingenieros de oficina técnica que fueron capacitados en BIM
Detectar las interferencias geométricas de los proyectos durante el proceso de modelado	14	80%	Esta métrica estaba relacionada al proceso de modelado de varios proyectos de la contratista	Las interferencias BIM para el proyecto en estudio fueron detectadas y plasmadas en las RFIs BIM

Descripción (Métrica)	N°	Valor objetivo	¿Por qué no se analiza?	En el proyecto
Delta de beneficio proyectado. Ganancia en costos para la contratista	16	$\geq 2\%$	No se pudo recoger información sobre el seguimiento de esta métrica	El ingeniero residente reportó que existió un beneficio promedio para la contratista en el 2013, de 1.5%.
Realizar la programación semanal del proyecto utilizando un modelo BIM.	20	$> 90\%$	Esta métrica fue planteada solo en el mes de febrero del 2013 y no se recogió información sobre las reuniones con el modelo en ese mes.	En marzo del 2013 el % de reuniones con el modelo BIM fue de 67%
Capacitar al personal de producción acerca de las herramientas BIM.	22	$> 80\%$	No se pudo recoger información sobre la capacitación al personal de producción sobre las herramientas BIM	Los ingenieros de producción participaron en las reuniones ICE desarrolladas en el capítulo III
Aseguramiento de nuestra política de entrega antes de la fecha límite	27	Medir nuestro progreso sobre la fecha límite	No se pudo recoger información sobre el seguimiento de esta métrica	El ingeniero residente reportó que existió un promedio de 2% de avance sobre la fecha prevista hasta julio del 2013.
Delta de cronograma	28	$\geq 2\%$	No se pudo recoger información sobre el seguimiento de esta métrica	El ingeniero residente reportó que existió un promedio de 2% de avance sobre la fecha prevista hasta julio del 2013.

4.2 ANÁLISIS DE LAS RFIs DE INGENIERÍA EN EL PROYECTO

En un mundo ideal, el diseño y la documentación aportada para los proyectos de construcción estarían completos, precisos e inequívocos. Desafortunadamente, esto no suele ser así y muy a menudo los contratistas se proveen con la documentación del proyecto que es incompleta, contradictoria o errónea, lo que requiere revisiones y aclaraciones a ser proporcionada por los diseñadores. Cuando este es el caso, es esencial que la información se suministre al contratista de manera eficiente y sin demora. (Tilley, Wyatt y Mohamed, 2004)

Estas revisiones y aclaraciones a las que hacen mención los autores de la cita, se realizaron en el proyecto mediante el proceso de "Solicitud de Información" (SI o RFI). El cual fue de mucha importancia para el avance de la ejecución y para la presente investigación.

Las métricas más importantes en la resolución de la ingeniería no terminada estaban relacionadas a las RFIs del proyecto. Por tal motivo, se realiza a continuación un análisis del registro de todas las RFIs de ingeniería generadas para evaluar de qué manera se resolvió la ingeniería en el proyecto.

En una reunión entre el jefe de ingeniería, el ingeniero de calidad, el ingeniero de control documentario y el ingeniero residente; este último indicó sobre la clasificación de los RFIs hecha según sus tipos, lo siguiente:

"Para resolver los problemas anticipadamente, no solo de ingeniería, sino también los de construcción hemos clasificado ahora los RFIs en 4 tipos [...]"

Primero los RFIs de ingeniería, hay una ingeniería crítica que debería detectarse 3 o 2 meses antes o dependiendo del producto, y una ingeniería estándar o normal a detectarse 1 mes antes de la ejecución [...]"

Los RFIs por detalles constructivos, o sea, puede ser que el plano esté hecho y haya pasado por ingeniería pero no se puede ejecutar tan fácilmente en campo y hay que cambiar. Esto debe detectarse 2 semanas antes de la ejecución en las reuniones BIM y ICE de los jueves de programación con gente de ingeniería y gente de construcción [...]"

Los RFIs por solicitud de cambio en campo, esas en donde se están tomando la atribución de decir por ejemplo: "voy a cambiar el concreto" o en una reunión te das cuenta de que una columna tiene 350 kg/cm² y la placa tiene 280 kg/cm² entonces decides lanzar todo con 350 kg/cm² y si está conforme se aprueba. Esto también debe detectarse 2 semanas antes de la actividad [...]

Finalmente los RFIs por cambios del cliente, si viene el cliente y nos para el vaciado para cambiar el espesor de losa, reducir la cantidad de vigas o cambiar el sistema de agua contra incendio. Son problemas imprevistos y son detectados cuando ocurre."

Los documentos RFIs formales fueron generados en la contratista por soporte BIM (RFI BIM) y por oficina técnica (en obra) siguiendo el proceso de solicitud de información (ver Anexo 02), pero también existieron RFIs no formales en el proyecto donde se solicitó la información mediante actas de reuniones y correos electrónicos.

El acta de reunión fue un documento, producto de las reuniones programadas con el cliente y los proyectistas de arquitectura y estructura, en donde se agruparon varias consultas de información, de la especialidad de estructuras, para que sean respondidas de preferencia en la misma reunión. En el acta de reunión también se consideraron las consultas de estructuras pendientes hasta la fecha de la reunión.

El correo electrónico fue otro medio eficaz en el cual se solicitaba la información (generada en obra) a los proyectistas mediante el ingeniero de control documentario, para ir avanzando con la resolución de los problemas sin tener que seguir el proceso formal del RFI y sin tener que esperar la asistencia de los proyectistas a las reuniones programadas.

4.2.1 Status de las RFIs de ingeniería totales

El cuadro N° 4.6, siguiente, indica las cantidades de documentos RFIs totales de ingeniería generados en el proyecto, así como sus clasificaciones por tipos y por especialidades.

Cuadro N° 4.6.: Cantidades de RFIs generados en el proyecto por tipo y por especialidades

SOLICITUDES DE INFORMACIÓN (RFIs)						
RFI generado	cantidad	Detalles constructivos	Ing. Estándar	Ing. Crítica	Cambios del cliente	Solicitud de cambio en campo
RFI BIM (Soporte BIM)	143	0	140	3	0	0
RFI Oficina técnica	55	0	50	2	1	2
RFI acta de reunión	19	-	-	-	-	-
	217					
Clasificación por tipo	cantidad					
Detalles constructivos	0					
Ingeniería estándar	190					
Ingeniería crítica	5					
Cambios del cliente	1					
Solicitud de cambio en campo	2					
	198					
Clasificación por especialidades	cantidad					
Estructura	70					
Arquitectura	50					
IIEE	25					
IISS	32					
IIMM	21					
ACI	7					
ASC	2					
AUT	4					
DACI	2					
EVC Y SEÑ	2					
SEG	2					
	217					
TOTAL DE SI	217					

Si bien el RFI es el documento mediante el cual se solicita la información a los proyectistas y cada RFI tiene un tiempo de respuesta, para el análisis sería conveniente trabajar con las consultas que esta contiene. Debido a que un RFI puede contener 1 consulta o contener 15 consultas, y en ambos casos no se resuelve la misma cantidad de problemas.

El cuadro N° 4.7, siguiente, indica las cantidades de consultas totales, que están contenidas en las RFIs, generadas en el proyecto para la resolución de la ingeniería y la anticipación de los problemas que se producirían en el campo, así como sus clasificaciones por tipos y por especialidades.

Cuadro N° 4.7.: Cantidades de RFIs generados en el proyecto por tipo y por especialidades

CONSULTAS DENTRO DE LAS RFIs						
RFI generado	cantidad	Detalles constructivos	Ing. Estándar	Ing. Crítica	Cambios del cliente	Solicitud de cambio en campo
RFI BIM (Soporte BIM)	143	0	140	3	0	0
RFI Oficina técnica	228	1	221	2	1	3
RFI acta de reunión	81	2	59	20	0	0
	452					
Clasificación por tipo	cantidad					
Detalles constructivos	3					
Ingeniería estándar	420					
Ingeniería crítica	25					
Cambios del cliente	1					
Solicitud de cambio en campo	3					
	452					
Clasificación por especialidades	cantidad					
Estructura	147					
Arquitectura	78					
IIIEE	61					
IISS	58					
IIMM	39					
ACI	29					
ASC	1					
AUT	22					
DACI	2					
EVC Y SEÑ	7					
SEG	8					
	452					
TOTAL DE CONSULTAS	452					

Como resultado de los cuadros anteriores, se tiene que en el proyecto se generaron 217 documentos RFIs de ingeniería los cuales contenían 452 consultas. Todas estas consultas fueron monitoreadas mensualmente para evaluar el trabajo de resolución de los problemas de ingeniería por la contratista; a continuación se muestran los status mensuales de las consultas contenidas en los RFIs generados (RFI BIM, RFI Oficina técnica y RFI acta de reunión).

Las figuras N° 4.8 y N° 4.9 muestran el status de las consultas en las RFIs BIM durante los meses en las que se identificaron y fueron resueltas, se comenzaron a generar las RFIs BIM en Septiembre del 2012 por el área de soporte BIM y desde entonces fueron monitoreadas hasta Julio del 2013 por la contratista.

Esta gestión estuvo encargada por el Jefe de ingeniería quien evaluaba los desempeños y resultados. El Ingeniero de control documentario solicitaba y filtraba las RFIs generadas y realizaba las coordinaciones para levantarlas.

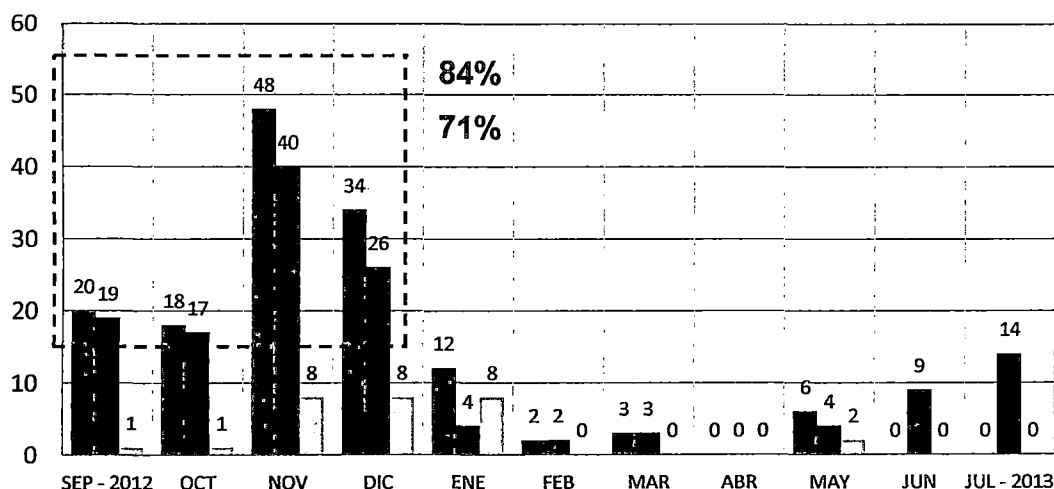


Figura N° 4.8.: Diagrama de barras del status mensual de las consultas BIM del proyecto durante los meses en que fueron monitoreadas. Las barras de azul indican las consultas generadas, las barras de rojo indican las consultas respondidas y las barras de amarillo indican las consultas pendientes.

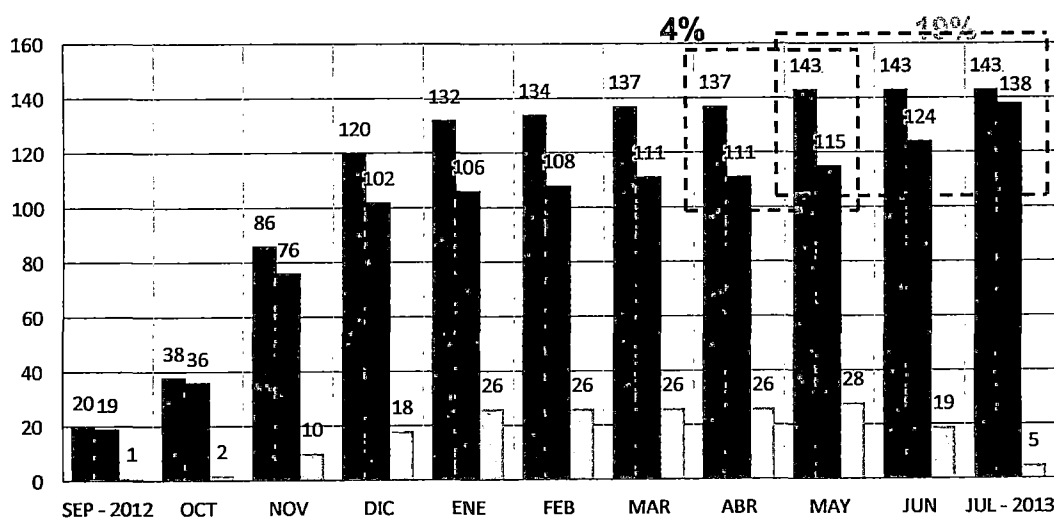


Figura N° 4.9.: Diagrama de barras del status mensual acumulado de las RFIs BIM del proyecto durante los meses en que fueron monitoreadas. Las barras de azul indican las consultas generadas, las barras de rojo indican las consultas respondidas y las barras de amarillo indican las consultas pendientes.

Se observa del diagrama de barras de la figura N° 4.8 que la mayor cantidad de consultas BIM se generaron (84%) y se resolvieron (71%) durante los 4 meses anteriores al inicio de las actividades de construcción (excavación y movimiento de tierras en enero del 2013), en otras palabras, el modelo BIM fue entregado por soporte BIM a obra con el 71% de sus consultas de información respondidas.

De igual manera se observa de la figura N° 4.9 que en abril del 2013 solo faltaba detectar el 4% de las consultas BIM y en mayo del 2013 aún quedaban pendientes por resolver el 19% de las consultas BIM.

Las figuras N° 4.10 y N° 4.11 muestran el status de las consultas en las RFI de oficina técnica durante los meses en las que se identificaron y fueron resueltas, se comenzaron a generar las RFIs en Julio del 2012 y desde entonces fueron monitoreadas hasta Septiembre del 2013 por la contratista.

Esta gestión estuvo encargada por el Jefe de ingeniería quien evaluaba los desempeños y resultados. El Ingeniero de control documentario solicitaba y filtraba las RFIs generadas y realizaba las coordinaciones para levantarlas.

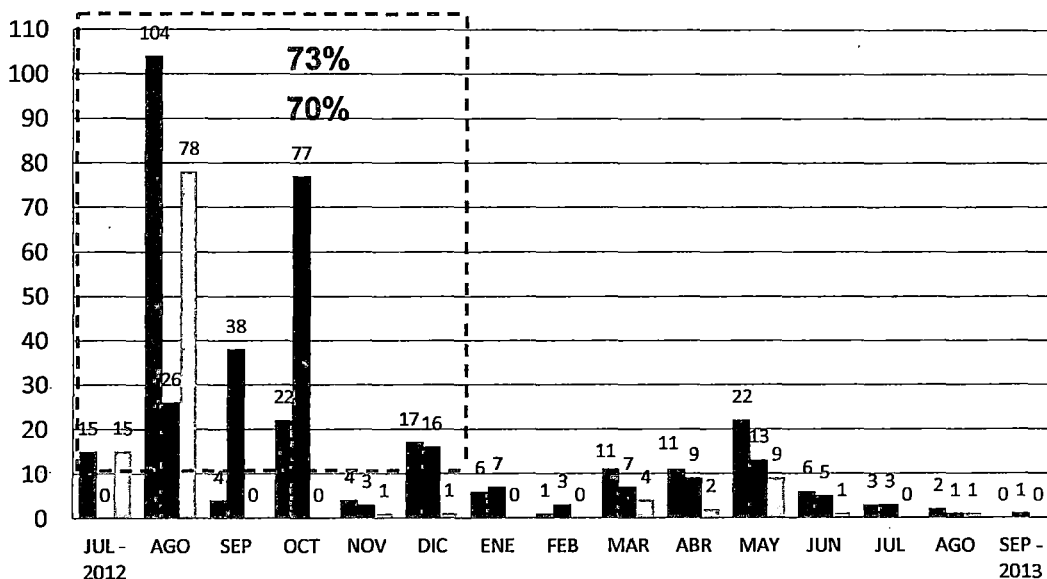


Figura N° 4.10.: Diagrama de barras del status mensual de las consultas de oficina técnica del proyecto durante los meses en que fueron monitoreadas. Las barras de azul indican las consultas generadas, las barras de rojo indican las consultas respondidas y las barras de amarillo indican las consultas pendientes.

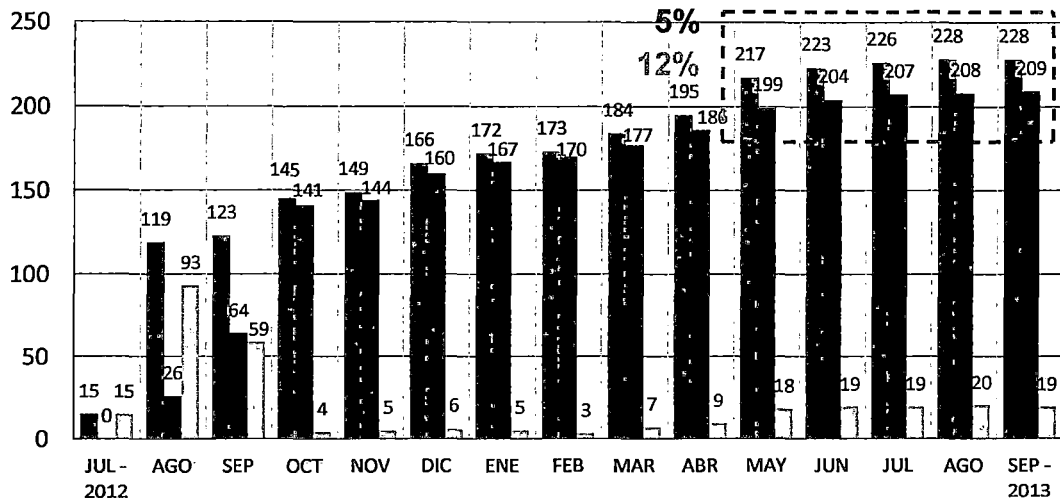


Figura N° 4.11.: Diagrama de barras del status mensual acumulado de las consultas de oficina técnica del proyecto durante los meses en que fueron monitoreadas. Las barras de azul indican las consultas generadas, las barras de rojo indican las consultas respondidas y las barras de amarillo indican las consultas pendientes.

Se observa del diagrama de barras de la figura N° 4.10 que la mayor cantidad de consultas se generaron (73%) y se resolvieron (70%) durante los 6 meses anteriores al inicio de las actividades de construcción (excavación y movimiento de tierras en enero del 2013). Se concluye entonces que el equipo de construcción empezó las actividades de ejecución con el 70% de sus consultas de información resueltas.

De igual manera se observa de la figura N° 4.11 que en mayo del 2013 solo faltaba detectar el 5% de las consultas y todavía quedaban pendientes por resolver el 12% de las consultas.

Las figuras N° 4.12 y N° 4.13 muestran el status de las consultas de la especialidad de estructuras en las actas de reuniones durante los meses en las que se identificaron y fueron resueltas, se comenzaron a generar en Mayo del 2012 y fueron monitoreadas hasta Abril del 2013 por la contratista.

El Ingeniero de control documentario preparaba las consultas en las actas para levantarlas en reuniones programadas con el cliente y los proyectistas.

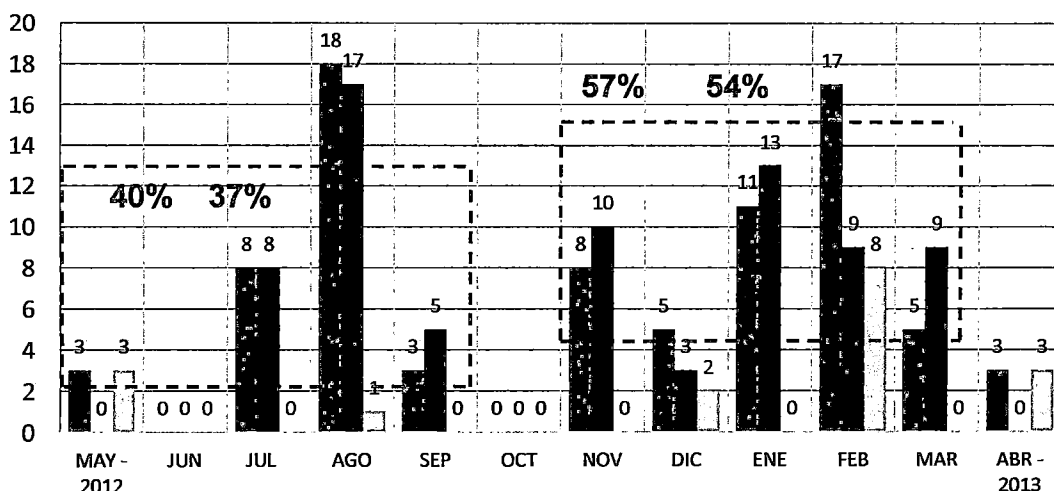


Figura N° 4.12.: Diagrama de barras del status mensual de las consultas en las actas de reuniones del proyecto durante los meses en que fueron monitoreadas. Las barras de azul indican las consultas generadas, las barras de rojo indican las consultas respondidas y las barras de amarillo indican las consultas pendientes.

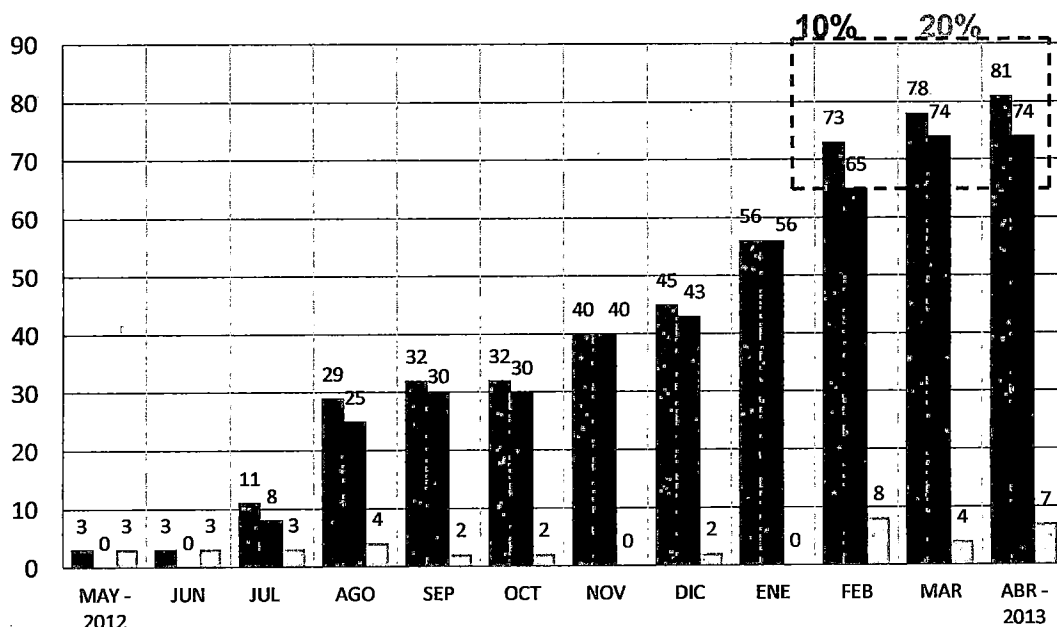


Figura N° 4.13.: Diagrama de barras del status mensual acumulado de las consultas en las actas de reuniones del proyecto durante los meses en que fueron monitoreadas. Las barras de azul indican las consultas generadas, las barras de rojo indican las consultas respondidas y las barras de amarillo indican las consultas pendientes.

Se observa del diagrama de barras de la figura N° 4.12 que en una primera etapa se generaron el 40% de las consultas y se resolvieron el 37% de las consultas de las actas de reuniones durante los 5 primeros meses. En una segunda etapa se generaron el 57% de las consultas y se resolvieron el 54% de las consultas de las actas de reuniones durante 5 meses posteriores.

Entonces para fines de marzo del 2013, donde se inició la cimentación del edificio, se había generado el 97% de consultas y se resolvieron el 91% de consultas, consultas contenidas en las actas de reuniones. De igual manera se observa de la figura N° 4.13 que en febrero del 2013 faltaba detectar el 10% de las consultas y todavía quedaban pendientes por resolver el 20% de las consultas.

Todas las actas de reuniones se realizaron para levantar las consultas de la especialidad de estructuras y regularizar las consultas que quedaban pendiente de esta especialidad. Se concluye entonces que el equipo de construcción empezó la ejecución del casco y todos los elementos estructurales del edificio desde la cimentación a fines de marzo del 2013, con el 91% de sus consultas resueltas en las actas de reuniones.

El propósito de La metodología VDC es tener la ingeniería resuelta antes de la construcción en los documentos del diseño y en el modelo BIM, y que el equipo multidisciplinario del proyecto evalúe la constructabilidad con ayuda del modelo para que no ocurran problemas en la construcción.

Y los resultados explicados de las gráficas anteriores brindan una referencia de lo que quisieron lograr con el uso de la iniciativa VDC, las áreas de soporte BIM y oficina técnica para el proyecto en estudio.

Ahora se agrupa a continuación todas las consultas generadas en el proyecto para evaluar la gestión de la contratista en la resolución de los problemas de ingeniería.

La figura N° 4.14 muestra el status de las consultas totales en las RFIs de ingeniería del proyecto durante los meses en las que se identificaron y fueron resueltas, se comenzaron a generar las RFIs en mayo del 2012 y fueron monitoreadas hasta Septiembre del 2013 por la contratista.

