



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SMART BUILDING EN  
HOSPITALES Y ANÁLISIS DEL CASO DEL NUEVO HOSPITAL DEL  
SALVADOR E INSTITUTO NACIONAL DE GERIATRÍA EN SANTIAGO DE  
CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**FELIPE ALEJANDRO CONTRERAS SOTO**

PROFESOR GUÍA:  
RICARDO ROJAS PIZARRO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
OSCAR SOTOMAYOR LILLO  
DAVID CAMPUSANO BROWN

SANTIAGO DE CHILE  
2020

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE INGENIERÍA CIVIL  
POR: **FELIPE ALEJANDRO CONTRERAS SOTO**  
FECHA: 04/2020  
PROF. GUÍA: RICARDO ROJAS PIZARRO

## **GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SMART BUILDING EN HOSPITALES Y ANÁLISIS DEL CASO DEL NUEVO HOSPITAL DEL SALVADOR E INSTITUTO NACIONAL DE GERIATRÍA EN SANTIAGO DE CHILE**

El principal enfoque de este trabajo de título es poder dar a conocer el estado actual de la tecnologías para la operación y administración de hospitales, esto debido a que los edificios en la actualidad tienen una necesidad inminente de estar al mismo nivel tecnológico que otras áreas como por ejemplo las industrias 4.0, la cual utiliza la inteligencia artificial y sistemas de monitoreo y automatización con sensores para obtener el control completo de procesos con el fin de generar un mayor rendimiento y menores costos de trabajo.

El estudio se divide principalmente en tres partes, la primera consiste en la confección de una guía que indica la importancia del plan BIM para incorporar edificios inteligentes en nuestro país y cuales son los recursos mínimos que deben existir para poder crear un hospital que pueda ser operado con las nuevas tecnologías. Existen tres grandes conceptos que deben ser considerados para crear un hospital inteligente, los cuales se mencionan a continuación: la incorporación al proyecto de metodologías BIM, la utilización de un sistema de automatización para operar los espacios e instalaciones y la administración a través de un software inteligente que entregue las propiedades y ventajas de los facility management.

La segunda parte consiste en aplicar la guía paso a paso al caso real del nuevo Hospital del Salvador e Instituto Nacional de Geriatría que se encuentra en etapa de construcción y, de esta manera, plantear las bases de lo que puede ser el hospital más moderno del país. En el estudio se analizaron los niveles de detalles de los actuales modelos BIM del proyecto y los criterios de diseños de hospitales 2020 y en base a esto se proponen sensores y software de vanguardia que permiten operar de forma inteligente.

La tercera parte de este informe explica los resultados esperados y conclusiones que se pueden obtener al transformar un hospital convencional en un hospital inteligente, los resultados son obtenidos de los casos teóricos estudiados y de casos donde ya se ha puesto en marcha esta clase de tecnología para la administración. Finalmente a lo largo de todo el informe se menciona la importancia de adaptar nuestro país a una nueva era tecnológica en términos de administración y operación de edificios, además lo vital que puede ser para la economía del país la incorporación de BIM en Ley General de Urbanismo y Construcciones.

*Con mucho cariño para mi familia y las futuras generaciones.*

# Agradecimientos

Quiero agradecer en primer lugar a mis padres Vasco Contreras Morales y Gemita Soto Oñate por otorgarme todas las herramientas y el apoyo necesario para terminar mis estudios.

Agradecer a todos mis familiares que estuvieron siempre presentes en este largo proceso, especialmente a mi abuelita Hilda que fue un apoyo fundamental en mis primeros años de estudio y a mi tío Juan Carlos Contreras que ayudó mucho a mí y a mi familia durante toda mi carrera.

Agradecer a mi polola Valeria Quiroz y amigos de la infancia y colegio que siempre estuvieron presentes diciendome como dar el siguiente paso y nunca perder el camino.

Agradecer al profesor Ricardo Rojas por su disposición a trabajar conmigo y orientarme en como hacer mi tesis, agradecer a Oscar Sotomayor por recibirme y tener las ganas de ayudarme en la elección de un tema de tesis y proporcionarme información para poder avanzar en el proyecto.