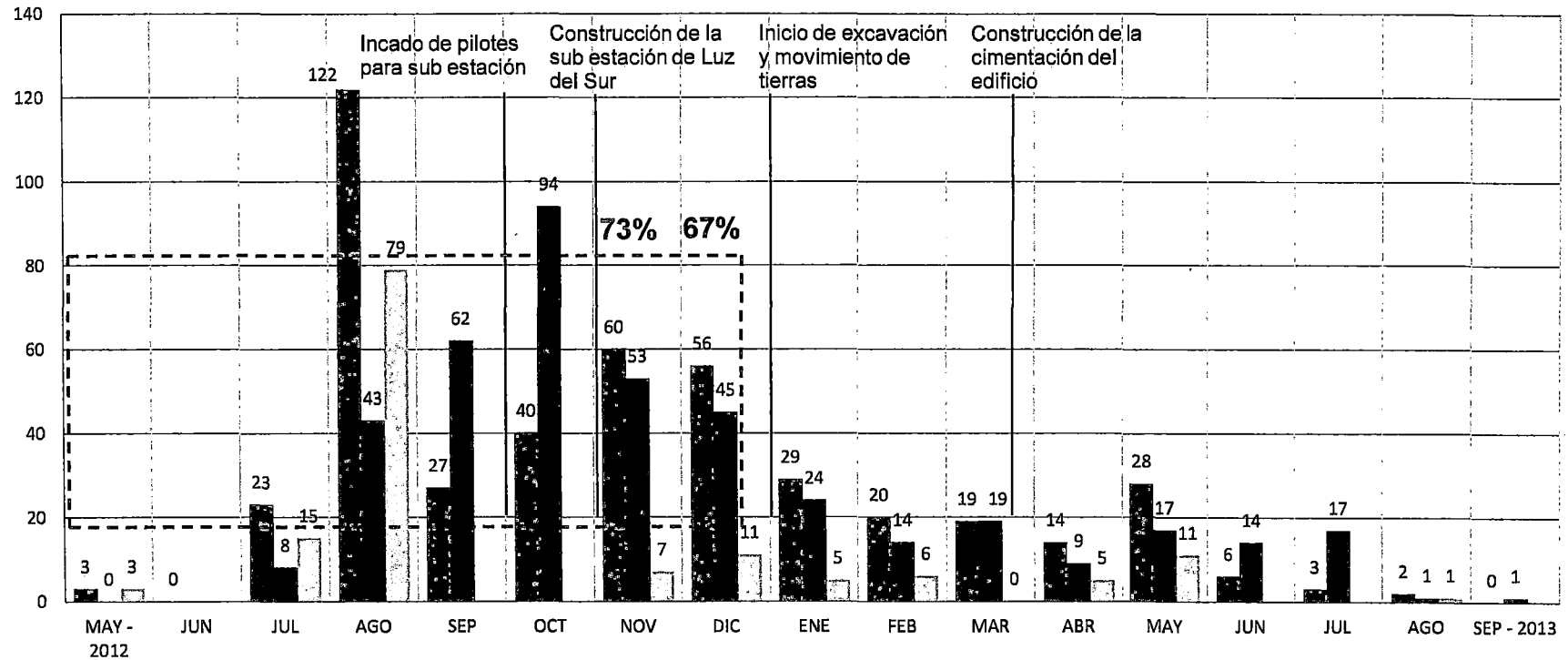


Figura N° 4.14.: Diagrama de barras del status mensual de las consultas totales, en las RFIs de ingeniería del proyecto, durante los meses en que fueron monitoreadas. Las barras de azul indican las consultas generadas, las barras de rojo indican las consultas respondidas y las barras de amarillo indican las consultas pendientes.

La figura N° 4.15 muestra el status de las consultas acumuladas totales en las RFIs de ingeniería del proyecto durante los meses en las que se identificaron y fueron resueltas.

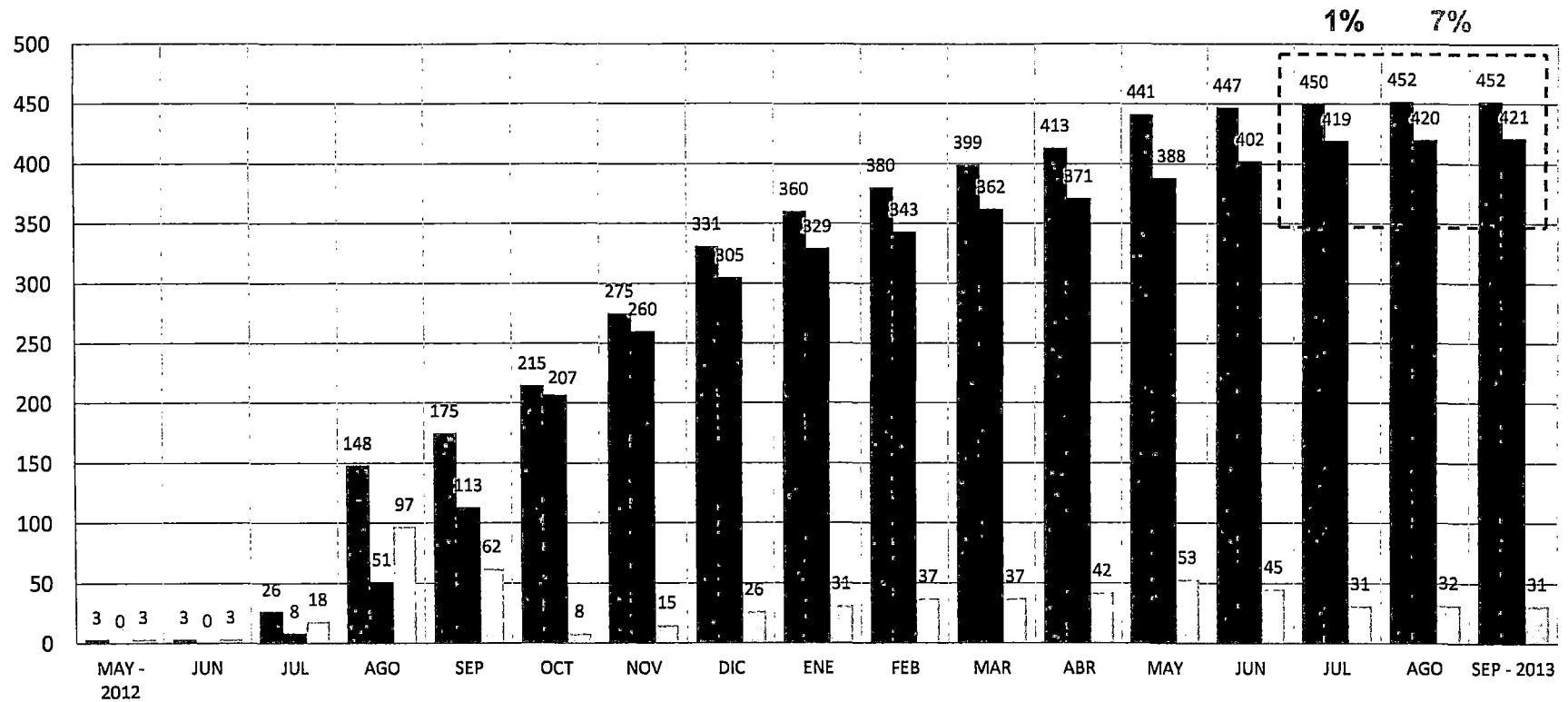


Figura N° 4.15.: Diagrama de barras del status mensual acumulado de las consultas totales, en las RFIs del proyecto, durante los meses en que fueron monitoreadas. Las barras de azul indican las consultas generadas, las barras de rojo indican las consultas respondidas y las barras de amarillo indican las consultas pendientes.

Se observa del diagrama de barras de la figura N° 4.14 que la mayor cantidad de consultas totales se generaron (73%) y se resolvieron (67%) durante los 8 primeros meses anteriores al inicio de las actividades de construcción (Excavación y movimiento de tierras en enero del 2013).

De igual manera se observa de la figura N° 4.15 que en julio del 2013 solo faltaba detectar el 1% de las consultas totales y todavía quedaban pendientes por resolver el 7% de las consultas totales.

Se concluye entonces que:

“La contratista empezó las actividades de ejecución en enero del 2013 con el 67% de sus consultas de información (de ingeniería) totales resueltas. Y si se calcula el estado de las consultas hasta fines marzo del 2013 (inicio de la construcción del edificio – cimentación) se tiene que la contratista empezó la construcción del edificio con el 80% de sus consultas de información (de ingeniería) totales resueltas.”

4.2.2 Latencias promedio de las RFIs de ingeniería totales

Todas la RFIs de ingeniería generadas en el proyecto tuvieron una latencia o un tiempo de respuesta que se pudo calcular con las fechas de consultas y fechas de respuestas registradas en cada documento RFI (Ver anexo). La figura N° 4.16 muestra el tiempo promedio de respuesta (latencia), en días, de las consultas que se generaron en cada mes. El diagrama de barras indica las latencias de las consultas contenidas en las RFI BIM, RFI de oficina técnica y RFI acta de reunión.

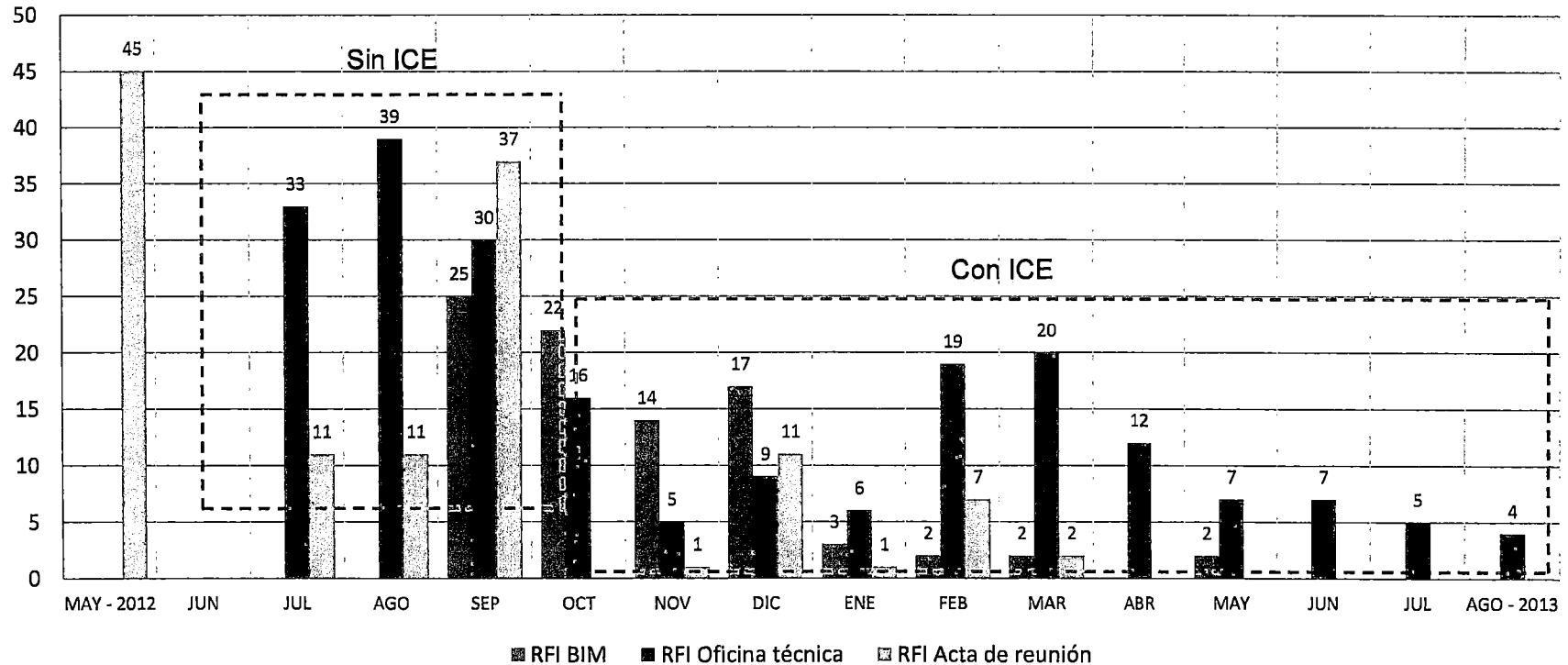


Figura N° 4.16.: Diagrama de barras en días de los tiempos promedio de respuesta (latencia) de las consultas que se generaron en cada mes. Las consultas contenidas en las RFI BIM, RFI de oficina técnica y RFI acta de reunión

Asimismo se agrupa las consultas totales en cada mes (RFI BIM, RFI de oficina técnica y RFI actas de reunión) y se halló el tiempo promedio de respuesta o latencia promedio de las consultas de ingeniería. La figura N° 4.17 muestra la latencia promedio en días, de todas las consultas de ingeniería que se generaron en cada mes en el proyecto.

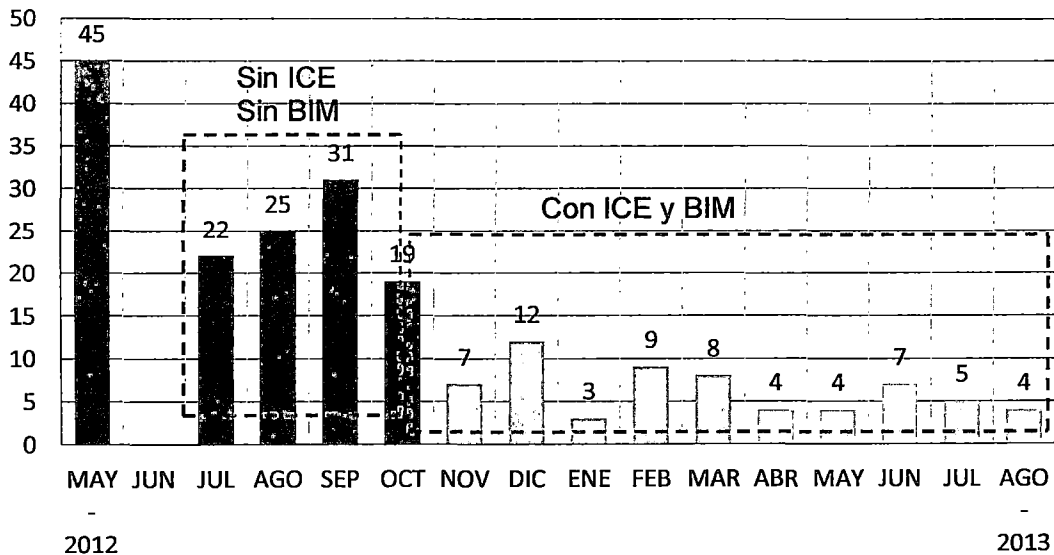


Figura N° 4.17.: Diagrama de barras en días de los tiempos promedio de respuesta (latencia) de las consultas que se generaron en cada mes en el proyecto.

De la figura anterior se observa como fueron bajando los tiempos de respuestas de las consultas en las RFIs de ingeniería, es decir, como se fue resolviendo la ingeniería en proyecto.

En mayo del 2012 todas las consultas generadas en ese mes se resolvieron a los 45 días (aproximadamente 1 mes y medio), en junio la contratista empezó a revisar la ingeniería básica y la mejoró hasta octubre del 2012 obteniéndose latencias entre 19 y 31 días sin el uso de las reuniones ICE.

Desde mediados de octubre del 2012 se empezó a implementar las reuniones ICE en obra, quedando por generarse y resolverse la mitad de todas las RFIs totales (ver figuras N° 4.14 y N° 4.16), y como resultado del uso de las reuniones ICE con apoyo del modelo BIM se obtuvieron latencias bajas en la resolución de la ingeniería.

4.2.3 Latencias promedio de las RFIs de ingeniería por especialidades

Tal como se menciona anteriormente, todas las consultas en las actas de reuniones fueron de la especialidad de estructuras y su latencia promedio resultó de 9 días. Sin embargo las consultas en las RFI BIM y las RFI de oficina técnica fueron de distintas especialidades, cuyas latencias promedio se detalla a continuación.

La figura N° 4.18 muestra la latencia promedio en días, de las consultas generadas por cada especialidad en las RFI BIM y las RFI de oficina técnica del proyecto.

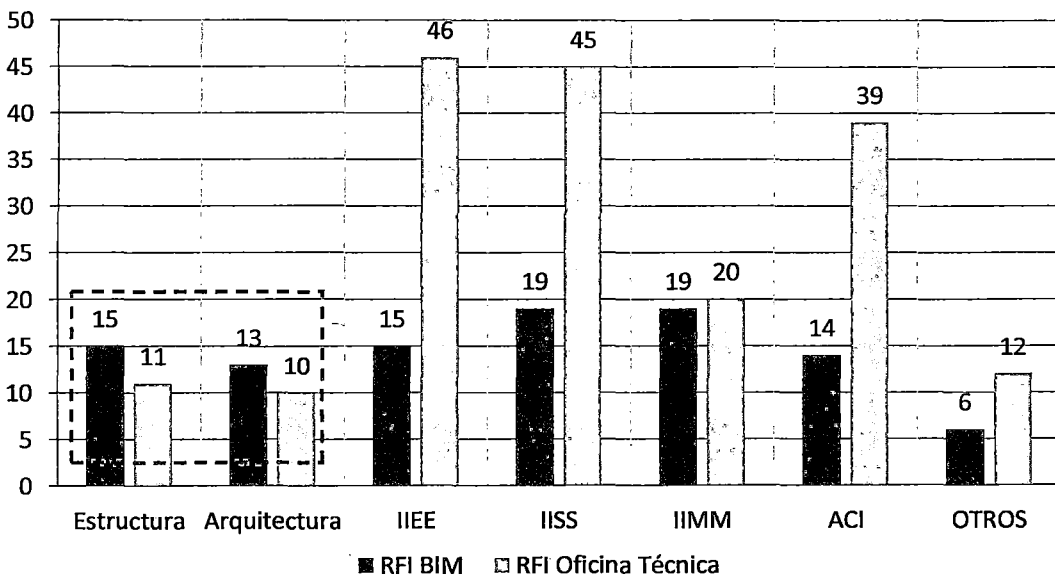


Figura N° 4.18.: Diagrama de barras en días de los tiempos promedio de respuesta (latencia) de las consultas generadas por especialidad en el proyecto (RFI BIM y RFI de oficina técnica)

El trabajo de soporte BIM en resolver las RFIs BIM fue más pareja para todas las especialidades y presentó latencias con valores regulares, debido a que se usó reuniones ICE casi desde el comienzo de esta gestión (ver figura N° 4.8 y N° 4.16). En cambio en las RFIs de oficina técnica; para las instalaciones tuvo latencias más altas porque fueron detectadas desde más antes (ver figura N° 4.10), y para las especialidades de estructura y arquitectura se obtuvo latencias más bajas porque se trabajó más con las reuniones ICE para su resolución.

Ahora considerando todas las RFIs (BIM, oficina técnica y actas de reuniones) se obtiene los tiempos promedio de respuesta de todas las especialidades del proyecto.

La figura N° 4.19 muestra la latencia promedio en días, de las consultas generadas por especialidad en las RFIs de ingeniería totales del proyecto.

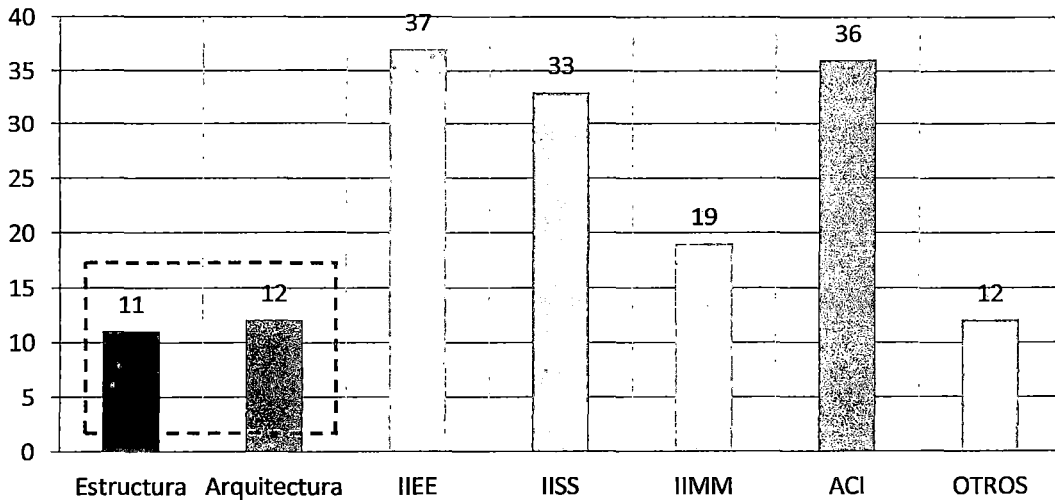


Figura N° 4.19.: Diagrama de barras en días de los tiempos promedio de respuesta (latencia) de las consultas totales generadas por especialidad en el proyecto

En el proyecto se trabajó más en la resolución de las RFIs de las especialidades de estructura y arquitectura, debido a que en el cronograma de obra se tiene muchas partidas de estructuras y la ejecución de estas partidas iban ligadas con posibles problemas que se tendría en la etapa de acabados y arquitectura.

Las partidas de instalaciones en el cronograma venían después por lo que no fue muy necesario resolverlos en muy poco tiempo, además, en el proyecto cambios en las instalaciones producidas por el cliente.

4.3 RESULTADOS DEL USO DEL MODELO BIM EN EL PROYECTO

4.3.1 Análisis de las horas hombre empleados en el modelo BIM por especialidades

Después de los procedimientos de detección de incompatibilidades e interferencias en el modelo y la resolución de la mayor parte de RFIs-BIM en las reuniones ICE, el equipo de soporte BIM empezó con la actualización de toda la información e ingeniería resuelta en el modelo. A continuación se detalla el registro de las horas hombres consumidas para las actualizaciones en el modelo BIM de los meses de febrero, marzo y abril del 2013.

Cuadro N° 4.8.: Horas hombre de actualizaciones en el modelo BIM en el mes de febrero del 2013

Semanas	Especialidad	HH	HH acumuladas
Semana 05	Arquitectura	5.00	156.50
	Estructuras	0.00	140.50
	MEP	0.00	147.00
Semana 06	Arquitectura	17.50	174.00
	Estructuras	9.50	150.00
	MEP	45.00	192.00
Semana 07	Arquitectura	8.50	182.50
	Estructuras	43.50	193.50
	MEP	50.50	242.50
Semana 08	Arquitectura	0.00	182.50
	Estructuras	0.00	193.50
	MEP	81.50	324.00
Semana 09	Arquitectura	43.00	225.50
	Estructuras	31.50	225.00
	MEP	60.00	384.00

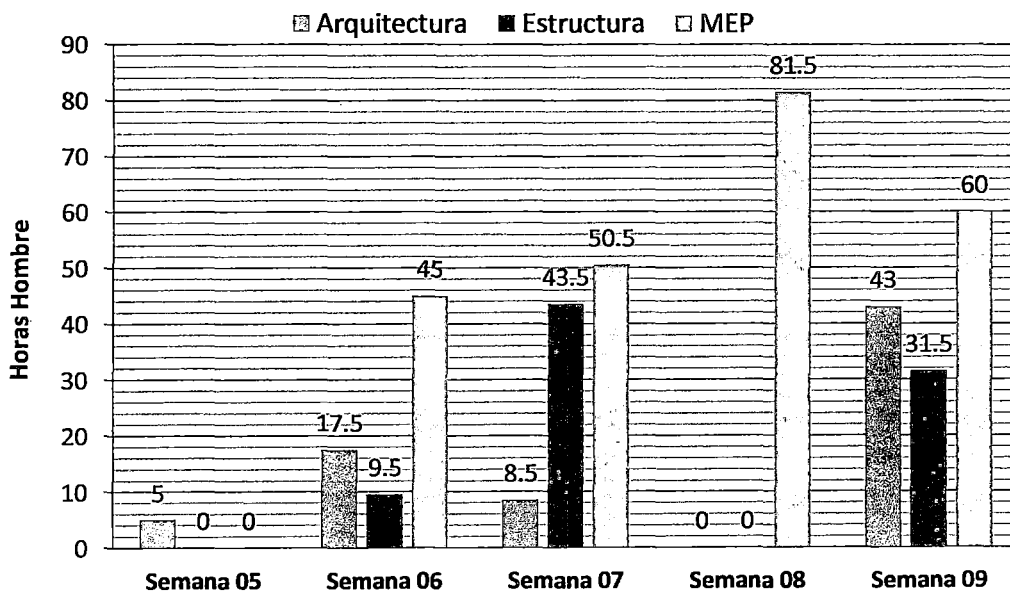


Figura N° 4.20.: Diagrama de barras de las horas hombre consumidas por especialidades de soporte BIM para actualizar la información de la ingeniería resuelta en el modelo, en el mes de febrero.

Del cuadro N° 4.8 podemos calcular las horas hombre del mes de enero con los datos de las horas hombre acumuladas en la semana 05 y que nos da 151.50, 140.50 y 147.00 horas hombre correspondiente a arquitectura, estructura y MEP respectivamente. Y el diagrama de barras de la figura N° 4.20 arroja 74.00, 84.50 y 237.00 horas hombre consumidas para la actualización del modelo de las especialidades de arquitectura, estructura y MEP respectivamente en el mes de febrero.

Por lo tanto tenemos en el mes de enero un total de 444.00 horas hombre y en el mes de febrero un total de 395.50 horas hombre de actualizaciones en el modelo.

Cuadro N° 4.9.: Horas hombre de actualizaciones en el modelo BIM en el mes de marzo del 2013

Semanas	Especialidad	HH	HH acumuladas
Semana 10	Arquitectura	24.00	249.50
	Estructuras	40.50	265.50
	MEP	47.50	431.50
Semana 11	Arquitectura	40.50	290.00
	Estructuras	38.50	304.00
	MEP	55.00	486.50
Semana 12	Arquitectura	0.00	290.00
	Estructuras	0.00	304.00
	MEP	84.50	571.00
Semana 13	Arquitectura	0.00	290.00
	Estructuras	0.00	304.00
	MEP	0.00	571.00

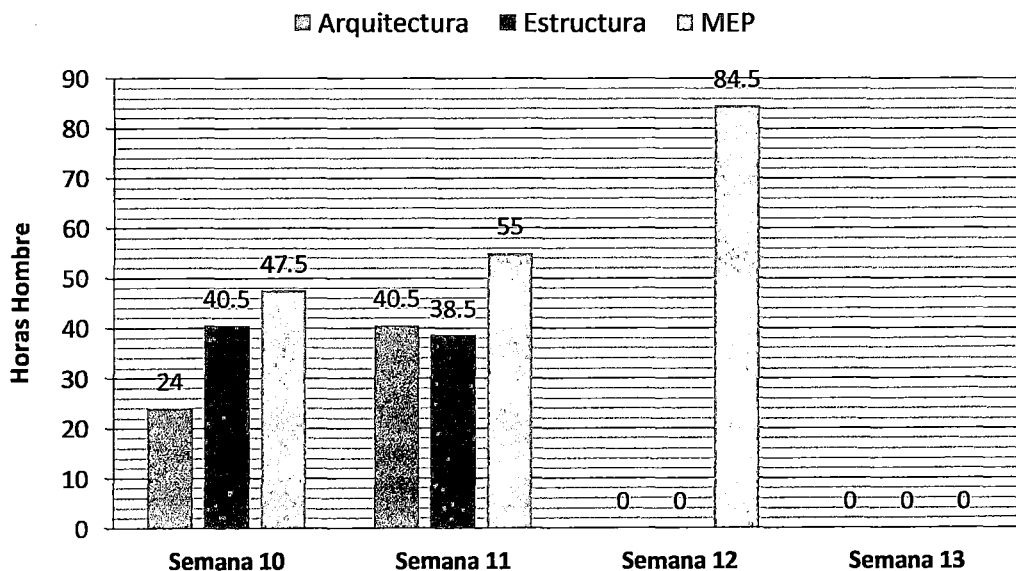


Figura N° 4.21.: Diagrama de barras de las horas hombre consumidas por especialidades de soporte BIM para actualizar la información de la ingeniería resuelta en el modelo, en el mes de marzo.

Del cuadro N° 4.9 tenemos que hasta el mes de marzo se acumuló 290.00, 304.00 y 571.00 horas hombre consumidas en el modelo de las especialidades de arquitectura, estructuras y MEP respectivamente. Y el diagrama de barras arroja solo en el mes de marzo 64.50, 79.00 y 187.00 horas hombre consumidas en el modelo para las actualizaciones de arquitectura, estructuras y MEP respectivamente.

Por lo tanto en el mes de marzo hubo un total de 330.50 horas hombre consumidas, las cuales fueron usadas para el 100% de actualización en el modelo de todas las RFIs resueltas en este mes. Ver figura N° 4.21.

Cuadro N° 4.10.: Horas hombre de actualizaciones en el modelo BIM en el mes de abril del 2013

Semanas	Especialidad	HH	HH acumuladas
Semana 14	Arquitectura	0.00	290.00
	Estructuras	12.50	316.50
	MEP	0.00	571.00
Semana 15	Arquitectura	9.00	299.00
	Estructuras	0.00	316.50
	MEP	0.00	571.00
Semana 16	Arquitectura	16.00	315.00
	Estructuras	27.00	343.50
	MEP	9.50	580.50
Semana 17	Arquitectura	5.00	320.00
	Estructuras	9.50	353.00
	MEP	32.50	613.00
Semana 18	Arquitectura	28.50	348.50
	Estructuras	0.00	353.00
	MEP	44.00	657.00

■ Arquitectura ■ Estructura □ MEP

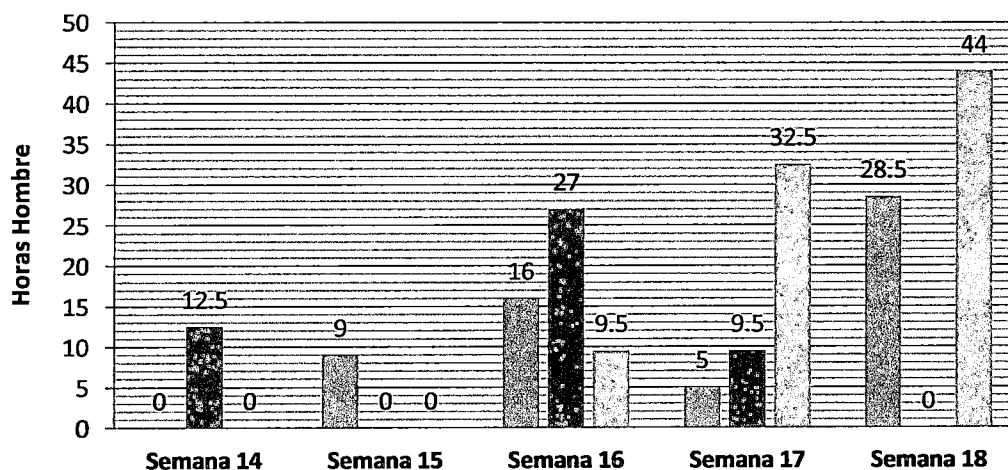


Figura N° 4.22.: Diagrama de barras de las horas hombre consumidas por especialidades de soporte BIM para actualizar la información de la ingeniería resuelta en el modelo, en el mes de abril.

Del cuadro N° 4.10 tenemos que hasta el mes de abril se acumuló 348.50, 353.00 y 657.00 horas hombre consumidas en el modelo de las especialidades de arquitectura, estructuras y MEP respectivamente. Y el diagrama de barras arroja solo en el mes de abril 58.50, 49.00 y 86.00 horas hombre consumidas en el modelo para las actualizaciones de arquitectura, estructuras y MEP respectivamente.

Por lo tanto en el mes de abril hubo un total de 193.50 horas hombre consumidas, las cuales fueron usadas para el 100% de actualización en el modelo de todas las RFIs resueltas en este mes. Ver figura N° 4.22.

Entonces si analizamos los datos obtenidos anteriormente de los cuadros y los diagramas de barras de los meses de febrero, marzo y abril del 2013, y calculamos el % de RFIs BIM respondidas hasta el mes de Abril (77.62%) de la figura N° 4.9, se concluye que:

“La gestión en BIM de la contratista llegó a un 77.62% de resolución y actualización de la información en el modelo hasta el mes de abril, un mes después del inicio de la construcción del edificio (construcción de la cimentación)”.

Si bien no se logró el 100% antes del inicio de la construcción, lo que sería una buena práctica de la metodología VDC, sirvió para usar el modelo actualizado en la planificación 4D del proyecto y la creación de los modelos de procesos.

4.3.2 Análisis de las horas hombre empleados para las actualizaciones de la información resuelta en el modelo

Las actualizaciones que soporte BIM hacía en el modelo fue la actividad que más tiempo les demandó debido a la importancia de tener la información resuelta (en las reuniones ICE) para una construcción virtual anticipada a la construcción real.

Así como las actualizaciones en el modelo, existieron otras actividades que también fueron importantes en el uso de la metodología BIM pero requirieron de menos tiempo. Se realizaban de forma paralela o complementaria a las

actualizaciones y nos pueden dar una referencia de cómo y qué actividades se hacían en torno al modelo.

Para analizarlas se usará diagramas circulares con la información elaborada por el jefe del área de soporte BIM de las horas hombre acumuladas por todas las actividades que registró en su gestión de las semanas 09 (febrero) y 18 (abril) del proyecto.

En la figura N° 4.23 siguiente, se detallan las actividades realizadas en el modelo para la especialidad de arquitectura y las horas hombre acumuladas hasta la semana 09:

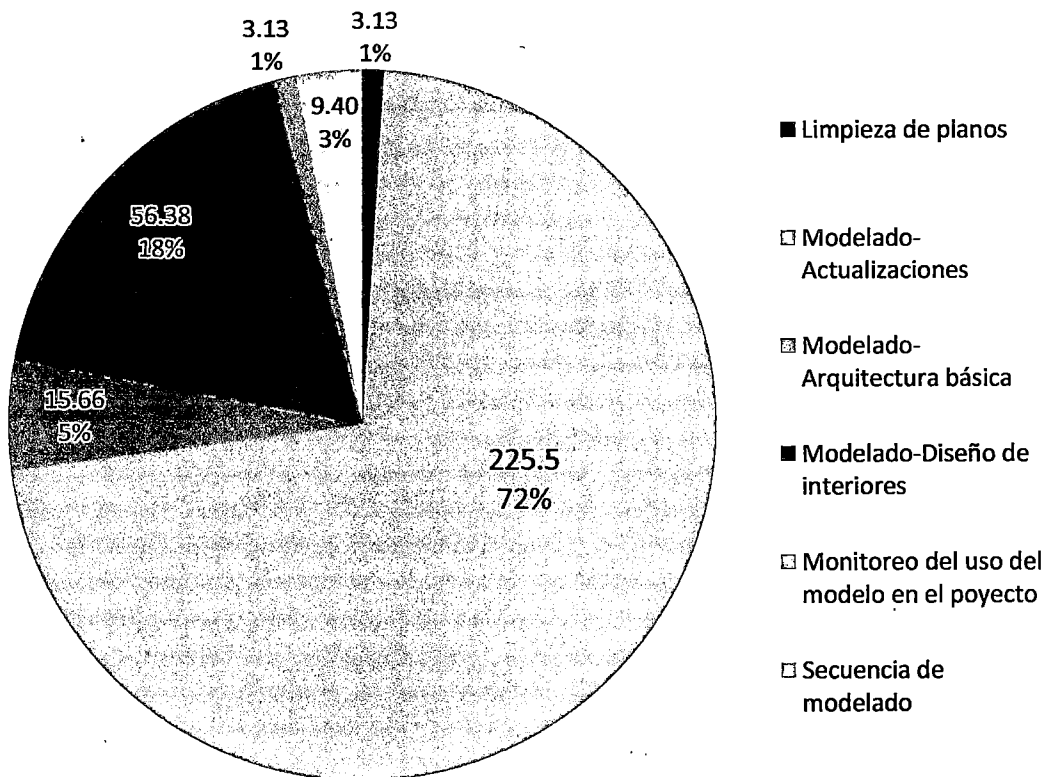


Figura N° 4.23.: Diagrama circular de las horas hombre consumidas por soporte BIM en el modelo para la especialidad de arquitectura hasta la semana 09 – febrero.

En la figura 4.24 siguiente, se detallan las actividades realizadas en el modelo para la especialidad de estructura y las horas hombre acumuladas hasta la semana 09:

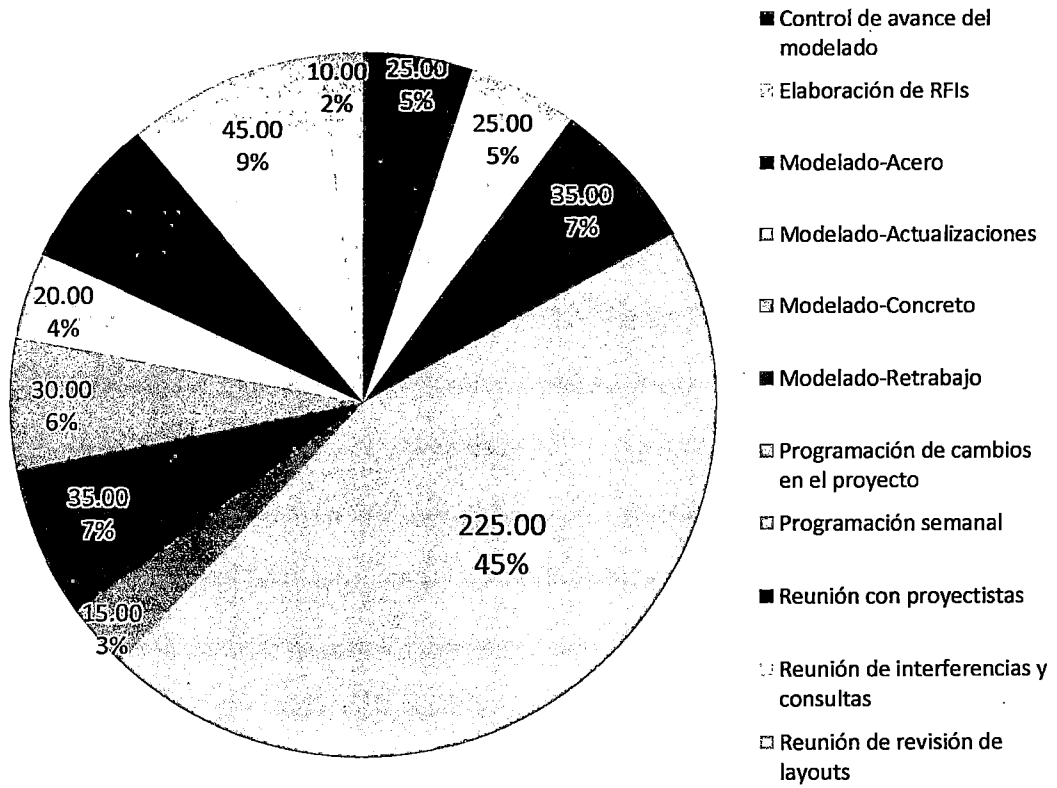


Figura N° 4.24.: Diagrama circular de las horas hombre consumidas por soporte BIM en el modelo para la especialidad de estructura hasta la semana 09 – febrero.

En la figura 4.25 siguiente, se detallan las actividades realizadas en el modelo para la especialidad de MEP y las horas hombre acumuladas hasta la semana 09:

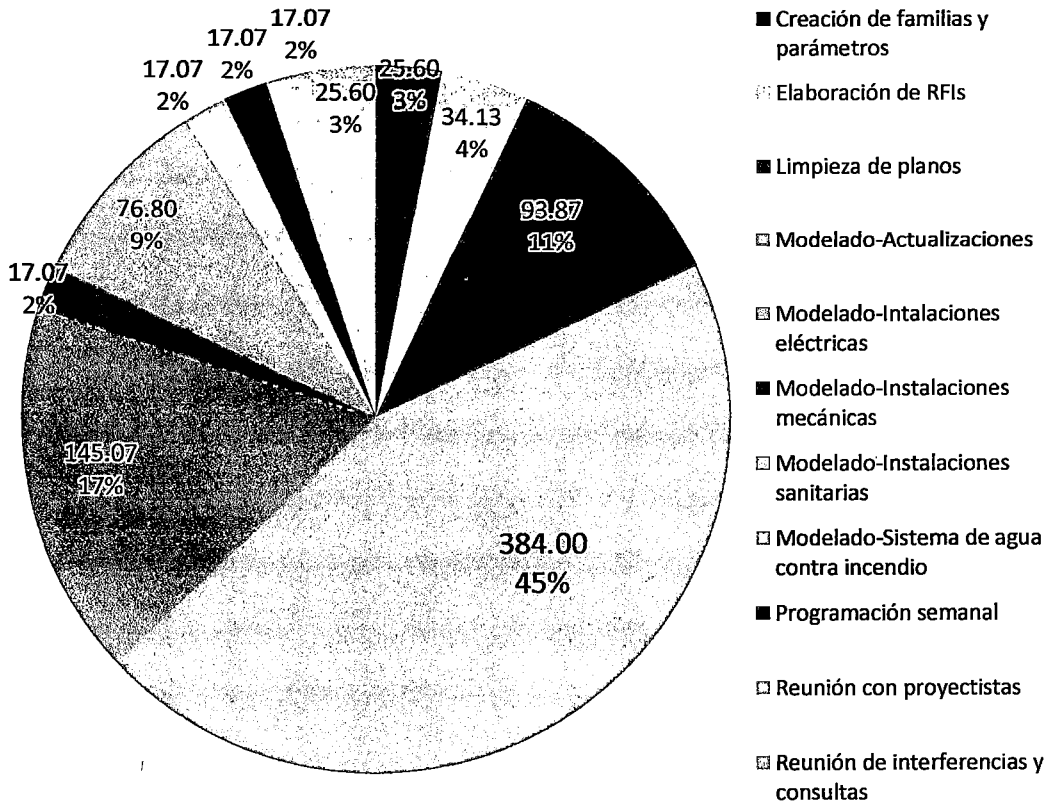


Figura N° 4.25.: Diagrama circular de las horas hombre consumidas por soporte BIM en el modelo para la especialidad de MEP hasta la semana 09 – febrero.

En la figura 4.26 siguiente, se detallan las actividades realizadas en el modelo para la especialidad de arquitectura y las horas hombre acumuladas hasta la semana 18:

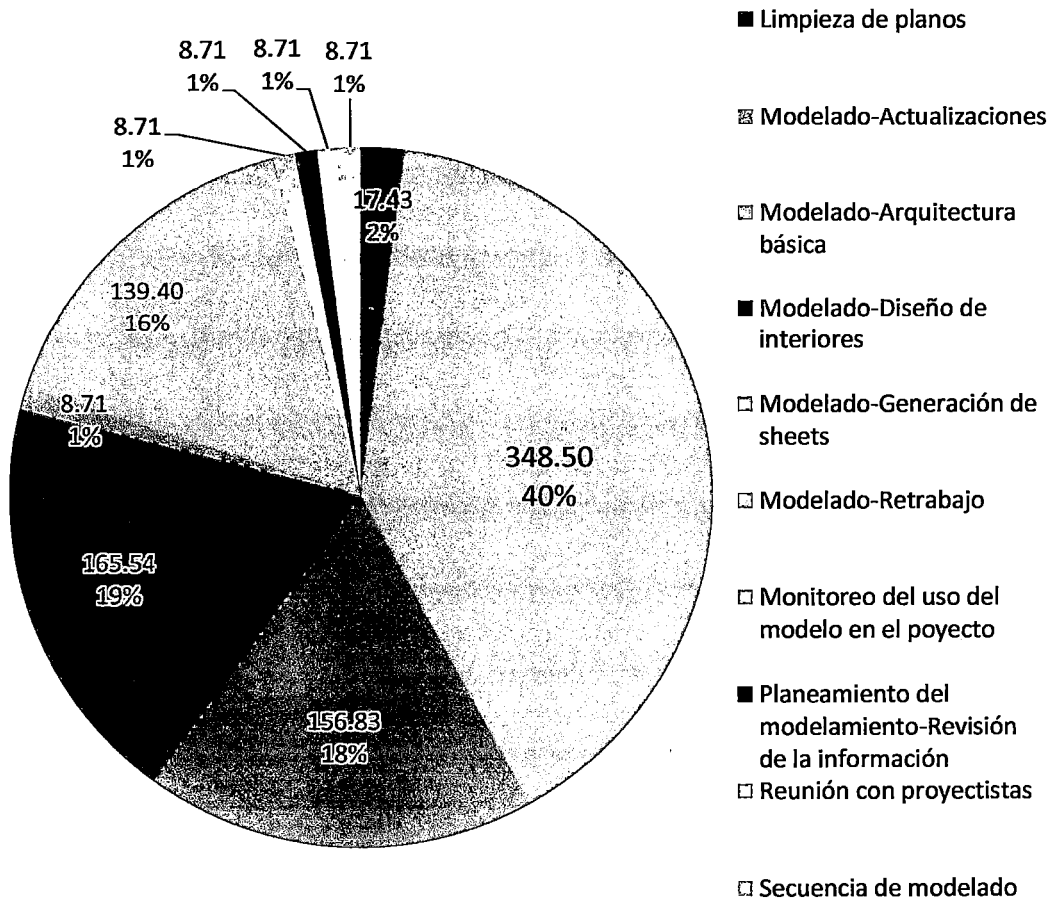


Figura N° 4.26.: Diagrama circular de las horas hombre consumidas por soporte BIM en el modelo para la especialidad de arquitectura hasta la semana 18 – Abril.

En la figura 4.27 siguiente, se detallan las actividades realizadas en el modelo para la especialidad de estructura y las horas hombre acumuladas hasta la semana 18:

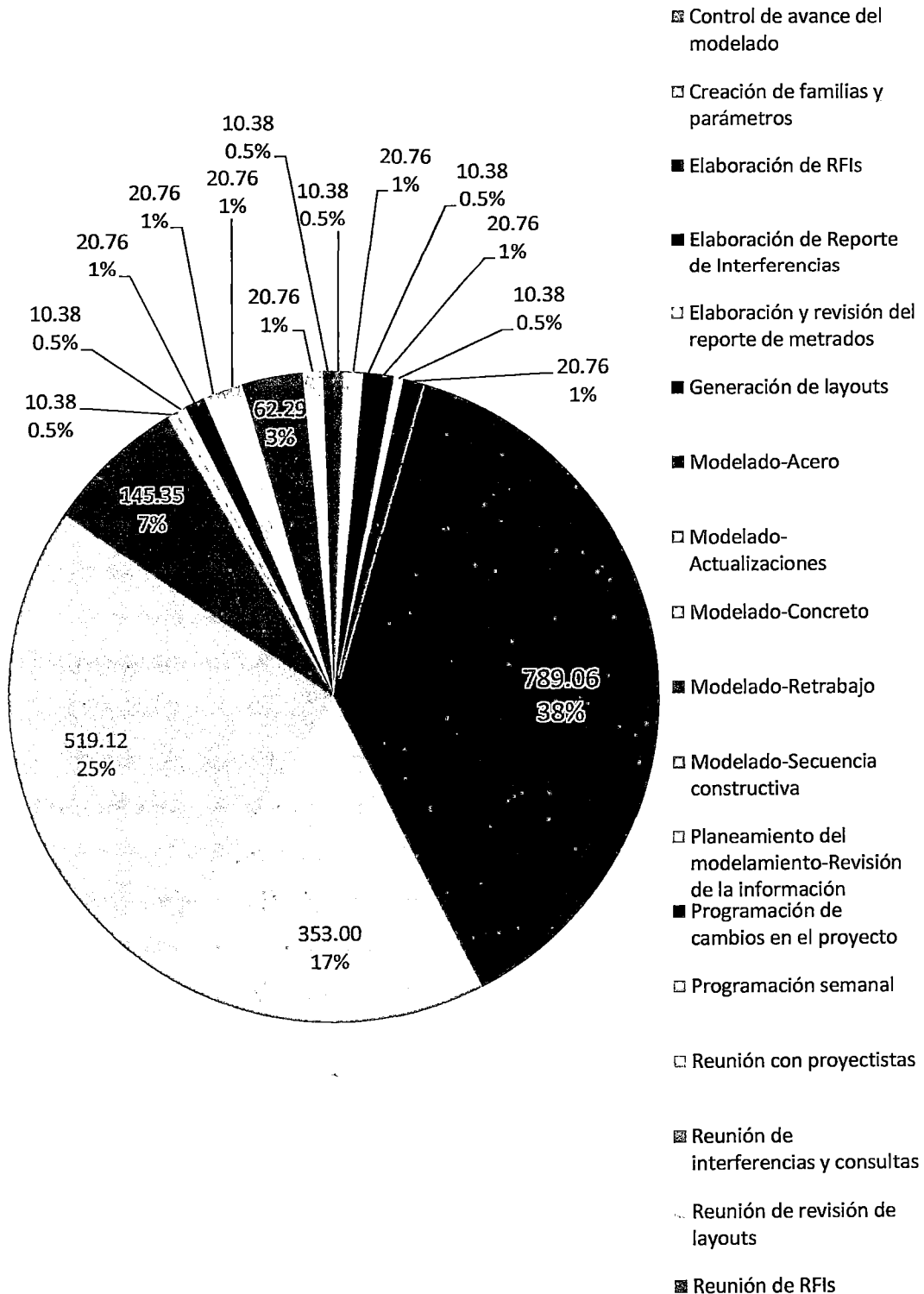


Figura N° 4.27.: Diagrama circular de las horas hombre consumidas por soporte BIM en el modelo para la especialidad de estructura hasta la semana 18 – Abril.

En la figura 4.28 siguiente, se detallan las actividades realizadas en el modelo para la especialidad de MEP y las horas hombre acumuladas hasta la semana 18:

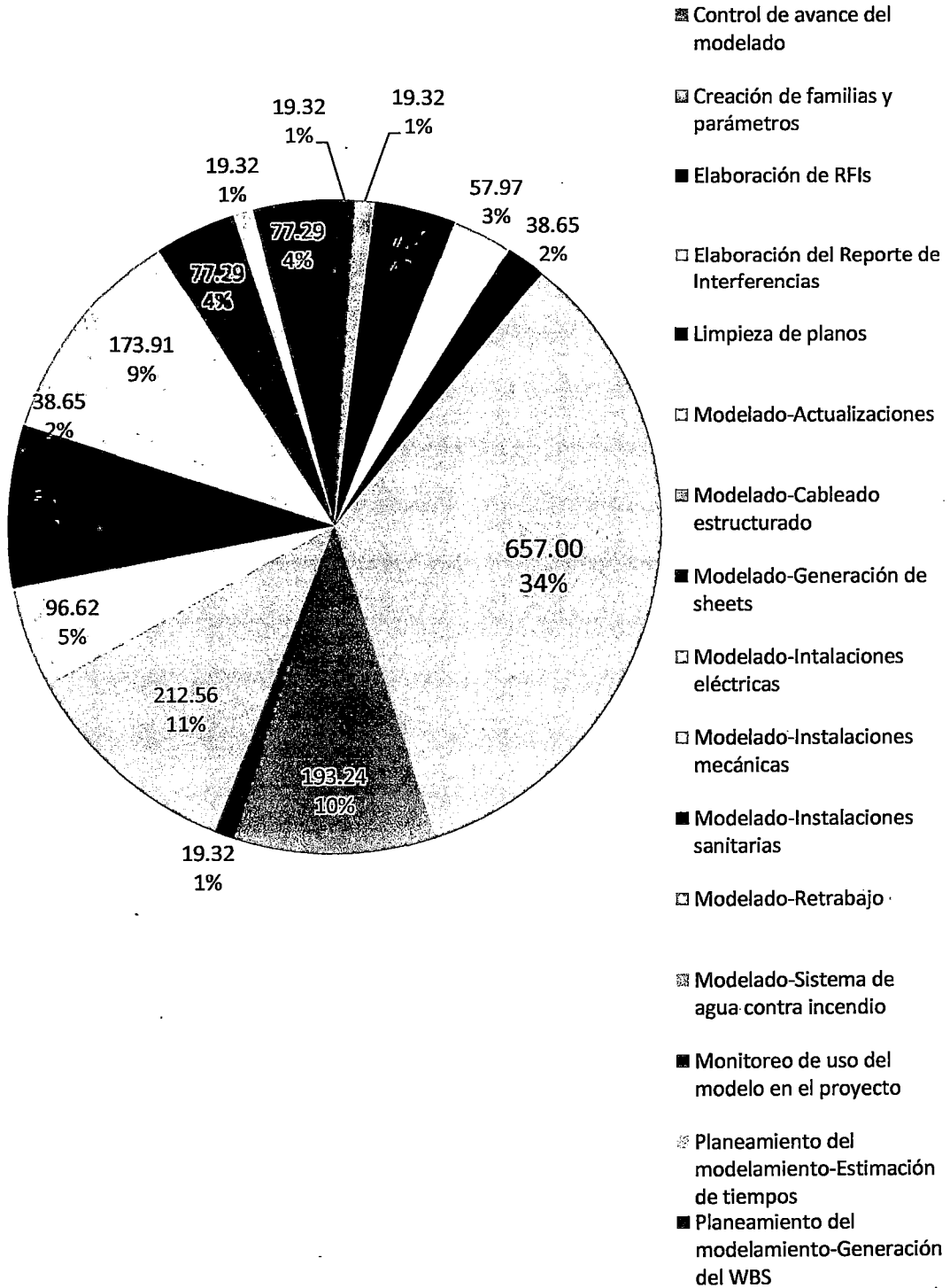


Figura N° 4.28.: Diagrama circular de las horas hombre consumidas por soporte BIM en el modelo para la especialidad de MEP hasta la semana 18 – Abril.