Finalmente agradecer a todos mis amigos que forme durante este proceso en la ciudad de Santiago, ellos fueron un pilar muy grande para formarme como profesional y gracias a ellos cada día de este largo proceso estuvo siempre lleno de alegrías y sin ellos nada hubiera sido lo mismo.

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción general . . . . .	1
1.2. Definición del problema . . . . .	2
1.3. Objetivos generales . . . . .	2
1.4. Objetivos específicos . . . . .	3
1.5. Alcances . . . . .	3
1.6. Metodología de trabajo . . . . .	5
<b>2. Marco teórico</b>	<b>6</b>
2.1. Conceptos y definiciones . . . . .	6
2.2. Estado actual en Chile y Plan BIM . . . . .	8
2.3. Principales problemas de la gestión y operación de estructuras . . . . .	10
2.3.1. Análisis económico de la salud pública en Chile . . . . .	11
2.4. Estudios anteriores . . . . .	12
2.4.1. Rodrigo Saldías Silva (2010) . . . . .	12
2.4.2. Jaime Soto Muñoz (2017) . . . . .	13
2.4.3. Alex Albarello (2019) . . . . .	13
<b>3. Desarrollo del problema</b>	<b>14</b>
3.1. Factores para implementar edificios inteligentes en proyectos hospitalarios en Chile . . . . .	14
3.1.1. ¿Qué es un edificio inteligente o smart building? . . . . .	15
3.1.2. Modelo BIM del proyecto completo . . . . .	16
3.1.3. Requisitos de un modelo de operación as-built . . . . .	18
3.1.3.1. Continuidad de la información para operación . . . . .	21
3.1.3.2. Nivel de detalle e información de un modelo BIM . . . . .	22
3.1.3.2.1. Nivel de definición (level of definition) - UK . . . . .	23
3.1.3.2.2. Nivel de desarrollo (level of development) - US . . . . .	23
3.1.3.2.3. Niveles de información (NDI) - Estándar BIM Chile . . . . .	24
3.1.4. Sistemas de automatización de edificios BAS . . . . .	25
3.1.4.1. Protocolo de comunicación KNX . . . . .	27
3.1.5. Softwares especializados en operación de edificios . . . . .	28
3.1.6. Interacción de datos BMS y datos de modelos BIM . . . . .	33
3.2. Caso en estudio: Hospital del Salvador e Instituto Nacional de Geriatría . . . . .	37
3.2.1. Descripción del proyecto . . . . .	37
3.2.2. Modelos BIM del nuevo Hospital del Salvador . . . . .	39
3.2.3. Propuesta de BAS para el nuevo Hospital del Salvador . . . . .	42

3.2.4. Propuesta de software de operación para el nuevo Hospital del Salvador	45
3.3. Resultados esperados . . . . .	48
<b>4. Conclusiones</b>	<b>53</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>56</b>
<b>Anexo A. Propuesta de sensores en instalaciones de agua potable</b>	<b>58</b>
A.1. Red de agua potable fría y caliente . . . . .	59
A.A.1. Empalme agua potable a la matriz de red pública . . . . .	60
A.A.1.1. Sensores . . . . .	60
A.A.2. Redes de alimentación o matrices . . . . .	62
A.A.2.1. Sensores . . . . .	62
A.A.3. Estanque de acumulación . . . . .	63
A.A.3.1. Sensores . . . . .	63
A.A.4. Sistema de bombeo hidráulico . . . . .	64
A.A.4.1. Sensores . . . . .	65
A.A.5. Central térmica para producción de agua caliente . . . . .	66
A.A.5.1. Sensores . . . . .	66
A.A.6. Redes de alimentación de consumo . . . . .	67
A.2. Red de rociadores . . . . .	68
A.B.1. Estanque de agua para riego . . . . .	69
A.B.1.1. Sensores . . . . .	69
A.B.2. Control del clima . . . . .	69
A.B.2.1. Sensores . . . . .	69
A.3. Red de tratamiento de aguas . . . . .	71
A.C.1. Agua para sala de diálisis . . . . .	72
A.C.2. Agua para usos clínicos . . . . .	72
A.C.3. agua para procesos . . . . .	72
A.C.3.1. Sensores . . . . .	72
A.C.4. Sistema de bombeo, redes de alimentación, zonificación . . . . .	75
A.4. Red de alcantarillado y aguas lluvias . . . . .	76
A.D.1. Colector principal . . . . .	77
A.D.2. Cámara de inspección y muestreo . . . . .	77
A.D.2.1. Sensores . . . . .	78
A.D.3. Desagües especiales . . . . .	79
A.D.3.1. Sensores . . . . .	79
A.D.4. Sistema de bombeo bajo cota 0 . . . . .	79
A.D.4.1. Sensores . . . . .	79
A.D.5. Sistemas de ventilación . . . . .	79
A.D.5.1. Sensores . . . . .	80
A.D.6. Dren zanja para aguas lluvias . . . . .	80
A.D.6.1. Sensores . . . . .	81
A.5. Red contra incendios . . . . .	82
A.E.1. Detectores de humo y temperatura fotoeléctricos . . . . .	83
A.E.1.1. Sensores . . . . .	83
A.E.2. Extintores manuales y carro extintor . . . . .	84