4.3.3 Beneficio del uso de BIM en la sectorización del proyecto

En el proyecto se realizaron varias sectorizaciones partiendo desde una primera sectorización con 4 sectores, hasta llegar finalmente a la cuarta sectorización con 5 sectores. Esto ocurrió debido a algunas limitaciones de constructabilidad que todavía se encontraban, lo que provocó que el modelo BIM sea retrabajado en varias ocasiones por soporte BIM (ver figura N° 4.29), (ver Anexo 05).

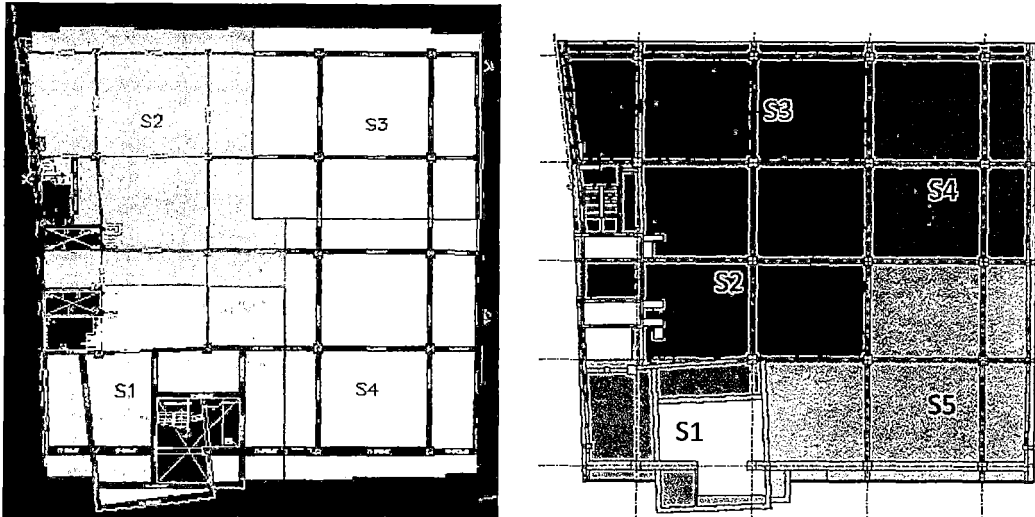


Figura N° 4.29.: Primera sectorización en el proyecto con 4 sectores (lado izquierdo). Cuarta sectorización en el proyecto con 5 sectores (lado derecho).

En el siguiente cuadro N° 4.11 podemos observar las horas hombres de retrabajo tomadas por soporte BIM para realizar cada sectorización en el modelo:

Cuadro N° 4.11.: Horas hombre de retrabajo de soporte BIM para la sectorización del proyecto.

Datos brindados por el jefe del área de soporte BIM.

SECTORIZACIÓN DE LA TORRE DEL PROYECTO - RETRABAJO				
Proyecto	Horas hombre (Sectorización)	Horas hombre (4D + video)	Total Horas hombre	Modelador
2da Sectorización	16.00	6.00	22.00	Ing. Senior
3ra Sectorización	26.00	20.00	46.00	Ing. Junior
4ta Sectorización	8.00	4.00	12.00	Ing. Senior
		Total	80.00	

El jefe del área de soporte BIM reportó que en total se consumieron 80 horas hombre de retrabajo para la sectorización del proyecto por parte de sus ingenieros modeladores y estimó un salario promedio de ellos por hora hombre de 11.80 nuevos soles. Lo cual nos da un costo total de retrabajo para la sectorización en el modelo de *944.00 nuevos soles*.

Asimismo el jefe de producción reportó que la cantidad de trabajadores involucrados en la producción era de 56 personas y el salario promedio estimado era de 7.70 soles. Si consideramos un total de 8.5 horas de trabajo diario, entonces el costo total por día de la producción es de *3,665.20 nuevos soles*.

Por lo tanto con los datos brindados por el jefe de soporte BIM y el jefe de producción podemos analizar la información de la siguiente manera:

El costo de un solo día de trabajo en campo de producción fue aproximadamente 4 veces el costo total del retrabajo de la sectorización en BIM. Debemos agregar que el impacto producido por una incorrecta sectorización puede ocasionar 1 día de paro en el flujo de la producción, incluso llegar a más de 1 día; entonces cada día parado en el proyecto por no llegar a la correcta sectorización le hubiera costado a la contratista 3 veces más que todo el retrabajo hecho en el modelo BIM.

En conclusión:

“El costo promedio de cada retrabajo en la sectorización con el modelo BIM fue solo el 8.33% del costo que resultaría tener 1 día parado en la producción.”

4.4 RESULTADOS DE LA INICIATIVA VDC EN CALIDAD Y COSTOS

4.4.1 Análisis de las horas hombre de retrabajo consumidas en el proyecto

El ingeniero de calidad (Producción) fue el encargado de registrar las horas hombre (HH) usadas para el retrabajo en el reporte de no conformidades. La figura N° 4.30 muestra las HH de retrabajo consumidas en los meses en que cada especialidad se trabajó.

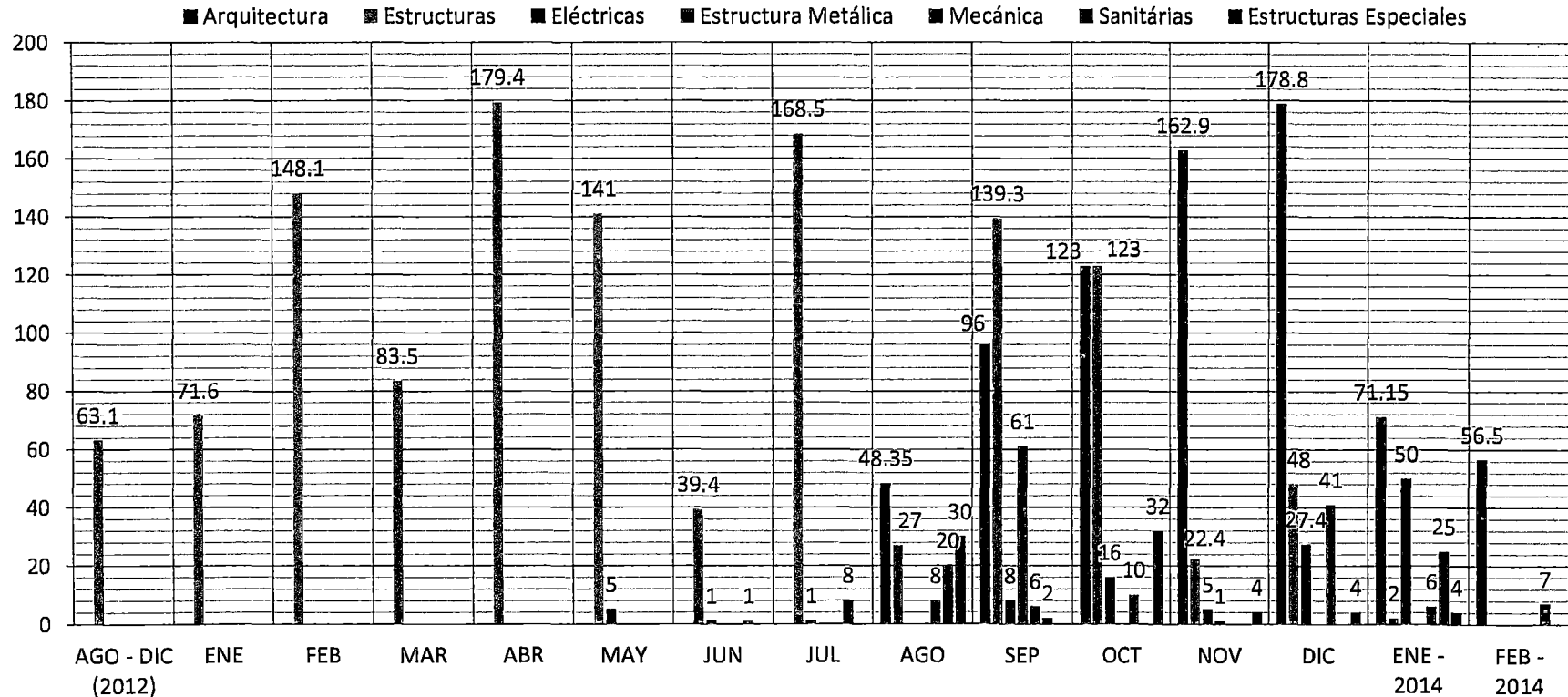


Figura N° 4.30.: Registro mensual de las horas hombre (HH) de retrabajo consumidas en el proyecto por especialidad.

La figura N° 4.31 muestra las horas hombre (HH) acumuladas de retrabajo, consumidas en los meses en que cada especialidad se trabajó

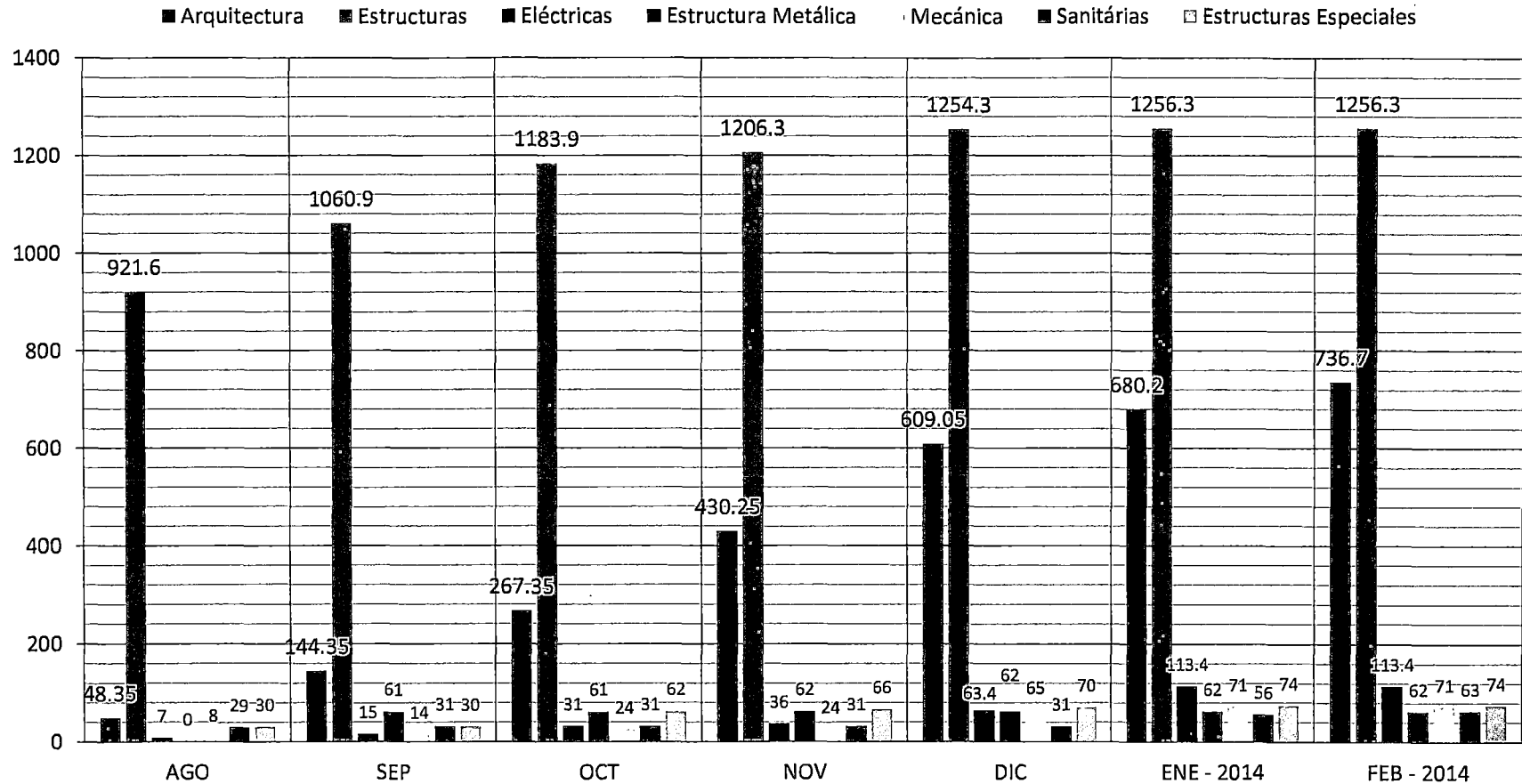


Figura N° 4.31.: Registro mensual acumulado de las horas hombre (HH) de retrabajo consumidas en el proyecto por especialidad.

De la figura anterior se tiene el acumulado de las horas hombre de retrabajo totales en el proyecto hasta febrero del 2014. Y si se lleva a un diagrama circular se puede observar cuanto representa en porcentaje el retrabajo hecho para cada especialidad.

La figura N° 4.32 muestra las HH de retrabajo totales consumidas en el proyecto

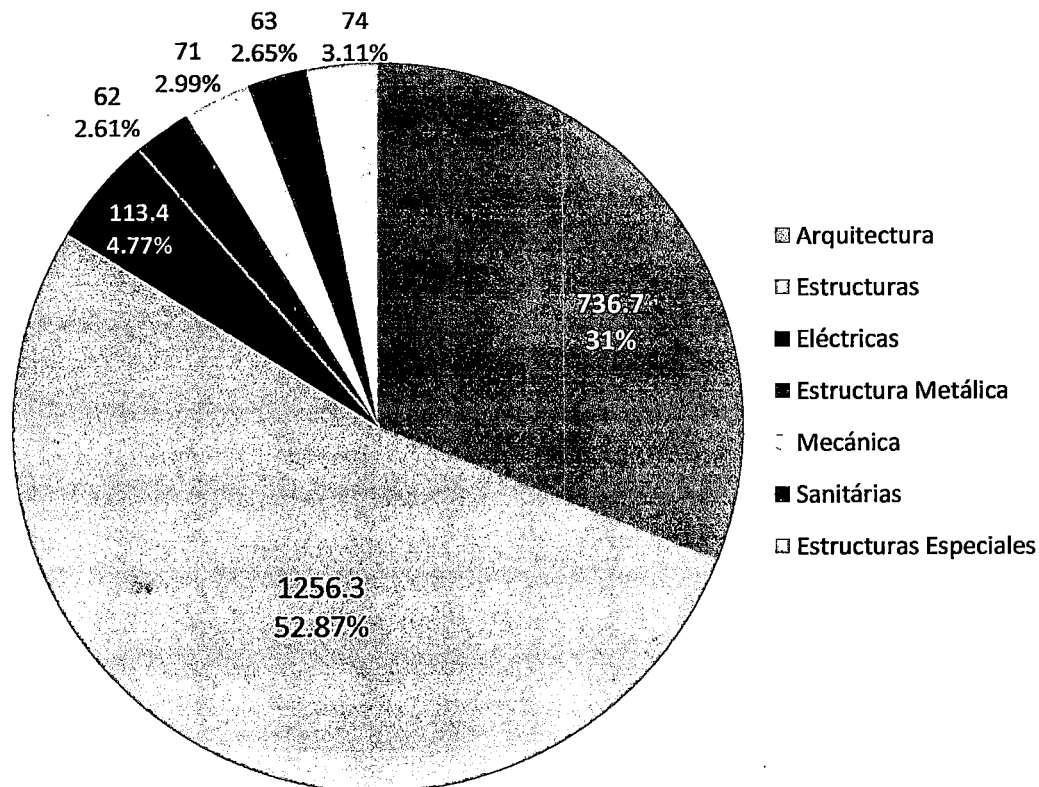


Figura N° 4.32.: Diagrama circular de las horas hombre (HH) de retrabajo totales consumidas en el proyecto por especialidad.

4.4.2 Análisis de las órdenes de cambio (adicionales y deductivos) en el proyecto

En este proyecto, como en los demás proyectos de la contratista, se registraron las órdenes de cambio (OC) que fueron los adicionales y deductivos generados por la contratista y aprobados por el cliente cuando se definió claramente el alcance del proyecto⁽¹⁵⁾. Estas OC fueron consideradas en el presupuesto meta total y el registro de todas las órdenes de cambio fue brindado por el ingeniero de presupuesto de oficina técnica para el análisis. (El resumen del avance del presupuesto en el proyecto se muestra en el Anexo 03).

La figura N° 4.33 muestra los montos en soles de las ordenes de cambio registradas por especialidades en el proyecto y el porcentaje que representan estos valores respecto al presupuesto meta.

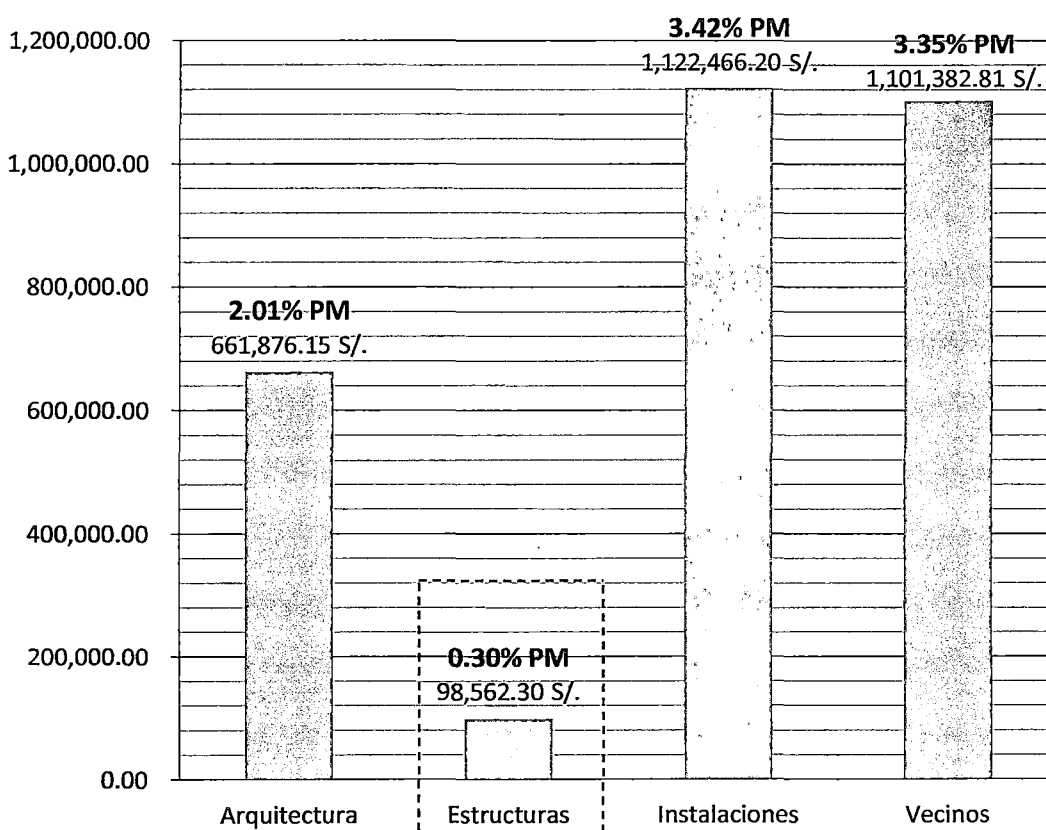


Figura N° 4.33.: Diagrama de barras del monto total en soles de las órdenes de cambio por cada especialidad en el proyecto. Se indica cuanto representa en porcentaje cada monto respecto al presupuesto meta (PM). Las especialidades que generaron más dinero en OC fueron las instalaciones y vecinos (3.42%PM y 3.35%PM), asimismo arquitectura generó un 2.01%PM y estructuras solo generó un 0.30%PM.

¹⁵ En el capítulo II se explica sobre el presupuesto contractual y presupuesto meta. En el capítulo III se explica toda la gestión BIM y VDC de la contratista para definir el alcance del proyecto.

Del diagrama anterior se puede calcular que el monto total de órdenes de cambio (adicionales y deductivos) generadas en el proyecto es de 2'984,287.45 nuevos soles y representa el 9.08% del presupuesto meta de la contratista.

Asimismo el monto en soles de las OC de instalaciones y vecinos representan los valores más altos debido a muchos factores ocurridos en el proyecto.

Las OC de instalaciones son consecuencia de los cambios producidos por el cliente (como por ejemplo, el cambio de toda la arquitectura del primer piso) y como producto de las deficiencias provenientes del diseño (falta de constructabilidad e incompatibilidades).

De igual manera las OC de vecinos responden a problemas comunes que se tiene en todo proyecto con relación a los propietarios de los inmuebles vecinos al proyecto, aun así estos problemas no se previeron de manera correcta en el presupuesto contractual ya que se generaron muchos adicionales en el desarrollo de la construcción. Sin embargo otro factor impactó más en la generación de OC de vecinos, la baja capacidad portante del terreno encontrado, que conllevó a realizar nuevos estudios y más sofisticados para la estabilización del terreno de los vecinos, así como los trabajos de estabilización y reparaciones de los vecinos.

Finalmente se analiza las OC generadas para las especialidades de estructuras y arquitectura, donde se observan montos menores debido al trabajo y gestión de la contratista por definir el alcance del proyecto antes de la construcción.

Las OC de arquitectura representan menor monto que las anteriores especialidades mencionadas debido a que no hubo muchos cambios con respecto al presupuesto contractual (solo se mejoró la calidad de los materiales del muro cortina del edificio). Sin embargo las deficiencias provenientes del diseño (falta de detalles, incompatibilidades y falta de constructabilidad) así como los cambios producidos por el cliente (cambio de la arquitectura del primer piso) influyeron en la generación de más OC.

Lo más importante para esta investigación es analizar las órdenes de cambio (OC) generadas en la especialidad de estructuras.

El monto de las OC de estructuras representan sólo el 0.30% del presupuesto meta, es decir 98,562.30 nuevos soles. Todos los adicionales y deductivos registrados por la contratista en la especialidad de estructuras son producto de las deficiencias provenientes del diseño, en otras palabras, de la ingeniería no terminada o ingeniería insuficiente para realizar la construcción del proyecto (falta de detalle, falta de constructabilidad e incompatibilidades). Pero cabe resaltar y explicar por qué la contratista logró obtener un 0.30% del presupuesto meta en ordenes de cambio de esta especialidad, que por sí es un valor muy favorable y óptimo.

El ingeniero de presupuesto de oficina técnica, quien proporcionó el registro de las órdenes de cambio, indicó lo siguiente:

“Debido a muchos cambios de la ingeniería en el proyecto, por el cliente, que postergaron el inicio de la obra, se tuvo un tiempo aprovechable desde junio hasta octubre del 2012 para revisar el presupuesto y la ingeniería básica [...] El equipo se metió en la ingeniería y la mejoró elaborando un presupuesto meta antes del inicio de la construcción [...] las órdenes de cambio en un proyecto dependen de la calidad del proyectista con el que se trabajó.” – Ingeniero de presupuestos de oficina técnica.

Tal como se desarrolla en el capítulo II (Caso de estudio), la naturaleza de este proyecto permitió a la contratista mejorar y resolver parte de la ingeniería, sobre todo de la especialidad de estructuras, desde antes de la construcción. Esta buena práctica se apoyó con las metodologías que ya habían empezado a trabajarse en los proyectos de la contratista, como BIM que ayudó a definir el alcance del producto a construirse (el edificio) y gestionar la información del proyecto de una manera diferente y potente. El uso de la metodología VDC impulsó a medir y evaluar sus resultados para mejorarlos y comenzar un trabajo anticipado de corrección de las deficiencias del diseño antes de la construcción para lograr un buen desarrollo de la ingeniería de valor propuesta en el proyecto.

En las páginas anteriores se analizaron y explicaron los resultados en montos de las órdenes de cambio (OC) obtenidas por especialidades en el proyecto, ahora toca hacer un análisis comparativo con los resultados de las OC por especialidades registradas de otro proyecto que la contratista ejecutó en el 2011 hasta mediados del 2012⁽¹⁶⁾.

Es preciso dejar en claro que cada proyecto tuvo sus propios factores externos e internos que influyeron en sus actividades y resultados propios. Tales diferencias principales entre estos 2 proyectos son las siguientes: (a) El cliente y modalidad del contrato, (b) Diferentes fines de la edificación, (c) En el proyecto UP se usó iniciativas en BIM y en el Proyecto GYM se usó estas experiencias previas en BIM e iniciativas en VDC.

Y son justamente estas diferencias principales las cuales nos demuestran indirectamente resultados más favorables para un proyecto respecto del otro.

La Figura N° 4.34 muestra un comparativo por especialidades entre los montos, en nuevos soles, de las OC generadas en los 2 proyectos y el porcentaje que representa cada una respecto a su presupuesto meta (PM).

¹⁶ Proyecto: "Edificio Educativo Universidad del Pacífico", cliente: Universidad del Pacífico, modalidad: Suma alzada y Administración directa, tiempo de ejecución: 15 meses, Presupuesto meta: 46'555,195.288 S/.

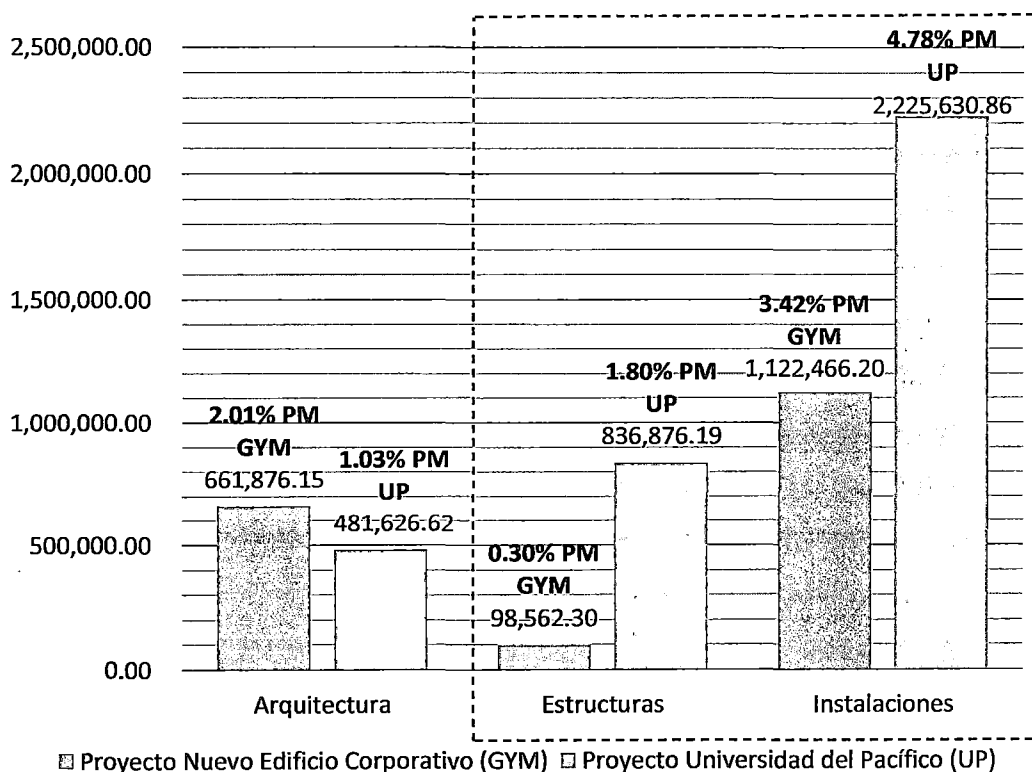


Figura N° 4.34.: Comparativo en diagrama de barras por especialidades entre las órdenes de cambio generadas en los 2 proyectos. Se indica cuanto representa en porcentaje cada monto respecto a su presupuesto meta (PM).

El proyecto UP tiene un índice total de 7.61% PM y el proyecto GYM tiene un índice total de 5.73% PM respecto a las especialidades más importantes en un proyecto. Mejorando en un 1.88% PM, GYM respecto a UP.

El trabajo en ingeniería y las iniciativas en nuevas metodologías que empezó a usar la contratista como BIM y VDC para definir anticipadamente el alcance del proyecto fueron reflejados con una mejora en los resultados de los montos en las órdenes de cambio.

Para las especialidades de instalaciones del proyecto en estudio (GYM), se observa que el índice de las OC respecto a su PM mejoró en un 1.37% respecto al proyecto en comparación (UP).

Para la especialidad de estructuras del proyecto en estudio (GYM), se observa que el índice de las OC respecto a su PM mejoró en un 1.50% respecto al proyecto en comparación (UP).

En las órdenes de cambio (OC) del proyecto en estudio explicadas anteriormente se mencionan los factores que las originaron, y para el análisis, todas las OC registradas fueron clasificadas según su origen por el ingeniero de presupuesto (oficina técnica) detectando 5 tipos de orígenes de las OC en el proyecto:

- 1) Ingeniería – falta de detalle
- 2) Ingeniería – falta de constructabilidad
- 3) Ingeniería – cambios por incompatibilidad
- 4) Cliente
- 5) Problemas con el terreno y vecinos

La figura N° 4.35 muestra el porcentaje que representa en dinero cada tipo de origen de las OC respecto al monto total de OC en el proyecto (adicionales y deductivos). El cliente tuvo más impacto en las OC ya que muchas veces ocurría que el proyectista definía muchas cosas pero el cliente no las aprobaba o hacía cambios, los problemas con la baja capacidad portante del terreno generaron muchos adicionales y muchos acuerdos con los vecinos para no dañar sus viviendas. Y notamos que las OC originadas por deficiencias en la ingeniería representaron el 18.68% ya que la contratista trabajó en mejorar la ingeniería antes del inicio de obra y apoyándose de las metodologías BIM y VDC.

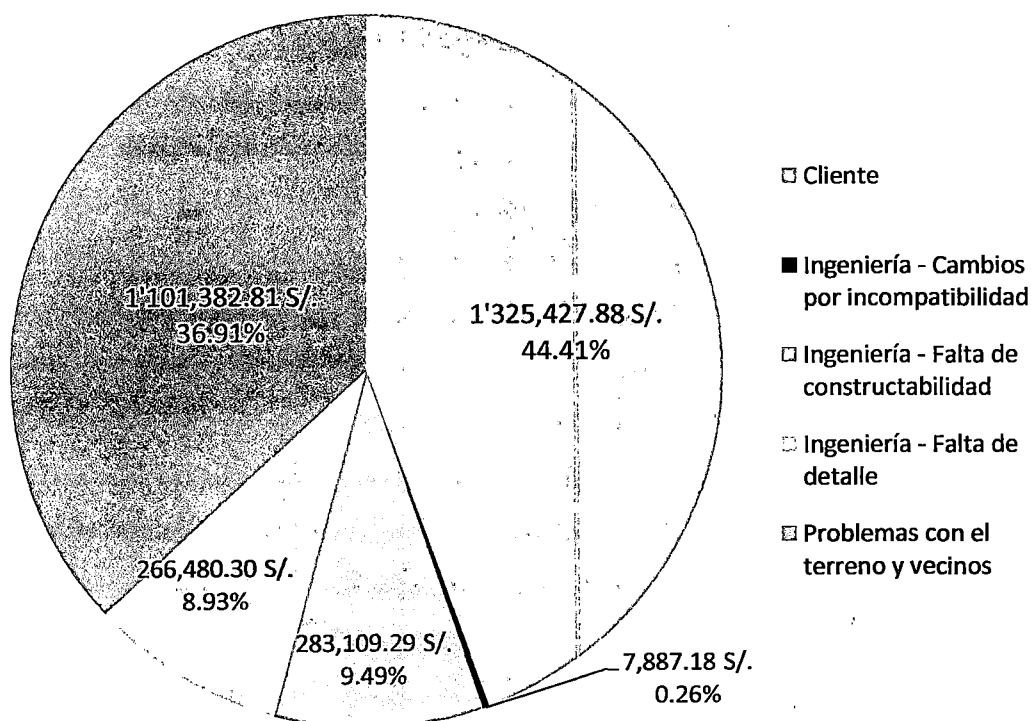


Figura N° 4.35.: Diagrama circular de los 5 tipos de orígenes de las órdenes de cambio detectadas en el proyecto y sus valores en dinero y porcentajes respecto del monto total de OC.

4.4.3 Análisis del presupuesto meta (PM) elaborado por la contratista

Si se toma los datos del presupuesto base, presupuesto contractual y presupuesto meta, explicados en el capítulo II, se puede calcular indirectamente en el cuadro N° 4.12 lo que representó el cambio de la ingeniería (propuesta de ingeniería de valor) y cuanto ahorro se proyectó al mejorar la ingeniería básica por la contratista.

Cuadro N° 4.12.: Análisis comparativo entre los presupuestos elaborados en el proyecto: PB, PC y PM. Y cuanto representa el cambio de ingeniería y mejoramiento de ingeniería realizadas en el proyecto.

Presupuesto Base (PB)		Presupuesto Contractual (PC)		Presupuesto Meta (PM)	
Presupuesto elaborado como producto de la fase del diseño del proyecto.		Presupuesto actualizado por el cliente y contratista para el inicio de ejecución de la contratista, con los cambios principales en ingeniería como el uso de aisladores sísmicos, estabilizaciones especiales para los vecinos y considerando las ordenes de cambio generadas.		Presupuesto proyectado elaborado por la contratista, sobre el presupuesto contractual, como producto de la revisión y mejoramiento de la ingeniería básica para poder lograr la ingeniería de valor propuesta por el cliente.	
COSTOS DIRECTOS (CD) EN SOLES					
Obras provisionales	26'250,539.47	Obras provisionales	27'050,339.05	Obras provisionales	24'949,920.07
Movimiento de tierras		Movimiento de tierras		Movimiento de tierras	
Estructuras		Estabilización especial para vecinos		Estabilización especial para vecinos	
Arquitectura		Estructuras		Estructuras	
Instalaciones		Aislamiento sísmico		Aislamiento sísmico	
		Arquitectura		Arquitectura	
		Instalaciones		Instalaciones	
Vecinos	259,163.69	Vecinos	281,110.45	Vecinos	281,110.45
Ordenes de cambio	0.00	Ordenes de cambio	1'788,893.47	Ordenes de cambio	2'984,287.45
PRESUPUESTO TOTAL SIN IGV (CD + CI)					
31'680,917.94 S/.		34'585,476.00 S/.		32'867,920.00 S/.	
RESULTADOS DEL ANÁLISIS EN SOLES					
Incremento por los cambios en ingeniería, uso de ingeniería de valor y detección de órdenes de cambio (PC – PB)				2,904,558.06 (8.84%PM)	
Ahorro proyectado debido al mejoramiento de la ingeniería y gestión de la contratista para reducir costos en el PC (PC – PM)				1,717,556.00 (5.23%PM)	

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. La presente investigación mostró que la iniciativa de aplicar la metodología VDC por parte de la empresa contratista, en uno de sus proyectos de edificaciones de oficinas, *contribuyó en un cierto grado a superar los problemas de ingeniería en la etapa de construcción del proyecto*. Aplicando las fases “Visualización y métricas” e “Integración”.

Fase 1: “Visualización y métricas”

En ese sentido, la implementación de la fase 1 “Visualización y métricas” sirvió de *base importante* para que el equipo de trabajo logre trazar los objetivos medibles y que se pueden monitorear (métricas) en la superación de los problemas de ingeniería; y que este equipo de trabajo tenga las herramientas, mediante la creación de los *modelos virtuales POP*, para gestionar la resolución de la ingeniería en la fase 2

Fase 2: “Integración”

La implementación de la fase 2 “Integración” permitió en cierto nivel el intercambio y la integración de toda la información posible del proyecto (ingeniería resuelta y no resuelta), plasmada en los modelos virtuales POP (creados en la fase 1) y en los documentos tradicionales del expediente técnico, entre los interesados del proyecto ayudando de esa manera a mejorar la comunicación, la coordinación y el entendimiento del alcance en el proyecto hasta *lograr superar los problemas de ingeniería* (de una manera más potente que las prácticas tradicionales) *suficiente para la construcción del proyecto en estudio*.

El grado en que se midió el desempeño de VDC para la resolución de la ingeniería del proyecto se puede observar en las figuras N° 4.14 y N° 4.15 del capítulo IV (Análisis de Resultados) donde, mediante las consultas en las RFI de ingeniería (métrica principal para medir el desempeño de VDC), se registró el avance de la resolución de la ingeniería en cada mes. Entonces de los resultados obtenidos en las

figuras N° 4.14 y N° 4.15 se concluye principalmente que la empresa contratista logró resolver el 67% de la ingeniería hasta enero del 2013 (inicio de la excavación y movimiento de tierras) y empezó la construcción del edificio con el 80% de la ingeniería resuelta en marzo del 2013 (cimentación).

2. La combinación de data y visualizaciones permite integrar procesos complejos que tradicionalmente permanecen separados y generan incertidumbre. El uso complementario de las reuniones ICE y de un modelo BIM ayudó al equipo multidisciplinario a trabajar de una manera más eficiente y colaborativa la solución de los problemas de ingeniería en el proyecto.

Reuniones ICE

El uso de las reuniones ICE en el proyecto cambió la estructura de las reuniones tradicionales de la contratista, hizo más proactiva la toma de decisiones en obra y aumentó el compromiso para la resolución de la ingeniería entre el “equipo multidisciplinario”. Con los aspectos básicos de la metodología ICE descritos en el acápite N° 3.4 se realizaron reuniones colaborativas desarrolladas en el acápite N° 3.6, entre:

- Contratista – Cliente – Proyectistas
- Contratista (Casco e instalaciones) – Contratista de Arquitectura
- Contratista – equipo de Soporte BIM
- Oficina técnica del Contratista (entre especialidades)
- Residente de obra – Equipo de Producción – Capataces

De esa manera con las reuniones ICE en obra se redujeron los tiempos para la coordinación y la resolución de la ingeniería documentadas en las RFI de ingeniería. Tal como se puede observar en las figuras N° 4.16 y N° 4.17 del capítulo IV (Análisis de Resultados), el equipo de trabajo logró reducir los tiempos de respuesta (latencias) promedio de las RFI de ingeniería en el proyecto que fluctuaban entre 45, 22, 25, 31 y 19 días en cada mes antes de la implementación de las reuniones ICE, y a partir de la implementación de las reuniones ICE en octubre del 2012 se

obtuvieron tiempos de respuestas promedio mensuales de 7, 12, 3, 9, 8, 4, 4, 7, 5 y 4 días. Un resultado muy favorable que comprueba la ventaja que obtuvo el equipo de trabajo al usar la metodología ICE en el proyecto.

Modelo BIM

El uso de un modelo BIM en el proyecto fue uno de los ejes principales en la aplicación de la metodología VDC para la etapa de construcción. Debido a que se realizaron los primeros pasos en la aplicación de VDC se requirió el apoyo del equipo de Soporte BIM (perteneciente a un área de la contratista) para crear el modelo mucho antes del inicio de la construcción del edificio y para gestionar el desarrollo y la evolución del mismo.

El modelo BIM creado permitió representar virtualmente los elementos relacionados a la construcción del edificio (producto) e integrar toda la información en una sola base de datos que pudo ser utilizado por todo el equipo multidisciplinario para desarrollar de una manera más potente la resolución de la ingeniería en el proyecto. Tal como se muestra en el cuadro N° 4.7 del capítulo IV (Análisis de Resultados) aproximadamente el 32% (143 de 452) de las consultas totales en las RFI de ingeniería fueron generadas del modelo BIM (llamadas RFI BIM), es decir, gracias a un modelo BIM 3D "inteligente" el equipo de Soporte BIM detectó una cantidad importante de incompatibilidades, conflictos e interferencias que contenía el diseño inicial del edificio y que fueron consultadas en las RFI BIM para ser resueltas en las reuniones ICE programadas.

El modelo BIM del edificio se iba actualizando constantemente con las RFI levantadas hasta el final del proyecto. Se obtuvieron como entregables del modelo BIM: los procesos constructivos en 4D (2), las simulaciones virtuales 4D (3), modelos 3D (7) con información de cada una de las especialidades (Arquitectura, Estructuras, ACI, ISS, IEE, etc.), visualizaciones (4) de actividades importantes (montaje de prelosas del casco del edificio, construcción de aisladores sísmicos, etc.), cantidades y metrados de las partidas, y planos del edificio.

3. Las métricas POP usadas en el proyecto sirvieron para que los actores encargados de aplicar VDC (Ingeniero residente, jefe de ingeniería y jefe de soporte BIM) pudieran gestionar y dirigir su proceso de desarrollo. Y como producto de esta gestión en el uso del VDC se logró cuantificar 17 métricas de las 28 métricas usadas en el proyecto (ver tablas N° 3.3 y N° 3.4 del capítulo III), las cuales fueron monitoreadas durante los meses en que se utilizaron.

En las tablas N° 5.1 y N° 5.2, descritas a continuación, se indican los estados evaluados del uso de las métricas en cada uno de los aspectos del POP (Producto – Organización – Procesos). Los estados evaluados son consecuencia del esfuerzo del equipo multidisciplinario en solucionar los problemas de ingeniería, los cuales también representan el rendimiento de la gestión en VDC aplicado por la contratista.

Tabla N° 5.1.: Resultados de la evaluación de las métricas de proceso usadas en la aplicación de la metodología VDC para el proyecto (elaboración propia).

N°	Nombre objetivo	Valor objetivo	Valor medido	Estado evaluado
PRODUCTO				
1	Actualización del modelo	90% de las RFIs incorporadas en el modelo cada fin de mes	100%	3 (bueno)
3	Cantidad de nuevas oportunidades para mejorar el resultado de la construcción	>= 4	5.33	3 (bueno)
5	Seguimiento de la actualización del modelo	Actualizar >90% de RFIs resueltas cada mes	100%	3 (bueno)
ORGANIZACIÓN				
7	Aumentar y asegurar la innovación y la ingeniería de la construcción	Tenemos que encontrar 4 nuevas oportunidades para mejorar el resultado de la construcción	Se encontraron más de 4 oportunidades	3 (bueno)
9	Implementar el uso de un modelo BIM en reuniones de programación semanal	75% de todas las reuniones semanales	69.6%	2 (regular)
PROCESO				
11	Promedio de respuesta de RFIs en la ejecución del proyecto	<= 7 días (actual 15 días)	6	3 (bueno)
12	Levantamiento de RFIs-BIM antes de iniciar el proyecto	100% de RFIs-BIM 3 meses después de la entrega del modelo	78%	1 (malo)
13	RFIs de ingeniería	Durante la construcción los RFIs de ingeniería serán solo el 10% del total	12%	3 (bueno)
15	Promedio de respuestas de RFIs	3 días (normalmente 15 días)	7.5	1 (malo)

Tabla N° 5.2.: Resultados de la evaluación de las métricas de resultado usadas en la aplicación de la metodología VDC para el proyecto (elaboración propia).

N°	Nombre objetivo	Valor objetivo	Valor medido	Estado evaluado
PRODUCTO				
17	Conseguir un modelo BIM de la construcción (estructura)	100%	100%	3 (bueno)
ORGANIZACIÓN				
18	Añadir valor a los clientes a través de mejoras de ingeniería en los proyectos.	4 mejoras de ingeniería (100%)	88%	2 (regular)
19	Aumentar y asegurar la innovación y la ingeniería de la construcción	Con reuniones ICE donde tenemos que encontrar 4 oportunidades para mejorar la construcción	Se encontraron más de 4 oportunidades	3 (bueno)
21	Realizar la programación semanal del proyecto utilizando un modelo BIM.	> 75%	69.6%	2 (regular)
23	Tener 2 personas capaces de manejar herramientas BIM al final del proyecto.	2 personas	2 personas	3 (bueno)
PROCESO				
24	Identificación de RFIs-BIM antes de comenzar el proyecto	>=40 RFIs por mes antes de comenzar el proyecto	30	2 (regular)
25	Identificación de RFIs-BIM antes de comenzar el proyecto	>=20 RFIs por mes antes de comenzar el proyecto	19	3 (bueno)
26	Solución de las RFIs BIM	>= 95 %, 1 mes antes de comenzar las actividades	76%	1 (malo)

Entonces de las tablas anteriores se concluye, que solo 3 métricas de las 17 cuantificadas resultaron con un estado evaluado de “malo”. Estas métricas corresponden a las métricas de PROCESO, lo cual refleja la falta de conocimiento de la metodología de Mapeo de Procesos.

Asimismo 4 métricas de las 17 cuantificadas resultaron con un estado evaluado de “regular”. Estas métricas corresponden a las métricas de ORGANIZACION y PROCESO, lo cual demuestra la dificultad en el caso de estudio de aplicar nuevas metodologías como ICE y Mapeo de Procesos.

Finalmente se obtuvieron 10 métricas, de las 17 cuantificadas, con un estado evaluado de “bueno”. Estas métricas corresponden a las métricas de PRODUCTO (4 métricas), ORGANIZACIÓN (3 métricas) y PROCESO (3 métricas), lo cual demuestra una mayor facilidad en el uso del Modelo BIM por parte del equipo multidisciplinario para visualizar el producto a

construir, y también el uso de los procesos constructivos 4D en un entorno de trabajo colaborativo con las reuniones ICE ayudaron a lograr los objetivos trazados.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Es necesario que los primeros pasos en el uso de la metodología VDC los realicen las empresas constructoras o encargadas de la etapa de la construcción del proyecto, debido a que en nuestro medio todavía es difícil implementar VDC desde la fase de concepción y diseño del proyecto. Desde hace algunos años las empresas de ingeniería y construcción más importantes del país ya están implementando BIM en la etapa de construcción e incluso desde la etapa de diseño. Estas organizaciones deben utilizar la metodología ICE para potencializar la implementación del BIM, y mejorar sus rendimientos y colaboración en su entorno de trabajo.
2. Para implementar las 2 primeras fases de VDC, descritas en la presente investigación, es necesario el compromiso y el conocimiento de la metodología por parte de los involucrados y de la empresa. Actualmente ya se están realizando en Lima programas de certificación en VDC para profesionales por el CIFE de Stanford y la empresa Project Production Institute. Asimismo para aplicar VDC se requiere de un nivel alto de compromiso, entre todas las entidades participantes del proyecto, enfocado en optimizar los resultados y la eficiencia del proyecto.
3. Para mantener la continuidad del uso del modelo BIM y sus actualizaciones periódicas con la ingeniería resuelta hasta lograr el modelo BIM final para ser usado en la etapa de operación del edificio, se recomienda usar algunas métricas y evaluar sus rendimientos.
4. Para realizar una buena práctica de las reuniones ICE, mejorar la eficiencia en la solución de los problemas de ingeniería y mejorar las actividades de construcción, se recomienda usar algunas métricas y evaluar sus rendimientos.

5. Al igual que los estudios de la aplicación e iniciativas de la metodología VDC, se recomienda realizar más investigaciones de estas nuevas metodologías y plataformas de trabajo, pero de una manera más particular y puntual para obtener resultados más concretos y precisos. El campo de estudio es muy amplio y solo se conoce la punta del "Iceberg", de las metodologías como ICE, mapeo de procesos, BIM y VDC; incluso estas pueden hacer sinergia con LEAN y LEED.
6. Tal como lo describen Kunz and Fischer, 2012. Existen limitaciones VDC que se deben tomar en cuenta para posteriores aplicaciones e implementaciones, las cuales son:

Gestión por parte del propietario: La falta de conocimiento e iniciativa de los propietarios en el uso de VDC limitan el interés y la voluntad de utilizar VDC en la práctica por parte de las empresas.

Cultura de la industria AEC: Tanto los propietarios, diseñadores y constructores tienen una cultura y prácticas de trabajo para el proyecto establecidas. Se necesita invertir para mejorar los procesos con metodologías innovadoras, incluso, si se obtienen buenos resultados es difícil institucionalizar las lecciones aprendidas para usarlas en proyectos posteriores. Muchos tienen una cultura de minimizar los costos, pero pocos tienen una cultura de maximizar el valor.

Base teóricas de los métodos VDC: Los métodos de análisis VDC basado en modelos todavía se están desarrollando teóricamente y las experiencias en nuestro medio de aplicación VDC son casi nulas.

Aprendizaje: Los proyectos de constantes cambios en la industria contribuyen al esparcimiento de la experiencia, en lugar de un aprendizaje sistemático.

Capacidad e integración de las herramientas: Actualmente las herramientas del modelado y análisis VDC son difíciles de usar y no se integran fácilmente. Sin embargo se espera recibir resultados positivos a pesar de sus limitaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alarcon, Isabel; Digby, Christian y Tommelein, Iris, "Collaborating with a permitting agency to deliver a healthcare project: case study of the Sutter Medical Center Castro Valley (SMCCV)", Paper, 19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction IGLC 19, Lima, Peru, 2011.
2. Alarcón, Luis F. y Mardones, D. A., "Improving the design-construction interface", Proceedings IGLC 1998 - Guarujá, Brazil, 1998.
3. Alcántara Rojas, Paul, "Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción virtual usando tecnologías BIM", Tesis de Grado, Lima, Perú, 2013.
4. Alcántara Rojas, Paúl Vladimir, "Integrando las etapas diseño-construcción con el enfoque Lean Design usando el Modelado de la Información de la Edificación (BIM)", Paper, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 2012.
5. Alcántara Rojas, Paúl Vladimir, "Modelando en BIM 3D y 4D para la construcción: Caso Proyecto Universidad del Pacífico", Paper, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 2012.
6. Alcántara Rojas, P. Vladimir, "Detección de interferencias e incompatibilidades en el diseño de proyectos de edificaciones usando tecnologías BIM", Paper, Lima, Perú, 2012.
7. Aranda-Mena, Guillermo; Crawford, John; Chevez, Agustin y Froese, Thomas, "Building Information Modelling demystified: Does it make Business sense to adopt BIM?", Paper, International Conference on Information Technology in Construction, Santiago, Chile, 2008.
8. Autodesk® Building Information Modeling, "Realizing the Benefits of BIM", Paper, EEUU, 2011.
9. Autodesk®, "soluciones BIM para construcción de edificios", Folleto, EEUU, 2010.
10. Baeza Pereyra, J.R. y Salazar Ledezma, G., "La enseñanza del modelo integrado para la construcción en Ingeniería Civil y Ambiental: caso de estudio en el Instituto Politécnico de Worcester", Paper, Revista Académica de la FI-UADY, Diciembre, 2008.
11. Chachere, John; Kunz, John y Levitt, Raymond, "The Role of Reduced Latency in Integrated Concurrent Engineering", CIFE Working Paper #WP116, Stanford, EEUU, 2009.
12. Coloma Picó, Eloi, "Introducción a la tecnología BIM", Paper, Barcelona, España, 2008.
13. Departamento de Negocios, Innovación y Habilidades, "Strategy Paper for the Government Construction Client Group From the BIM Industry Working Group", Marzo, 2011.
14. Eastman, Chuck, "BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors", New Jersey, EEUU, 2011.