A.E.2.1. Sensores . . . . .	85
A.E.3. Rociadores de agua y tanque de espumas . . . . .	86
A.E.3.1. Sensores . . . . .	86
A.E.4. Bomba de llenado de estanque y red de incendio . . . . .	87
A.E.4.1. Sensores . . . . .	87
A.E.5. Sensores en puertas de vías de evacuación y grifos . . . . .	87
A.E.6. Sensores . . . . .	88
<b>Anexo B. Análisis de los niveles de detalle en los modelos Navisworks</b>	<b>89</b>
<b>Anexo C. Integración Revit - Archibus</b>	<b>93</b>
<b>Anexo D. Leadership in Energy and Enviromental Desing</b>	<b>95</b>

# Índice de Ilustraciones

1.1.	Modelo en Navisworks 3D del nuevo Hospital del Salvador e Instituto Nacional de Geriatria. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	4
1.2.	Cuadrado rojo indica ubicacion general del nuevo Hospital del Salvador. Fuente: Google Maps . . . . .	4
1.3.	Zoom de la ubicacion de la construccion del nuevo Hospital del Salvador. Fuente: Google Maps . . . . .	5
2.1.	Las 7 dimensiones de BIM. Fuente: Structuralia, Juan Antonio Cuartero, 2018	7
2.2.	Niveles de adopcion BIM por diciplina. Fuente: Encuesta BIM, 2019 . . . . .	8
2.3.	Porcentaje de adopcion de BIM por usuario. Fuente: Encuesta BIM, 2019 . .	9
2.4.	Costos de inversion de un proyecto. Fuente: level 3 and Beyond presentation, Mark Bew, 2015 . . . . .	10
2.5.	Porcentaje de usuarios que utilizan BIM para diferentes usos. Fuente: Encuesta BIM, 2019 . . . . .	11
2.6.	Gasto de servicio de salud por region. Fuente: Benjamín Ahumada, 2016 . . .	11
2.7.	Evolucion de la deuda entre los periodo 2008-2015. Fuente: Benjamín Ahumada, , 2016 . . . . .	12
3.1.	Factores para la implementacion de edificios inteligentes. Fuente: Propia . . .	15
3.2.	Porcentaje de usuarios que utilizan herramientas BIM. Fuente: Encuesta Nacional BIM 2019 . . . . .	16
3.3.	Logo Revit Autodesk 2020. Fuente: www.autodesk.com . . . . .	17
3.4.	Logo Navisworks 3D Autodesk 2020. Fuente: www.autodesk.com . . . . .	17
3.5.	Ciclo de vida de una estructura. Fuente: BIM Forum Chile CChC . . . . .	21
3.6.	BIM integrado. Fuente: BIM Forum Chile CChC . . . . .	22
3.7.	Partes de un sistema BAS. Fuente: www.secureweek.com . . . . .	26
3.8.	Aplicaciones de un sistema BAS. Fuente: www.knx.org . . . . .	27
3.9.	Potencial ahorro de energia por sistemas de automatizacion modernos. Fuente: Instituto para Sistemas de Automatizacion de Edificios de la Universidad de Biberach . . . . .	28
3.10.	Aplicaciones de Facility Management. Fuente: www.cl.issworld.com . . . . .	29
3.11.	Logo ARCHIBUS. Fuente: www.archibus.com . . . . .	30
3.12.	Logo software BIM 360 OPS. Fuente: www.bim360ops.autodesk.com . . . . .	31
3.13.	Logo empresa Bentley. Fuente: www.bentley.com . . . . .	31
3.14.	Logo software IBM maximo. Fuente: www.ibm.com . . . . .	32
3.15.	Logo software YouBIM. Fuente: www.youbim.com . . . . .	32
3.16.	Integracion de software con YouBIM. Fuente: www.youbim.com . . . . .	33
3.17.	Enlace de herramienta de analisis energetico Fuente: Akponanabofa 2016 . . .	34
3.18.	Enlace de conexion de visor de energia Fuente: Akponanabofa 2016 . . . . .	34



3.19.	Marco de trabajo BIM para mejorar los procesos de entrega de proyectos. Fuente: Henry Akponanabofa 2016 . . . . .	36
3.20.	Vista planta de los edificios del complejo hospitalario. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	38
3.21.	Fachada exterior del modelo de arquitectura del proyecto. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	40
3.22.	Imagen de la estructura completa en hormigon armado y acero del proyecto. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	40
3.23.	Imagen de instalaciones integradas del proyecto. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	41
3.24.	Lugares donde ubicar sensores de cada instalación en estudio. Fuente: Propia. . . . .	43
3.25.	Arquitectura de un sistema BAS para la red de agua. Fuente: Carlos I. Camargo B (2013). . . . .	44
3.26.	Tipos de mantenimiento de activos. Fuente: Propia . . . . .	52
A.1.	Red completa de instalaciones húmedas. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	58
A.2.	Red de agua potable fría. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	59
A.3.	Red de agua potable caliente. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	59
A.4.	Plano 2D del empalme a la red pública. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	60
A.5.	Caudalímetro digital Arcus - EDS . Fuente: <a href="http://www.arcus-eds.de">www.arcus-eds.de</a> . . . . .	61
A.6.	Manómetro inteligente KOBOLD. Fuente: <a href="http://www.kobold.com">www.kobold.com</a> . . . . .	61
A.7.	Electroválvula CALEFFI. Fuente: <a href="http://www.vendomotica.com">www.vendomotica.com</a> . . . . .	62
A.8.	Equipo de cloración automático. Fuente: <a href="http://www.yalitech.cl">www.yalitech.cl</a> . . . . .	62
A.9.	Waspnote Smart Water. Fuente: <a href="http://www.libelium.com">www.libelium.com</a> . . . . .	63
A.10.	Sensor de nivel de estanque de agua. Fuente: <a href="http://www.vendomotica.com">www.vendomotica.com</a> . . . . .	63
A.11.	Modelo de la sala de bombas. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	64
A.12.	Zoom del modelo de la sala de bombas. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	65
A.13.	Programador lógico programable NEXO. Fuente: <a href="http://www.zonaindustrial.cl">www.zonaindustrial.cl</a> . . . . .	65
A.14.	Termómetro digital Topsail. Fuente: <a href="http://www.spanish.alibaba.com">www.spanish.alibaba.com</a> . . . . .	66
A.15.	Red de rociadores del proyecto hospitalario completo. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	68
A.16.	Sensor para lluvia y viento. Fuente: <a href="http://www.vendomotica.com">www.vendomotica.com</a> . . . . .	69
A.17.	Sensor de radiación solar y viento. Fuente: <a href="http://www.vendomotica.com">www.vendomotica.com</a> . . . . .	70
A.18.	Red de tramamiento de aguas. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	71
A.19.	Zoom de la red de tratamiento de aguas. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	72
A.20.	Descalcificador CILIT super data. Fuente: <a href="http://www.cilit.com">http://www.cilit.com</a> . . . . .	73
A.21.	Declorador CILIT. Fuente: <a href="http://www.cilit.com">http://www.cilit.com</a> . . . . .	73
A.22.	Equipo para desmineralizar el agua. Fuente: <a href="http://www.cilit.com">http://www.cilit.com</a> . . . . .	74
A.23.	Equipo de desinfección CILIT. Fuente: <a href="http://www.cilit.com">http://www.cilit.com</a> . . . . .	74
A.24.	Equipo para osmosis. Fuente: Catálogo BWT 2011. . . . .	74
A.25.	Red completa de instalaciones de alcantarillado. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	76
A.26.	Red completa de instalaciones de aguas lluvias. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	77
A.27.	Los cilindros blancos corresponden a las cámaras de inspección de la red. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	77
A.28.	Sensor de densidad de líquidos L-DENS 4X7. Fuente: <a href="http://www.anamingroup.cl">http://www.anamingroup.cl</a> . . . . .	78

A.29.	Sensor para el control de gases inflamables. Fuente: <a href="http://www.pce-iberica.es">www.pce-iberica.es</a> . . . . .	78
A.30.	Sensor para el control de gases tóxicos. Fuente: <a href="http://www.pce-iberica.es">www.pce-iberica.es</a> . . . . .	79
A.31.	Sistema de ventilación de la red de alcantarillado. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	80
A.32.	Dren zana red de aguas lluvias. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	81
A.33.	Red completa de instalaciones contra incendio. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	82
A.34.	Detectores de humo modelados en la red contra incendios. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	83
A.35.	Detector de humo y temperatura SALVA KNX BASIC. Fuente: <a href="http://www.vendomotica.com">www.vendomotica.com</a> . . . . .	84
A.36.	Extintores manuales modelados en la red de incendio. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	84
A.37.	Carro extintor modelado en Navisworks 3D. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	85
A.38.	Manómetro de conexión inalámbrica. Fuente: <a href="http://www.emerson.com">www.emerson.com</a> . . . . .	85
A.39.	Estanques de espuma modelados en Navisworks 3D. Fuente: <a href="http://www.emerson.com">www.emerson.com</a> . . . . .	86
A.40.	Presostato para detección de flujo. Fuente: <a href="http://www.planafabrega.com">www.planafabrega.com</a> . . . . .	87
A.41.	Grifos modelados en la red contra incendios. Fuente: Ministerio de Obras Públicas . . . . .	88
B.1.	Tipos de información (TDI). Fuente: Estandar BIM 2019 . . . . .	90
B.2.	Niveles de información (NDI), según estado de avance. Fuente: Estandar BIM 2019 . . . . .	91
B.3.	Niveles de información (NDI), según estado de avance. Fuente: Estandar BIM 2019 . . . . .	92
C.1.	Forma de trabajo de Revit y Archibus. Fuente: Walid Thabeta 2019 . . . . .	93
C.2.	Forma de trabajo de Revit y Archibus. Fuente: Walid Thabeta 2019 . . . . .	94
D.1.	Puntos de evaluación LEED. Fuente: <a href="http://www.eechile.cl">www.eechile.cl</a> . . . . .	95
D.2.	Categorías LEED. Fuente: <a href="http://www.eechile.cl">www.eechile.cl</a> . . . . .	96



# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Introducción general

En los países desarrollados y últimamente también en Chile, entender la importancia de una buena gestión de la operación y mantenimiento de cualquier tipo de edificación pública es fundamental para poder entregar una buena calidad del servicio a sus usuarios, quienes entienden que la responsabilidad en la etapa de explotación del los proyectos recae principalmente en los mandantes y operadores a cargo, debido a esto los administradores tienen la obligación de cumplir con los estándares mínimos de calidad de operación que se necesitan para lograr optimizar cada fase de los servicio de salud.

Asimismo, en Chile, las estructuras están diseñadas para un periodo promedio de 50 años de vida útil<sup>1</sup>, plazo que no considera el tiempo empleado en el diseño y construcción, y por otra parte, no estima la probabilidad de reciclar la infraestructura para continuar en servicio o la posibilidad de su demolición. En consecuencia, la mayor parte de los costos del ciclo de vida de un edificio se concentran en la etapa de operación llegando a ser cerca del 70 % de los costos totales del proyecto [Jaime Soto 2017]. Identificar esta realidad es fundamental para asegurar niveles óptimos de servicio durante la operación y mantenimiento de cualquier infraestructura, por lo tanto este proceso debe ser diseñado desde las etapas iniciales del proyecto, tal que se puedan utilizar materiales y técnicas que permitan asegurar buenos niveles de servicio y reducir los costos de mantenimiento y operación en hospitales públicos, dado que los costos de operación y mantenimiento para estas estructuras son muy alto.

Es importante entender que actualmente la tecnología evoluciona a grandes pasos cada día en todo el planeta, mientras que en la construcción y administración de edificios se siguen utilizando los mismos métodos durante décadas. Incorporar estos nuevos tipos de tecnología de la información que hacen a un edificio inteligente, es fundamental para poder lograr que cada etapa del ciclo de vida de una estructura sea más eficiente, por esta razón utilizar metodologías BIM<sup>2</sup> que se define como el proceso de generación y gestión de datos de un proyecto a lo largo de su ciclo de vida, es de vital importancia para poder realizar una operación y mantenimiento de la estructura de manera óptima. La forma de trabajo de BIM es a través de una plataforma digital que incorpora modelos computacionales 3D y softwares

<sup>1</sup> Tabla de vida útil según de SII, [http://www.sii.cl/pagina/valores/bienes/tabla\\_vida\\_enero.htm](http://www.sii.cl/pagina/valores/bienes/tabla_vida_enero.htm)

<sup>2</sup> BIM: Building Information Modeling

que utilizan dicha información, además debe existir una nube de información que respalde los proyectos y debe permitir el fácil acceso de forma remota o centralizada.

A partir de lo anterior, el estudio se basa en las nuevas formas de operación y mantenimiento de instalaciones e infraestructura mediante el uso de software especializados en la administración de edificios, los cuales permiten ahorrar costos durante la vida de la estructura. Estos software de operación y mantenimiento en la actualidad aprovechan la información proporcionada por sensores ubicados en lugares específicos, los cuales generan información en tiempo real y además se alimentan de la información proporcionada por los modelos 3D as-build de los proyectos, esta información al ser combinada con los software y metodologías adecuadas permite tomar acciones en caso de emergencia con el menor tiempo de respuesta posible gracias a los análisis que pueden hacer las IA<sup>3</sup> o simplemente llevar un registro de actividades, gastos y modificaciones realizadas al funcionamiento de las instalaciones tal que facilite las tareas al operador.

El informe, está conformado en primer lugar por la definición del problema, los objetivos generales y específicos, alcances, metodologías, marco teórico para continuar con el desarrollo de estudio. Finalmente, se analiza el caso del actual modelo en Naviworks 3D del Hospital del Salvador e Instituto Nacional de Geriatría y se plantean los resultados esperados y conclusiones del tema.

## 1.2. Definición del problema

En la actualidad el área de la construcción y administración de edificios en Chile prácticamente no utiliza metodologías BIM y BMS<sup>4</sup>, esto genera grandes pérdidas económicas y de calidad del proceso durante las etapas de operación y mantenimiento de las instalaciones, especialmente en hospitales donde es de vital importancia que estos funcionen al 100% de su capacidad. El estudio resuelve que factores son necesarios para la implementación de edificios inteligentes en hospitales en Chile y lo aplica al nuevo Hospital del Salvador e Instituto Nacional de Geriatría.

## 1.3. Objetivos generales

Generar una guía que indique cuales son los criterios mínimos que debe tener un hospital en Chile, con la fin de que este sea considerado inteligente. La guía define las bases para que el modelo BIM del proyecto hospitalario del Salvador pueda interactuar con un software de operación y sensores de campo, de este modo se puede mejorar la gestión de datos en tiempo real y la toma de decisiones durante la etapa de operación del hospital, tal que permita minimizar los costos de este proceso.

<sup>3</sup> IA: Inteligencias Artificiales

<sup>4</sup> BMS: Building Management System

## 1.4. Objetivos específicos

- Estudiar y definir que software BIM son los más utilizados en el mercado chileno para el diseño de modelos 3D y que software son los más utilizados en el mundo para la operación y mantenimiento de instalaciones de estructuras.
- Estudiar como debe ser la interacción entre un modelo 3D y los software de operación y cuales son los requisitos mínimos para que estos sean compatible.
- Estudiar cuales son los protocolos de comunicación que deben existir entre sensores para la adquisición de datos y así poder interactuar con un software de operación y mantenimiento.
- Desarrollar el caso real del nuevo Hospital del Salvador e Instituto Nacional de Geriátría y analizar si los modelos en Navisworks 3D existentes del hospital son compatibles con los software de operación que ofrece el mercado.

## 1.5. Alcances

El estudio se centra en definir cuales son los parámetros más importantes para la implementación de edificios inteligentes en Chile y de esta manera mejorar las actuales prácticas de operación y mantenimiento de una edificación. A modo de ejemplo en el informe se analiza el modelo en Navisworks 3D<sup>5</sup> del nuevo Hospital el Salvador e Instituto Nacional de Geriátría y además se estudia si el modelo cumple con las bases mínimas que permiten utilizar el modelo BIM para la operación.

Principalmente se estudiarán las propiedades geométricas de los modelos y 5 instalaciones de transporte de fluidos de los modelos Navisworks 3D, ya que con esto se pueden obtener conclusiones y a la vez extrapolar los resultados a las otras redes o instalaciones.

A continuación se mencionan las redes en estudio:

- Red de agua potable fría y caliente
- Red de rociadores
- Red de tratamiento de aguas
- Red de alcantarillado y aguas lluvias
- Red contra incendio

En el informe también se mencionan los protocolos de comunicación que deben tener los sensores en cada instalación con la finalidad de incorporar dicha información en el modelo BIM o en el software de operación y mantenimiento y así conocer las bases que deben existir para que exista una correcta interacción entre ellos.

<sup>5</sup> Modelo Navisworks 3D en fase de diseño entregado a la constructora, este modelo es previo al modelo as-built, el cual es un entregable de la fase final de la construcción.

Se utilizará como ejemplos de estudio los modelos computacionales en Navisworks 3D (figura 1.1) del futuro Hospital del Salvador e Instituto Nacional de Geriatría, el cual se encuentra en fase de construcción iniciando la etapa de obra gruesa.



Figura 1.1: Modelo en Navisworks 3D del nuevo Hospital del Salvador e Instituto Nacional de Geriatría. Fuente: Ministerio de Obras Públicas

Este hospital se emplazará en la Región Metropolitana, comuna de Providencia, Av. Salvador N°364 como podemos ver en la figura 1.2 y 1.3.



Figura 1.2: Cuadrado rojo indica ubicación general del nuevo Hospital del Salvador. Fuente: Google Maps

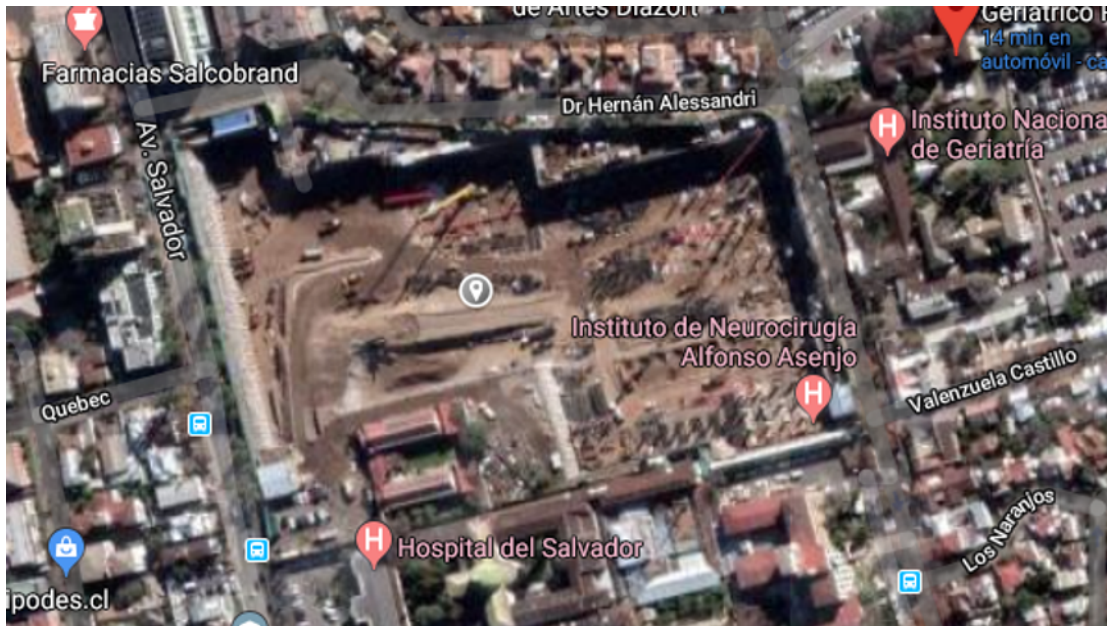


Figura 1.3: Zoom de la ubicación de la construcción del nuevo Hospital del Salvador. Fuente: Google Maps

## 1.6. Metodología de trabajo

- Estudiar que software existen para realizar modelos 3D BIM de la estructura, arquitectura e instalaciones de un proyecto y cuales son los más utilizados en Chile.
- Estudiar que software existen para operación y mantenimiento de instalaciones y estructuras y cuales son los más utilizados en Chile.
- Estudiar la interacción que debe existir entre un modelo 3D BIM y un software de operación, para que durante la operación se cuente con la mayor cantidad de datos posible que faciliten las tareas de mantenimiento.
- Estudiar cuales deben ser los protocolos de comunicación que deben existir entre sensores para que el software de operación obtenga la mayor cantidad de información útil, tal que se faciliten las tareas de mantenimiento.
- Estudiar el caso del nuevo Hospital del Salvador e Instituto Nacional de Geriátria y verificar si los modelos BIM existentes actualmente para la fase de construcción cumplen con los requisitos mínimos para ser utilizados durante la operación.
- Finalmente se plantean los resultados esperados y conclusiones de las consecuencias de utilizar nuevas implementaciones tecnológicas para operación y mantenimiento.



# Capítulo 2

## Marco teórico

### 2.1. Conceptos y definiciones

El término BIM (Building information modeling) fue difundido por primera vez por el profesor Charles M. Eastman, de Georgia al inicio de los años 70, posteriormente Jerry Laiserin llamado el padre de BIM popularizó el término como la representación digital de procesos de construcción con el objetivo de intercambiar información en formato digital.

La American Institute of Architects (AIA) define BIM como una representación digital de las características físicas y funcionales del proyecto (American Institute of Architects, 2015).

La National BIM Standard (NBS) indica que BIM es una representación de las características físicas y funcionales de una infraestructura, un modelo BIM es una fuente compartida de la información acerca de la infraestructura, formando una base confiable para decisiones durante su ciclo de vida (National BIM Standards, 2015).

Basado en las definiciones anteriores podemos ver que BIM es más que un simple programa computacional, sino que corresponde a una metodología de trabajo colaborativa basada en el uso dinámico de la gestión de datos de un edificio, por lo tanto BIM se basa en la creación de un modelo de información de un proyecto de todo el ciclo de vida de una estructura.

Cada modelo BIM puede ser representado por 7 dimensiones diferentes (figura 2.1), cada dimensión incluye distintos niveles de información, desde la concepción de la idea hasta la gestión y operación de la estructura a lo largo de su vida útil.

A continuación se describe cada una de las dimensiones de BIM:

- 1° Dimensión: todo proyecto nace de una idea, en la primera dimensión se incluye la localización e información de las condiciones iniciales de la estructura.
- 2° Dimensión: modelo inicial del proyecto (boceto), donde se plantean materiales, cargas estructurales y dimensión energética.
- 3° Dimensión: con la información de las dos primeras dimensiones se procede a la creación de un modelo con visualización geométrica 3D del proyecto.

- 4° Dimensión: corresponde a la dimensión temporal del proyecto, donde es posible visualizar cada etapa del proceso de construcción y operación.
- 5 Dimensión: análisis y estimación de los costes del proyecto, tiene información detallada de cada uno de los elementos del proyecto.
- 6° Dimensión: simulación de alternativas y su respectivo análisis a medida que avanza el proyecto, mejorando la sostenibilidad del proyecto.
- 7° Dimensión: gestión y organización de la información de una infraestructura para la operación a lo largo de su ciclo de vida.