15. Fischer, Martín, "Introduction to Virtual Design and Construction (VDC)", Documento académico, Stanford, EEUU, 2012.
16. Fischer, Martin; Yee, Peggy; Kam, Calvin, "Prospective validation of Virtual Design and Construction methods", Journal of Information Technology in Construction, Stanford, EEUU, 2013.
17. Gilligan, Brian y Kunz, John, "VDC Use in 2007: Significant Value, Dramatic Growth, and Apparent Business Opportunity", CIFE Technical Report #TR171, Stanford, EEUU, 2007.
18. GyM, "Virtual Design and Construction y su aplicación en GyM", Presentación, Lima, Perú, 2013.
19. Harty, Chris; Throssell, David; Jeffrey, Howard y Stagg, Malcolm, "Implementing building information modelling: a case study of the Barts and the London hospitals", Paper, Reino Unido, 2009.
20. Jurado Guerra, Carlos, "Ventajas del uso del BIM en la gestión de proyectos", Documento académico, Lima, Perú, 2011.
21. Khanzode, Atul; Fischer, Martin; Reed, Dean y Ballard, Glenn, "A Guide to Applying the Principles of Virtual Design & Construction (VDC) to the Lean Project Delivery Process", CIFE Working Paper #093, Stanford, EEUU, 2006.
22. Khanzode, Atul; Fischer, Martín y Reed, Dean, "Benefits and Lessons Learned of Implementing Building Virtual Design and Construction (VDC) Technologies for Coordination of Mechanical, Electrical, and Plumbing (MEP) Systems on a Large Healthcare Project". ITcon Vol. 13, pp.324, 2008.
23. Kunz, John y Fischer, Martin, "Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions", CIFE Working Paper #097, Versión 14, Stanford, EEUU, 2012.
24. Kunz, John, "Metrics for Management and VDC, Methods to Predict and Manage them", 1er Programa de Certificación en VDC, Lima, Perú, 2012.
25. Kunz, John; Levitt, Raymond y Jin, Yan, "The Virtual Design Team: A Computational Simulation Model of Project", paper, EEUU, 2012.
26. Kunz, J.; Christiansen, T.; Cohen, G.; Jin, Y. y Levitt, R., "The Virtual Design Team, a computational simulation model of project organizations that is usable and predictive for routine, project-oriented design tasks, Communications of the ACM", Paper, Vol.41, EEUU, 1998.
27. La Clase Ejecutiva, "Diseño y Construcción Virtual: Hoy las tecnologías de información son un apoyo imprescindible para desarrollar cualquier proyecto", Artículo, Project Management clase 7, Chile, 2013.
28. Levitt, Raymond, "The Virtual Design Team: Designing Project Organizations as Engineers Design Bridges", Journal of organization design, Stanford, EEUU, 2012.
29. Liston, Kathleen; Fischer, Martin; Kunz, John y Dong, Ning, "Observations of Two MEP iRoom Coordination Meetings: An Investigation of Artifact Use in AEC Project Meetings", CIFE Working Paper #WP106, Stanford, EEUU, 2007.

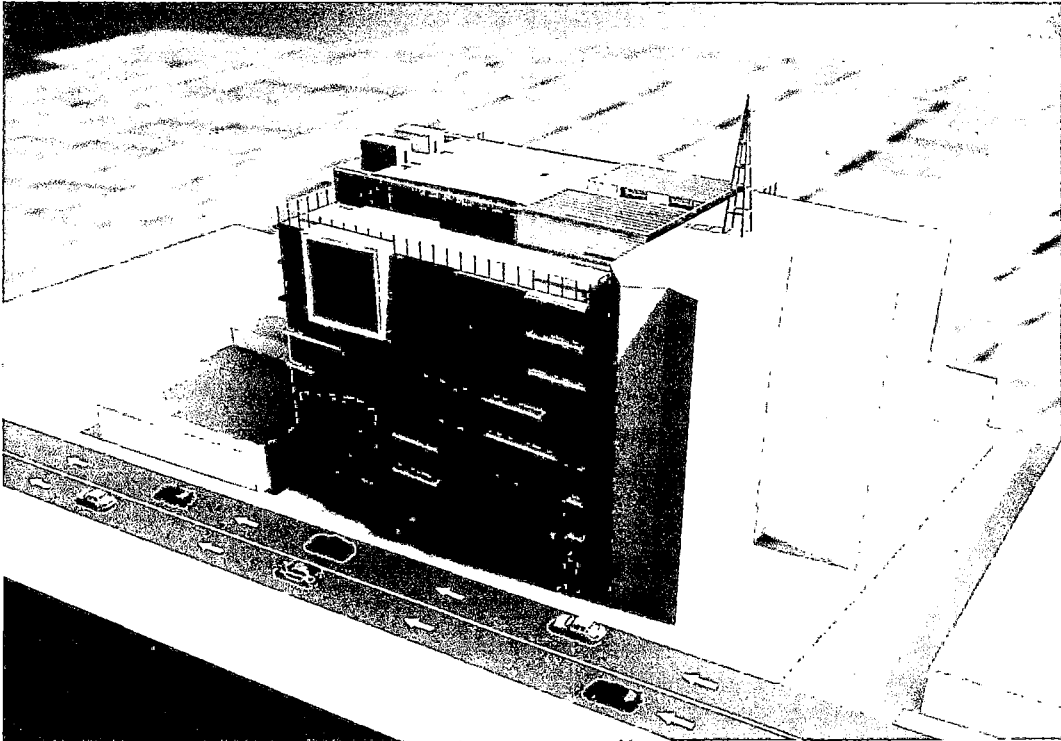
30. McGraw-Hill Construction (MHC), "The business value of BIM - Getting Building Information Modeling to the Bottom Line", Informe, New York, EEUU, 2009.
31. Mourgues, Claudio y Fisher, Martín, "Investigaciones en Tecnologías de Información Aplicadas a la Industria A/E/C (Arquitectura, Ingeniería y Construcción)", CIFE Technical Report #124, Stanford, EEUU, 2001.
32. Mourgues, Claudio, "Comunicación y Coordinación Operacional usando VDC", 4to Encuentro de Tecnologías de Información en la Construcción, Santiago, Chile, 2009.
33. Picchi, Flavio, "Sistemas de qualidade: uso em empresas de construcao de edificios", Tesis de Doctorado en Ingeniería, Sao Paulo, Brasil, 1993.
34. Project Management Institute, "Practice Standard for Work Breackdown Structures", libro, Pennsylvania, EEUU, 2001.
35. Rojas G., Roberto, "Building Information Modeling – BIM", Paper, Versión 1.5, Santiago, Chile, 2011.
36. Rowlinson, Steve, "Implementation of Building Information Modeling (BIM) in Construction: A Comparative Case Study", paper, 2010.
37. Sacks, Rafael; Koskela, Lauri; Dave, Bhargav y Owen Robert, "Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction", Septiembre, 2010.
38. Schrama, Paul, "Implementing Virtual Design and Construction, Evaluatio n and improvement of the VDC implementation in the design phaseof AE C projects", Tesis de Maestría, Rotterdam, Holanda, 2011.
39. Scotiabank, "Perú: Proyecciones Macroeconómicas 2013", Reporte especial, Lima, Perú, 2012.
40. Strategic Project Solutions, "Aplicación de la Gestión de Proceso", 1er Programa de Certificación en VDC, Lima, Perú, 2012.
41. Strategic Project Solutions, "Definición de Roles para reuniones ICE", 1er Programa de Certificación en VDC, Lima, Perú, 2012.
42. Strategic Project Solutions, "Integrated Concurrent Engineering", 1er Programa de Certificación en VDC, Lima, Perú, 2012.
43. Strategic Project Solutions, "Setting Breakthrough Performance Objectives", 1er Programa de Certificación en VDC, Lima, Perú, 2012.
44. Strategic Project Solutions, "ICE Session Planning & Facilitation", 1er Programa de Certificación en VDC, Lima, Perú, 2012.
45. Suermann, Patrick, "Evaluating the impact of building information modeling (BIM) on construction", Tesis para el grado de PhD, Universidad de Florida, Florida, EEUU, 2009.
46. Tilley, Paul; Wyatt, Adam y Mohamed, Sherif, "Indicators of Design and Documentation Deficiency", Australia, 2004.
47. Vásquez, Juan C., "Aplicación del Lean Design en proyectos de edificación", Tesis para optar grado de Ingeniero Civil, PUCP, Lima – Perú, 2006.

ANEXOS

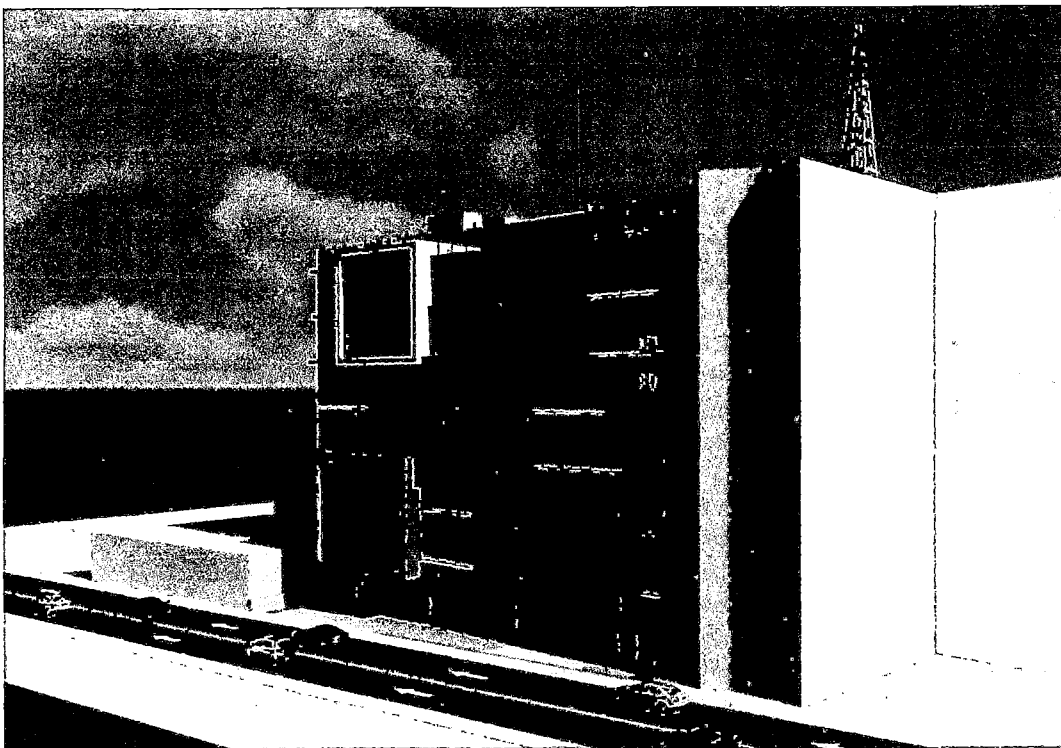
- ANEXO 01:** Imágenes 3D del proyecto “Nuevo Edificio Corporativo de Graña y Montero”.
- ANEXO 02:** Formato de solicitud de información o RFI.
- ANEXO 03:** Resumen del avance del presupuesto en el proyecto (Panel de control).
- ANEXO 04:** Evaluación del conocimiento del equipo multidisciplinario de trabajo sobre VDC, BIM, ICE y Mapeo de procesos.
- ANEXO 05:** Sectorización para el vaciado del concreto.
- ANEXO 06:** Planos referenciales en planta de la estructura del edificio.

ANEXO 01: Imágenes 3D del proyecto "Nuevo Edificio Corporativo de Graña y Montero"

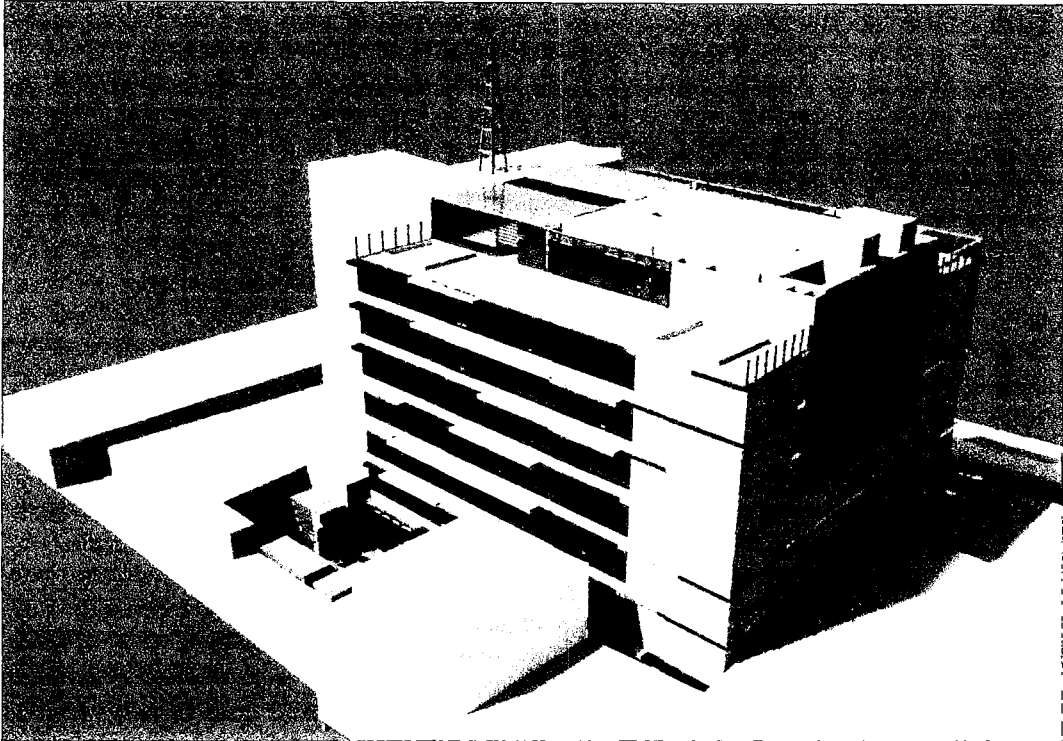
a) Vista frontal 1:



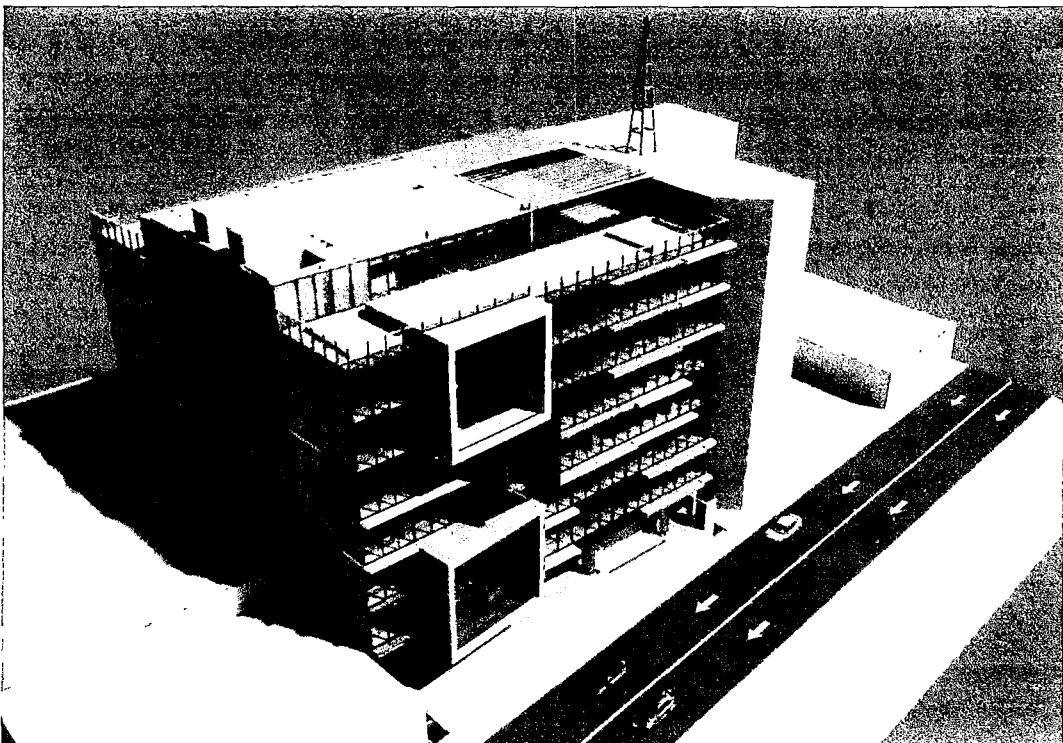
b) Vista frontal 2:



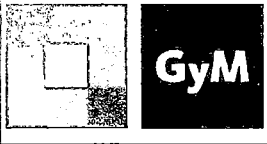
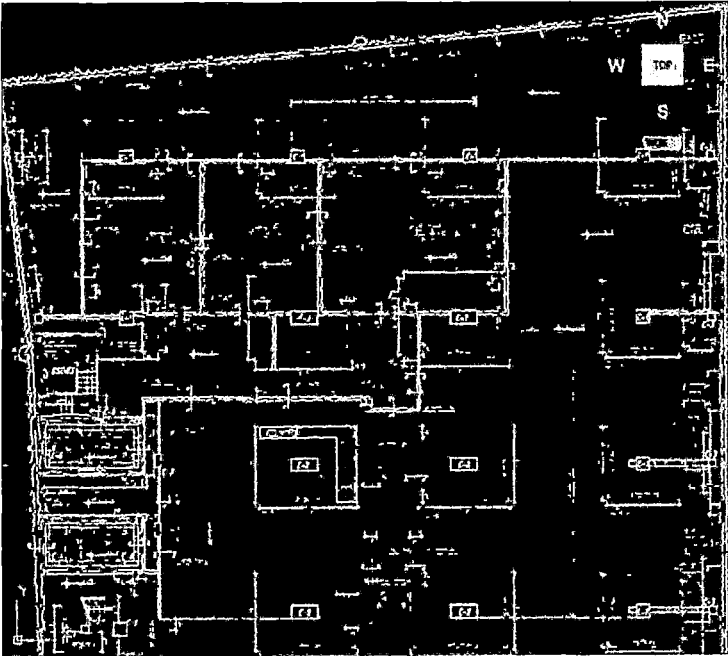
c) Vista posterior del proyecto:



d) Vista frontal 3:



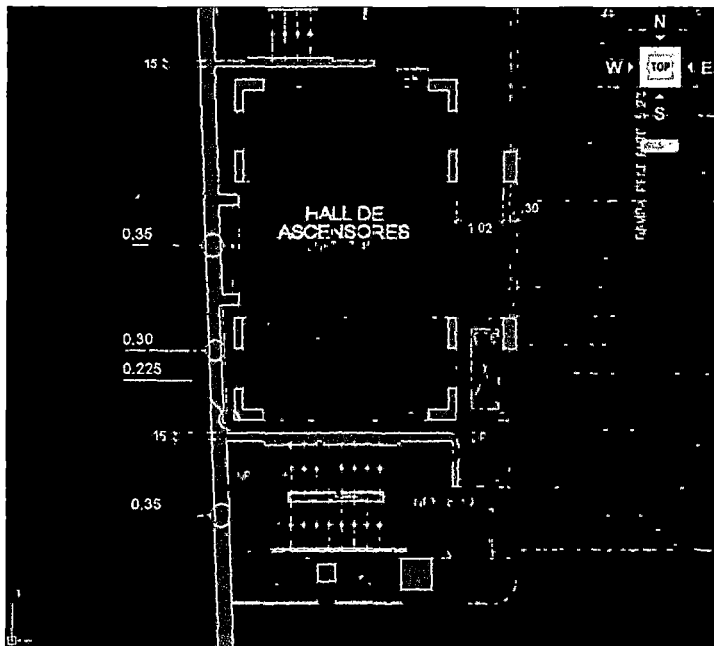
ANEXO 02: Formato de solicitud de información o RFI

	REGISTRO	GyM.SGC.PG.0003-F1
	GESTIÓN DE CALIDAD	Nro Registro: 027
	SOLICITUD DE INFORMACIÓN (SI)	Fecha Registro: 29/12/12
		Página : 1 de: 1
CÓDIGO Y NOMBRE DEL PROYECTO: 1775 - Edificio Corporativo GyM		
CLIENTE: VIVA GyM S.A.		
SOLICITUD DE INFORMACIÓN No.	027	
FECHA:	29/12/12	
SOLICITANTE:	Joan Carbajal Villanueva	
CARGO:	Ingeniero de Oficina Técnica	
PARA:	Prisma Ingenieros	
DOCUMENTOS REF.		
<ul style="list-style-type: none"> - Plano Actual "Planta de Cimentación Edificio de Oficinas" entregados el 28 de Diciembre. - Plano Superado "MODIFICACION CIMENTACION" entregados el 21 de Noviembre. - Plano propuesta de Arquitectónica "SK-14-Rev1-Modf-Placa-Eje-A" enviado el 21 de Diciembre. 		
DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN SOLICITADA / CONSULTA:		
<p>1.- Confirmar zona de placas en cimentación, se entiende que todas las líneas azules deberían ser placas, ya que en la anterior versión del plano de cimentación se delimitaba varias zonas más como placas.</p>		
		
Plano anterior "MODIFICACION CIMENTACION"		



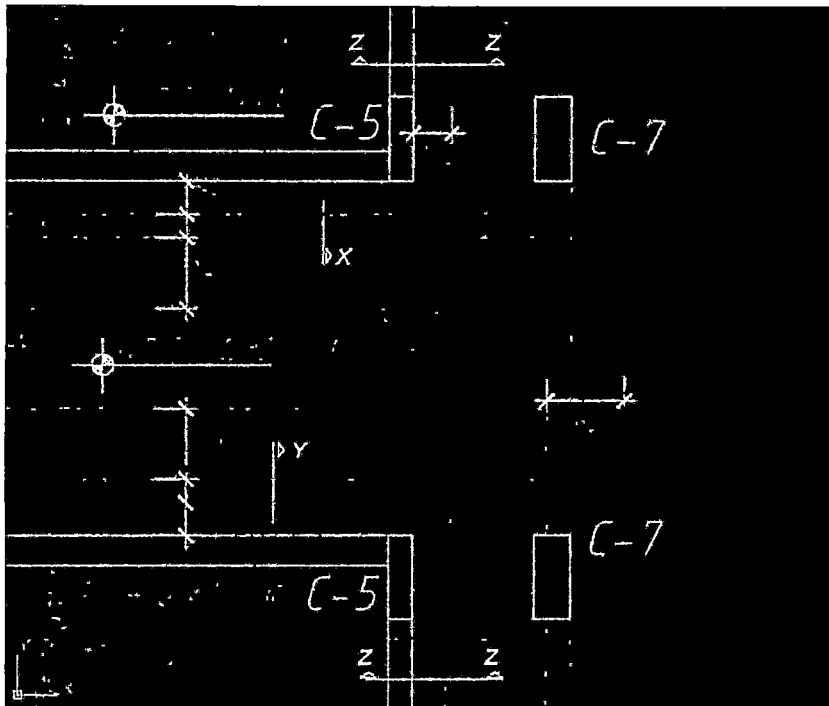
Plano Actual "Planta de Cimentación Edificio de Oficinas"

2.- Se debe tener en cuenta la propuesta de Arquitectura que se tiene en el plano adjunto "SK-14-Rev1-Modf-Placa-Eje-A" que fue aprobada por Prisma Ingenieros, en donde se plantea una placa en la escalera 03 de 0.15 cm de espesor, así como una placa perpendicular a la columna C-6 en la escalera 02.

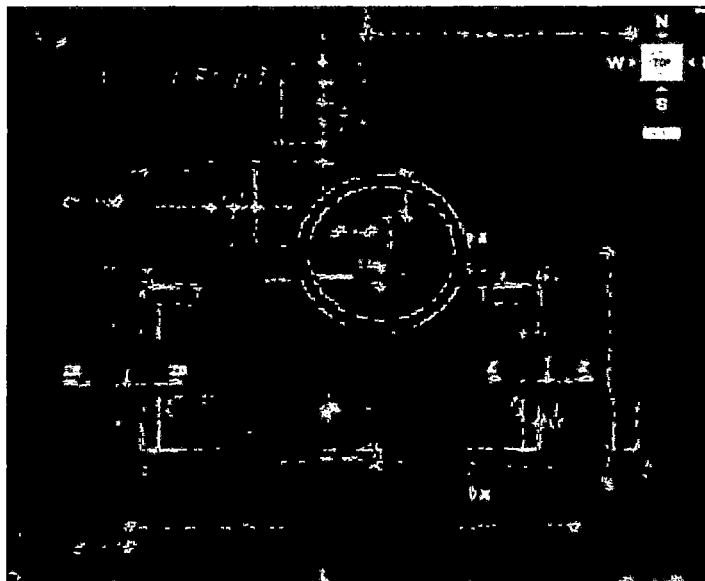


Propuesta de Arquitectura "SK-14-Rev1-Modf-Placa-Eje-A"

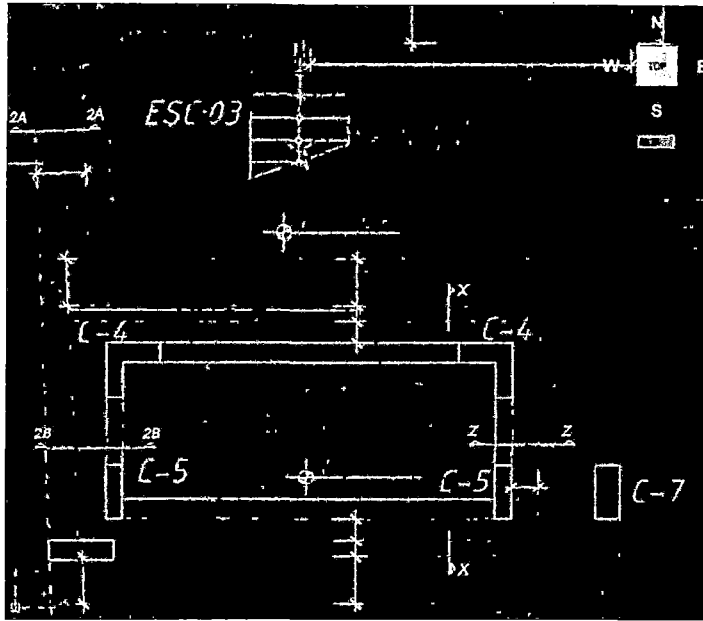
3.- No se tiene detalle de cimentación de las columnas C-7 (zapatas)



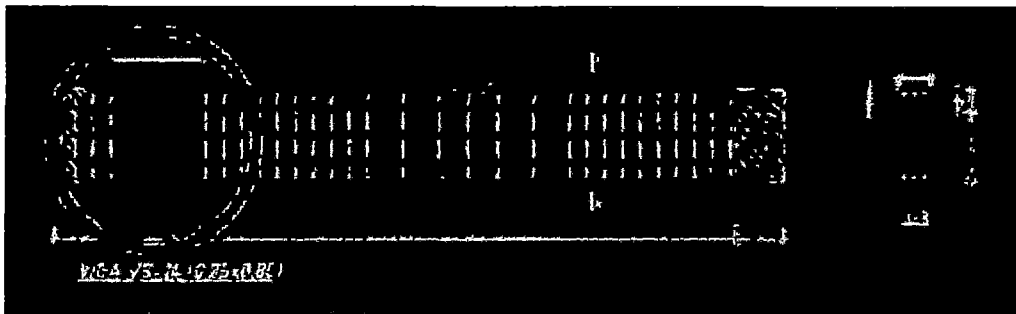
4.- En coordinación con Arquitectónica en este nuevo plano de cimentación se anuló la columna C-6 de la escalera 03, lo cual implica una nueva distribución en la viga VS-14, que es la viga a donde llegaba la columna C-6 cuando era considerada, por lo cual ahora que no llega la columna, la distribución de acero de la viga VS-14 cambiaría, por lo cual se pide actualizar dicha distribución de acero.



Plano anterior donde se consideraba la columna C-6



Plano actual sin columna C-6



Distribución actual de VIGA VS-14 considerando la columna C-6

ADJUNTOS:

Genera impacto en Plazo Costo

Marcar UNO Crítico Importante Rutina

FECHA REQUERIDA DE RESPUESTA: 02/01/13

FIRMA DEL SOLICITANTE:

RESPUESTA DEL CLIENTE / SUPERVISOR: Procede Rechazado

RESPONDIDA POR: _____

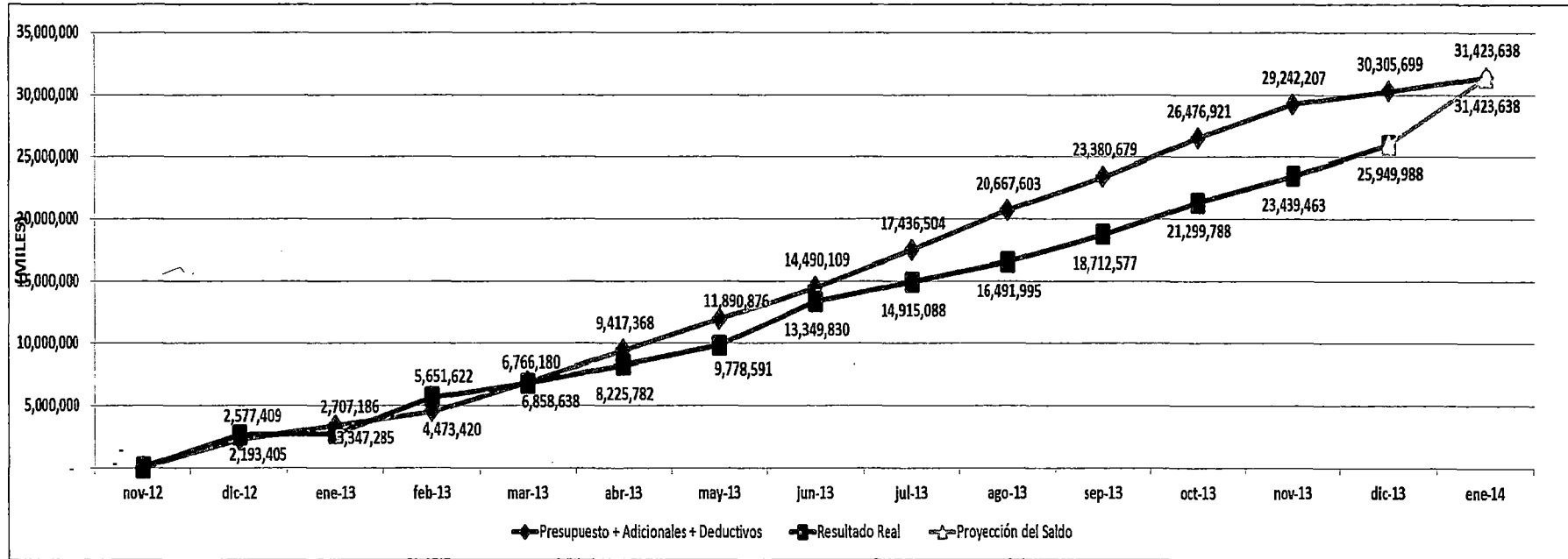
FECHA: _____

OBSERVACIONES:

DISTRIBUCION	Nombre	
Residente		
Jefe de OT		
Jefe de Campo		
Asistente de OT		
Asistente de Campo		
Topografía		
Control Documentario		
Otros		

ANEXO 03: Resumen del avance del presupuesto en el proyecto (Panel de control).

MONEDA : S/.		nov-12	dic-12	ene-13	feb-13	mar-13	abr-13	may-13	Jun-13	Jul-13	ago-13	sep-13	oct-13	nov-13	dic-13	ene-14
Presupuesto + Adicionales + Deductivos	Avance Mensual	-	2,193,405	1,153,880	1,126,136	2,365,218	2,558,730	2,473,508	2,599,233	2,945,995	3,231,099	2,713,076	3,096,242	2,765,287	1,063,492	1,117,939
	Avance Acumulado	-	2,193,405	3,347,285	4,473,420	6,858,638	9,417,368	11,890,876	14,490,109	17,436,504	20,667,603	23,380,679	26,476,921	29,242,207	30,305,699	31,423,638
Resultado Real	Avance Mensual	-	2,577,409	2,707,186	5,651,622	6,766,180	8,225,782	9,778,591	13,349,830	14,915,088	16,491,995	18,712,577	21,299,788	23,439,463	25,949,988	5,473,649
	Avance Acumulado	-	2,577,409	5,284,595	10,936,217	17,702,397	26,468,579	36,247,170	46,025,761	59,375,591	74,290,679	90,703,274	109,415,851	132,855,314	158,805,302	164,278,951
Proyección del Saldo	Avance Mensual	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,949,988	5,473,649
	Avance Acumulado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,949,988	31,423,638

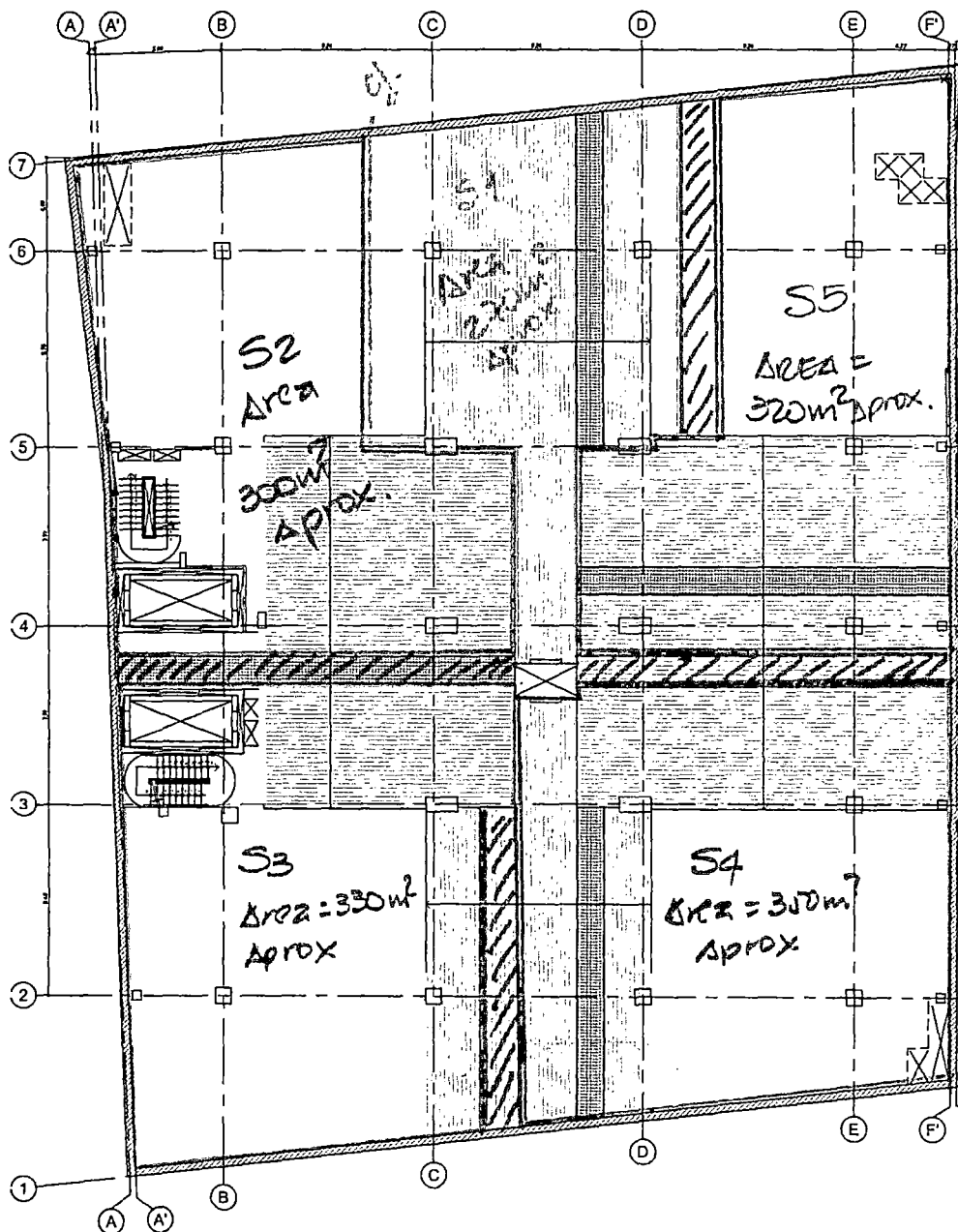


ANEXO 04: Evaluación del conocimiento del equipo multidisciplinario de trabajo sobre VDC, BIM, ICE y Mapeo de procesos.

CONDICIÓN		COMPañA	NOMBRES	ÁREA	VDC	MAPEO DE PROCESOS	REUNIONES ICE	BIM
Oblig.		GyM	Omar Alfaro Félix	Residente	OK	OK	OK	OK
Oblig.		GyM	Juan Llanos Escobedo	Jefe de Producción		OK	OK	OK
Oblig.		GyM	Rudy Alcoser Chaccha	Ingeniero de Producción		OK	OK	OK
Oblig.		GyM	Moisés Herrera Pacheco	Asistente de Producción		OK	OK	
Oblig.		GyM	Alexander Escriba Arango	Asistente de Producción		OK	OK	
Oblig.		GyM	Edgard Navarro Curay	Asistente de Producción		OK	OK	
Oblig.		GyM	Emma Zuñe Valdivieso	Jefe de OT		OK	OK	
Oblig.		GyM	Jack Esteban Barzola	Asistente de OT		OK	OK	
Oblig.		GyM	Yahaira Echevarría Martínez	Asistente de OT			OK	
Oblig.		GyM	Alejandro Miranda Venegas	Asistente de OT		OK	OK	
Oblig.		GyM	Walter Melendez Bernardo	Jefe de Ingeniería	OK	OK	OK	OK
Oblig.		GyM	Joan Carbajal Villanueva	Asistente de Ingeniería		OK	OK	OK
Oblig.		GyM	Valeria Gonzalez Salazar	Administradora			OK	
Oblig.		GyM	Jose Valdivia Rios	Jefe de Almacén		OK	OK	
Oblig.		GyM	Flor de Maria Rojas Robles	Relacionista Comunitaria			OK	
Oblig.		GyM	David Salas Davila	Jefe de PdRGA		OK	OK	
Oblig.		GyM	Yuliana Torres Luján	Jefe de Calidad		OK	OK	
Oblig.		GyM	Anyelo Chingay Pariona	Tesista	OK	OK	OK	OK
Oblig.		GyM	Diana Diaz Llaya	Tesista	OK	OK	OK	OK
Oblig.		GyM	Manuel Aspilcueta Asencios	Asistente de OT		OK	OK	
Oblig.		GyM	Cleiver Ayala Flores	Tesista		OK	OK	
Oblig.		GyM	Cesar Villanueva Troncosa	Asistente de Producción		OK	OK	

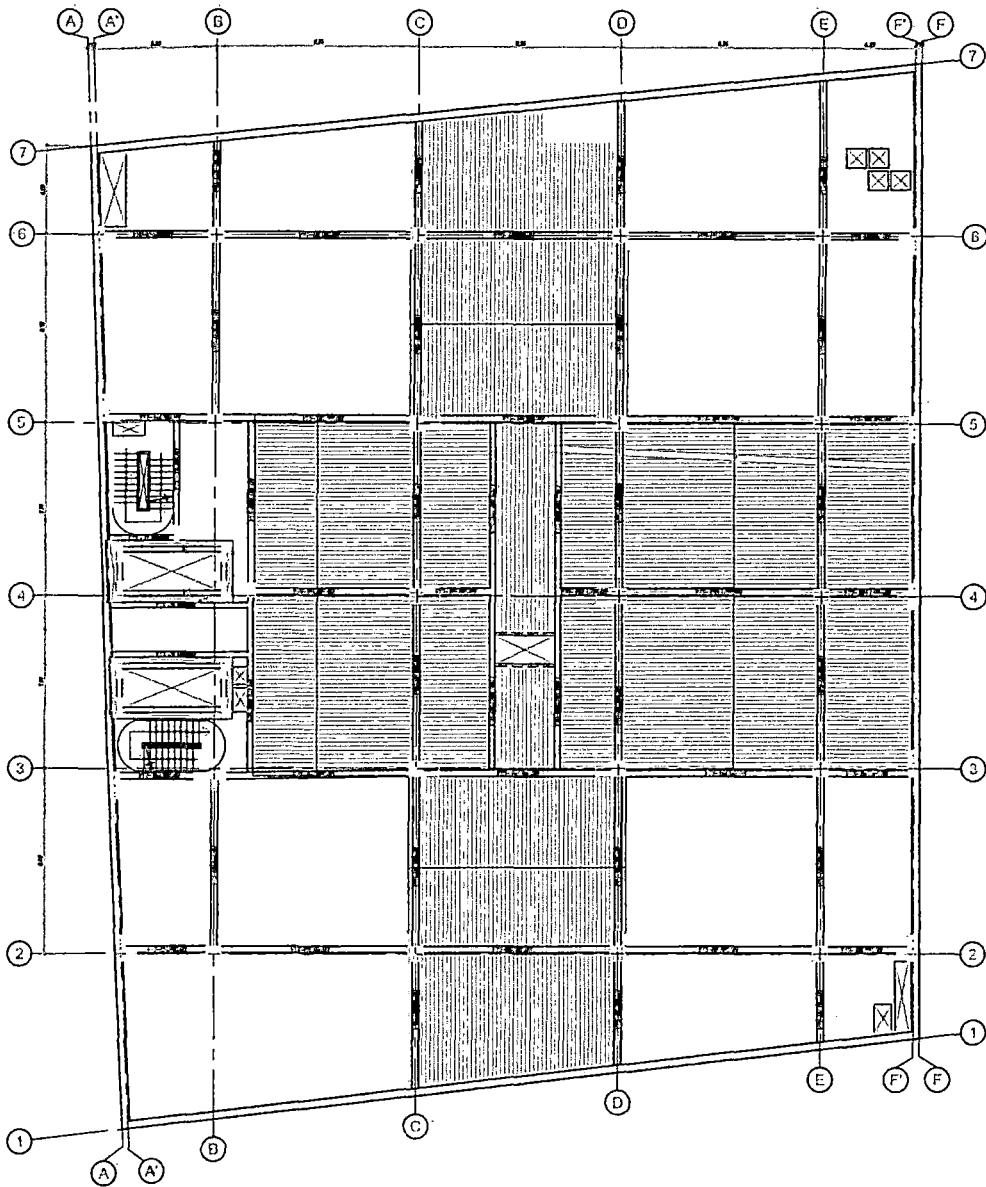
Participación	(+) Presente
	(#) Parcialmente Presente
	(-) Ausente por encontrarse en Campo o fuera de la Oficina

ANEXO 05: Sectorización para el vaciado del concreto.

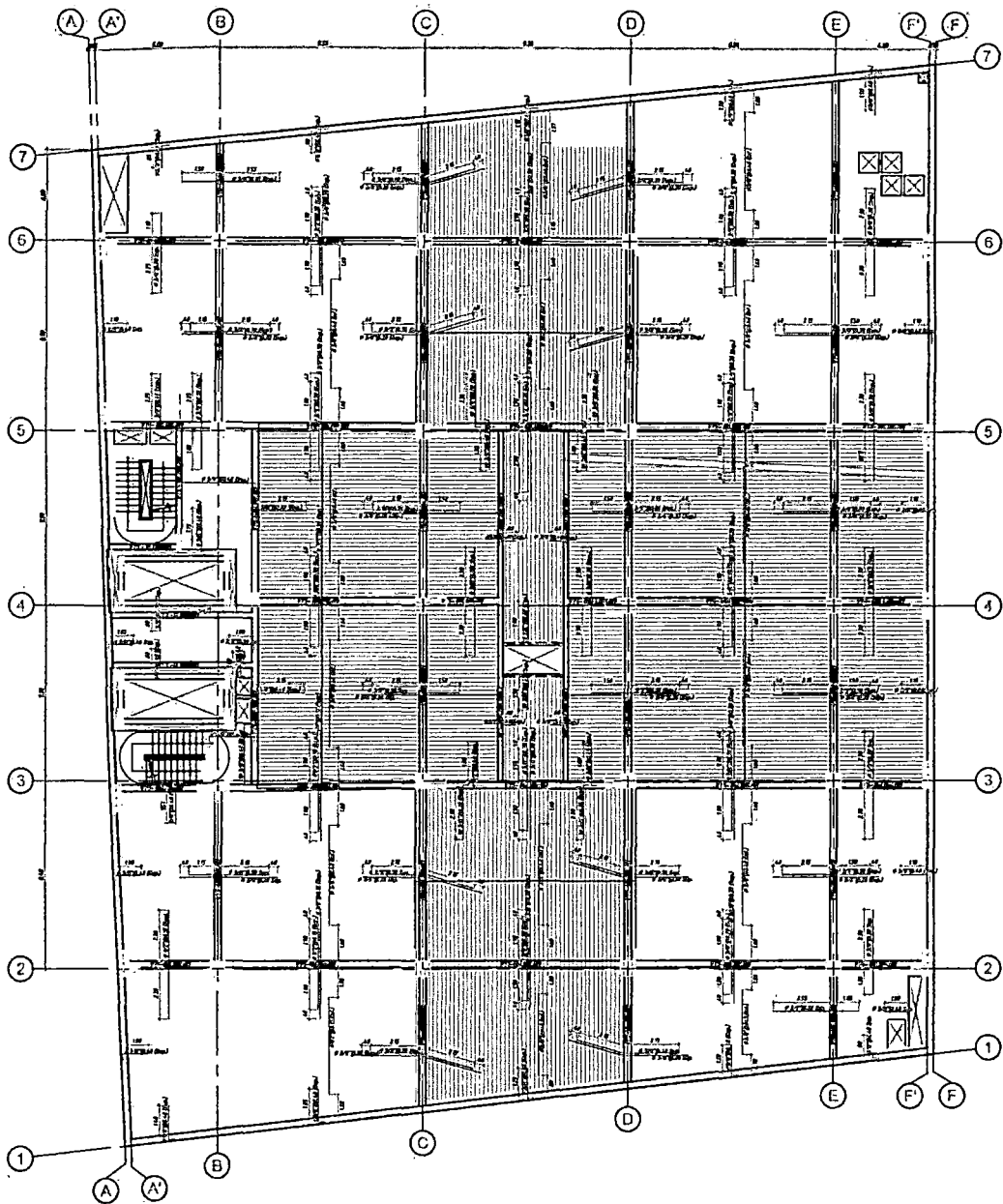


ANEXO 06: Planos referenciales en planta de la estructura del edificio.

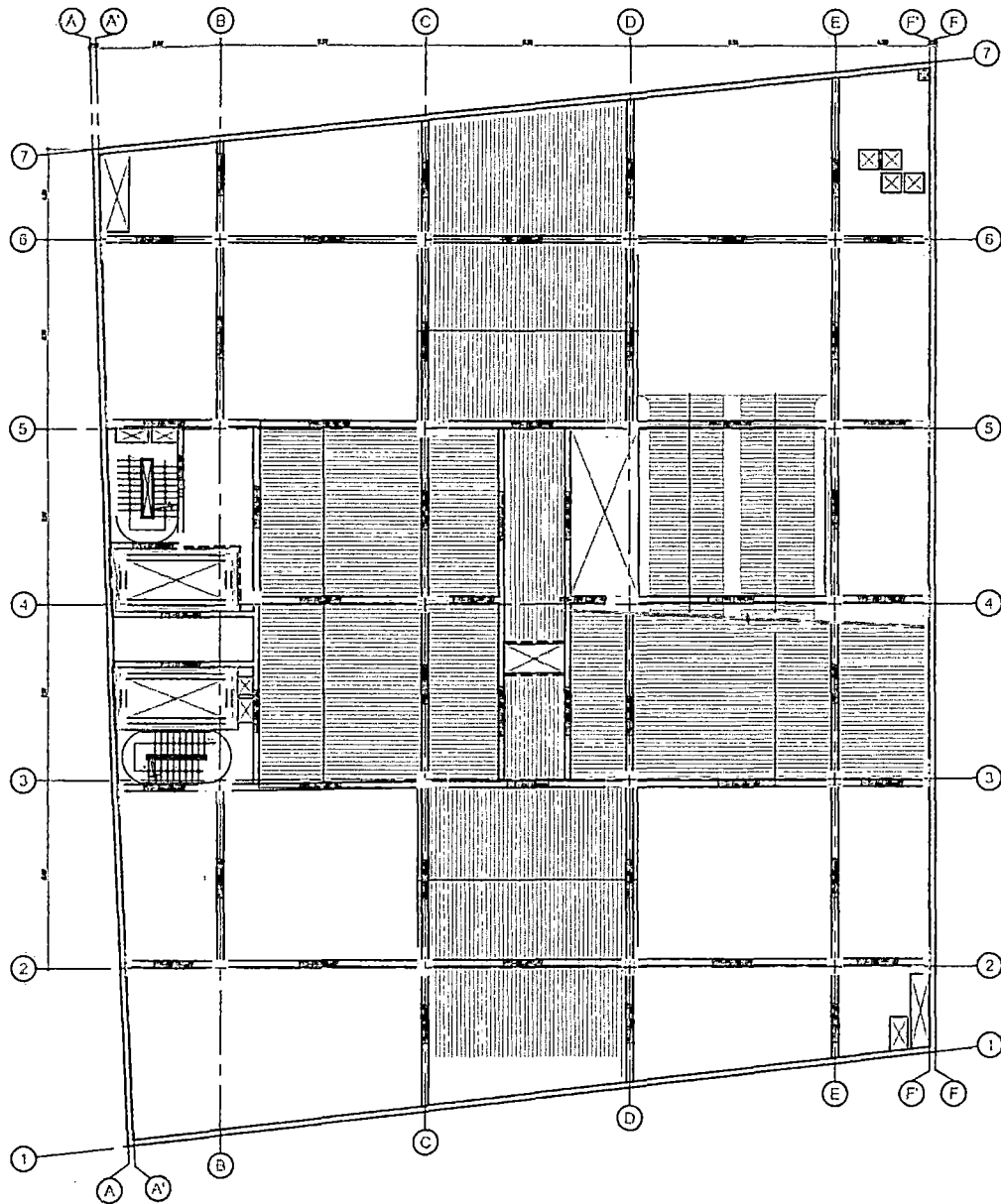
1) Plano del sótano 4:



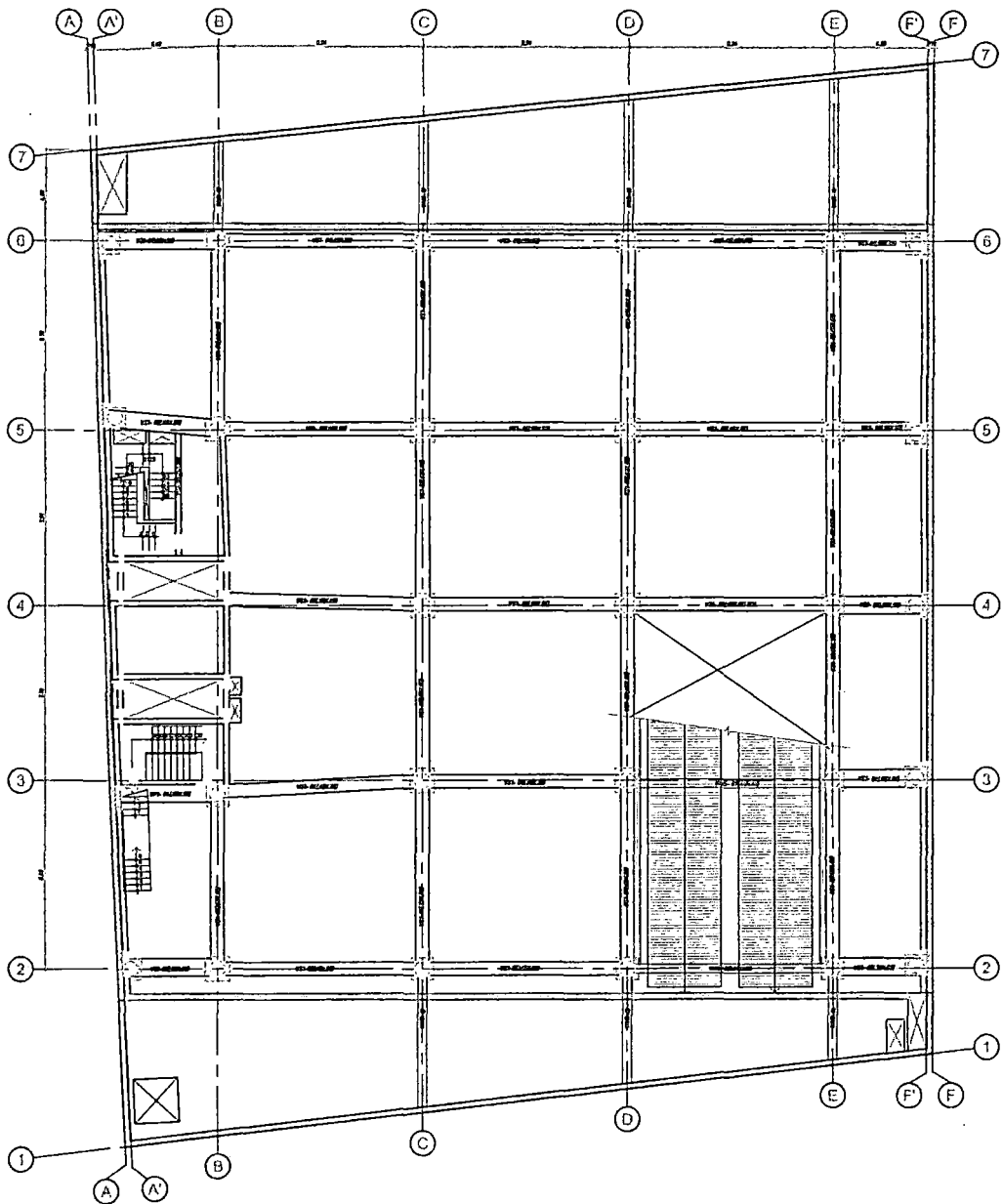
2) Plano del sótano 3:



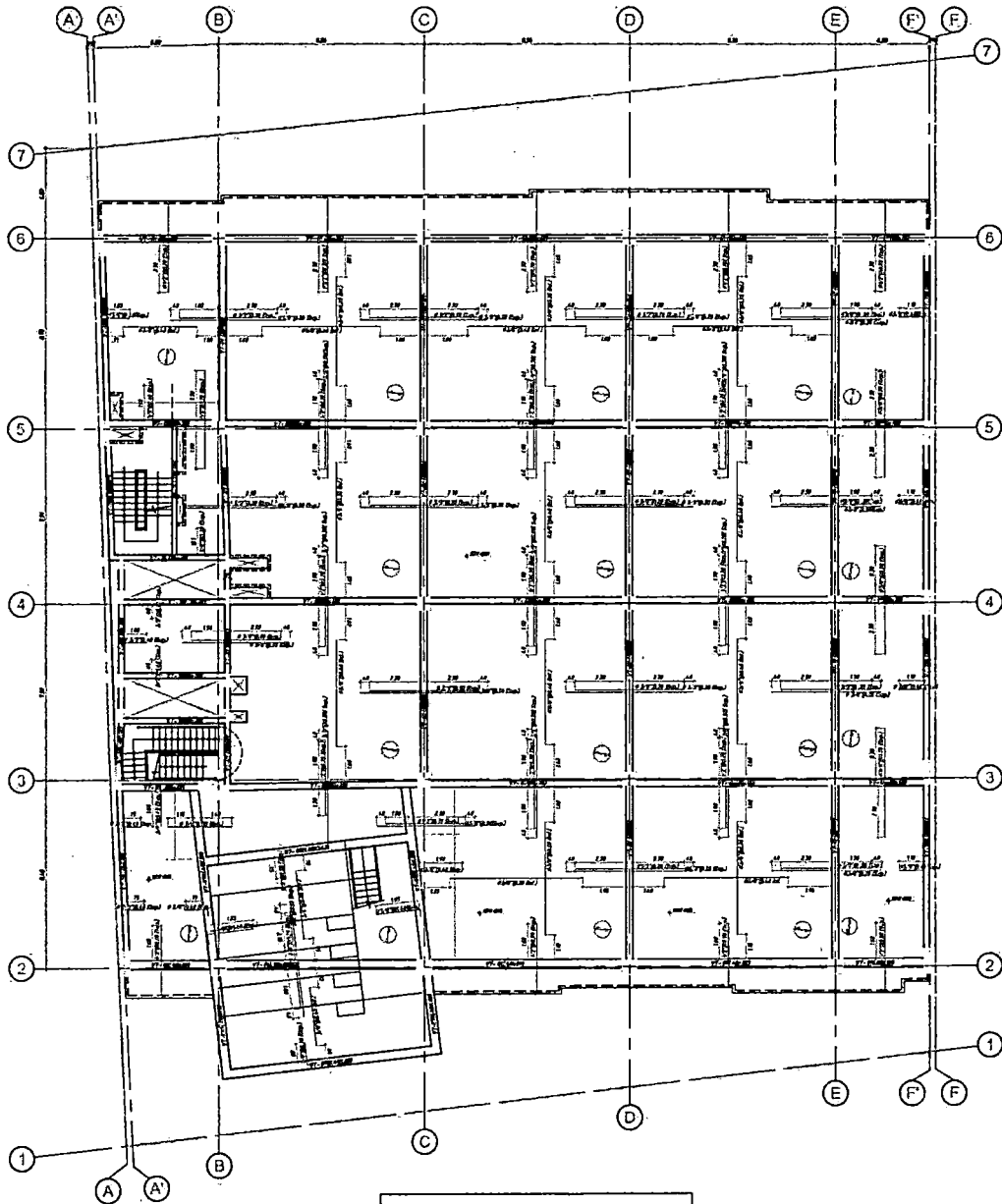
3) Plano del sótano 2:



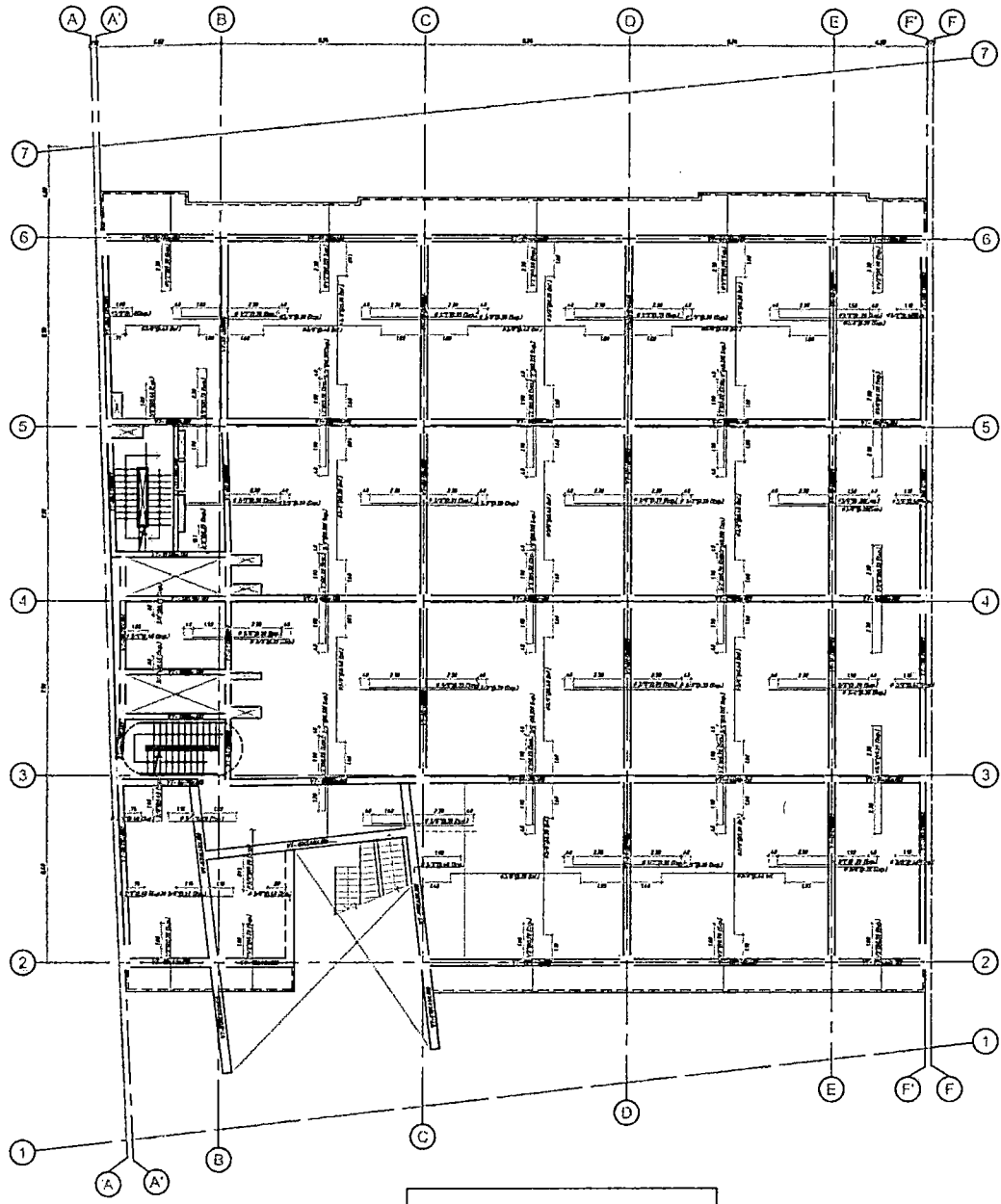
4) Plano del sótano 1:



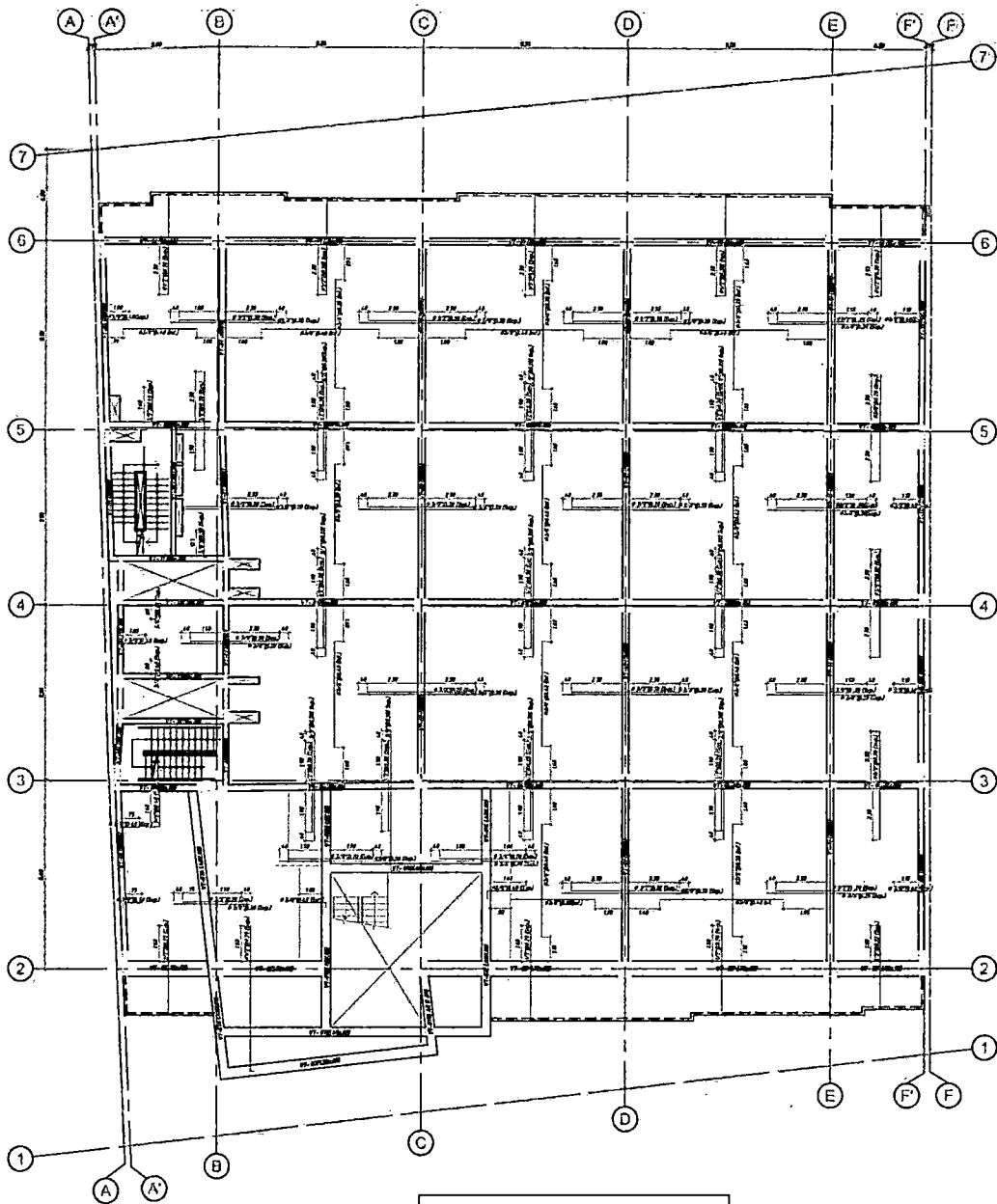
5) Plano del piso 1:



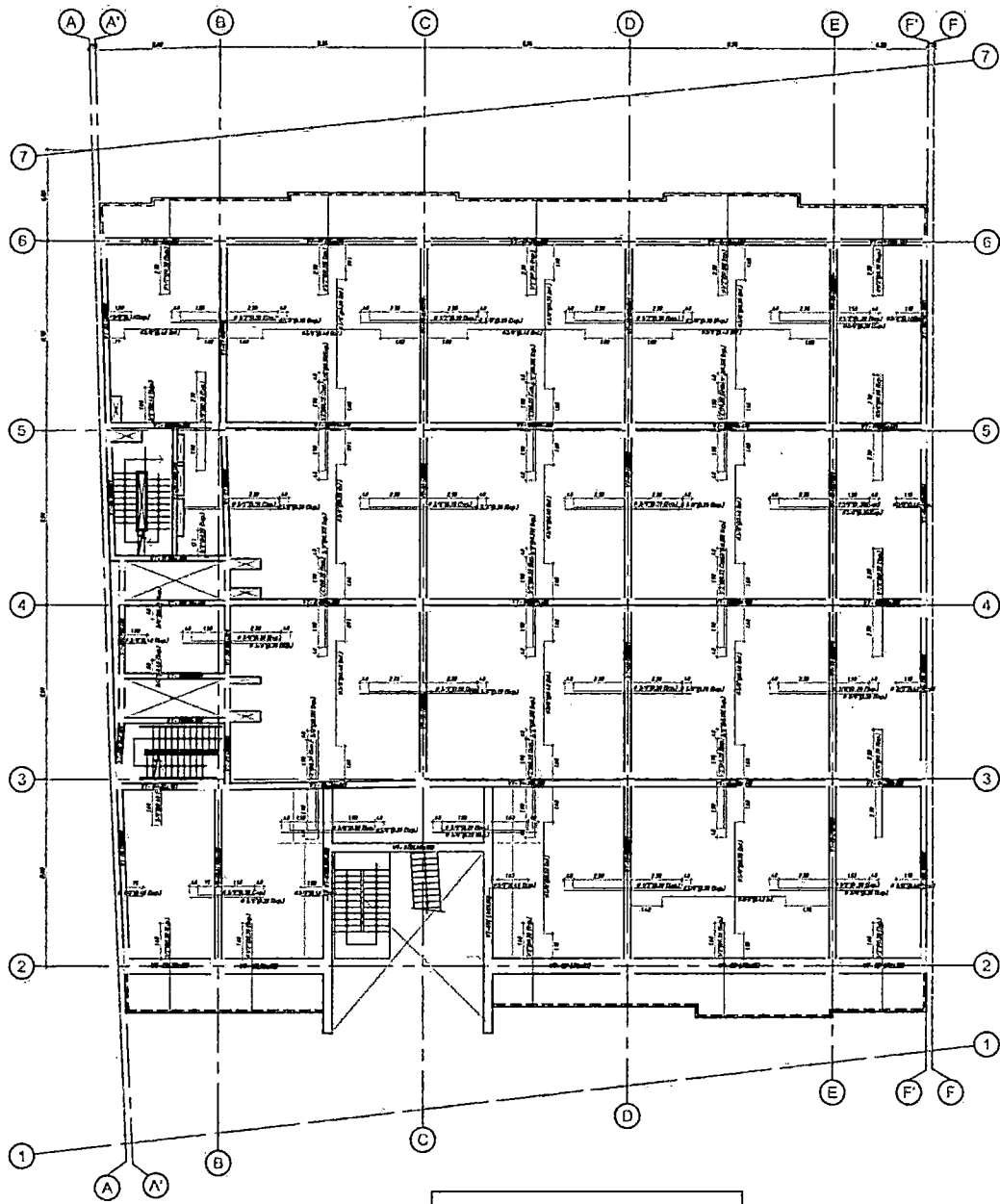
6) Plano del piso 2:



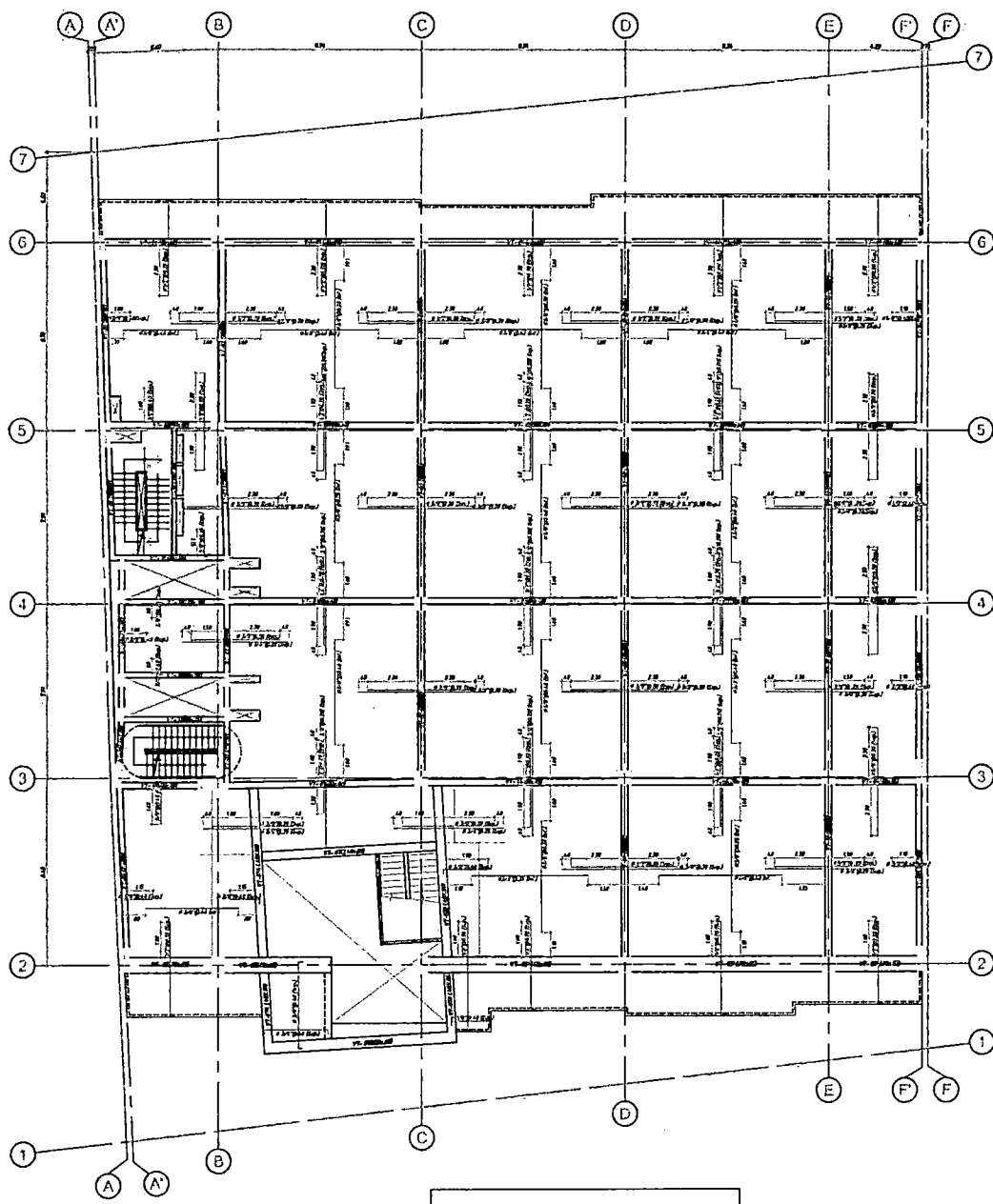
7) Plano del piso 3:



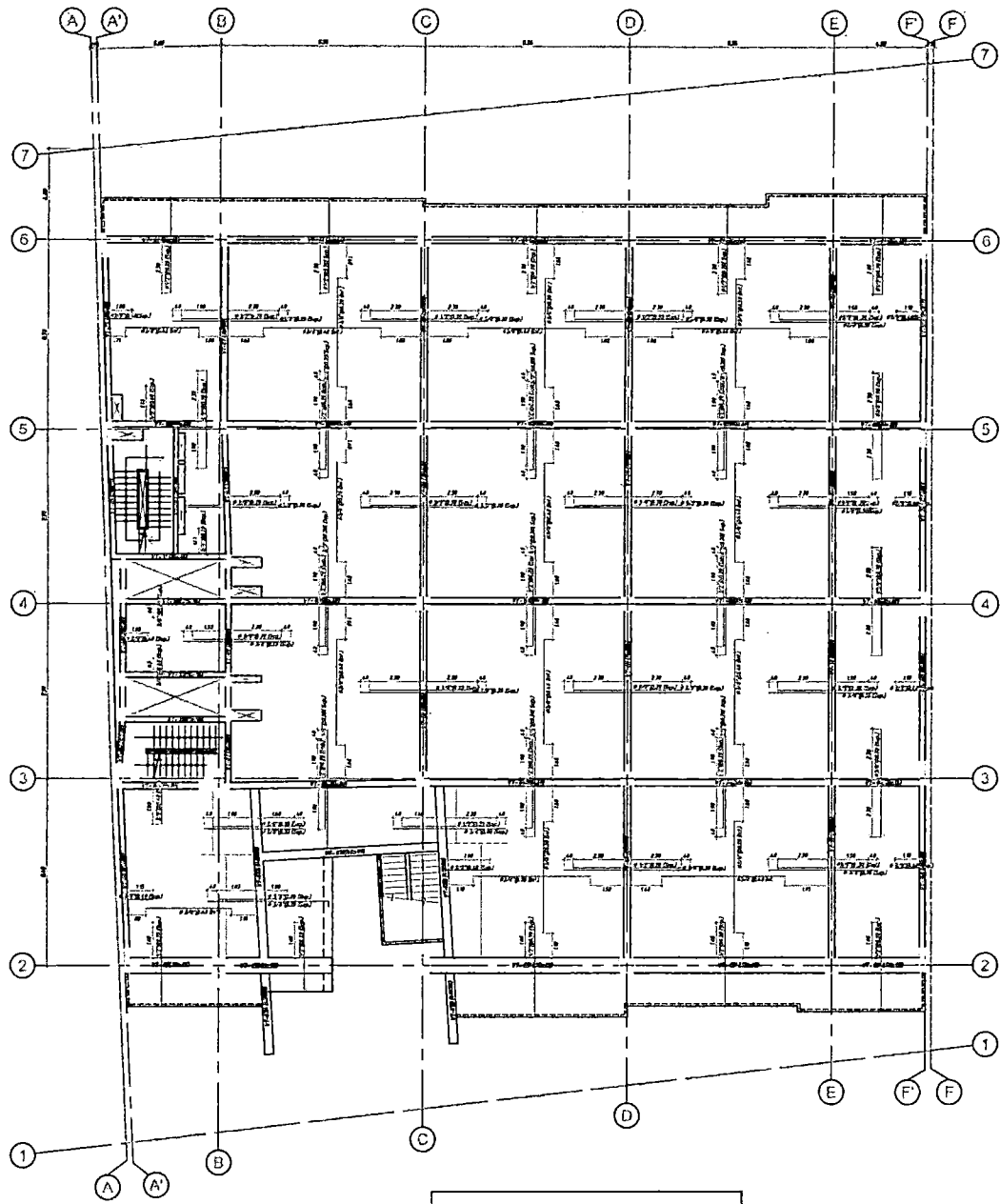
8) Plano del piso 4:



9) Plano del piso 5:



10) Plano del piso 6:



11) Plano del piso 7:

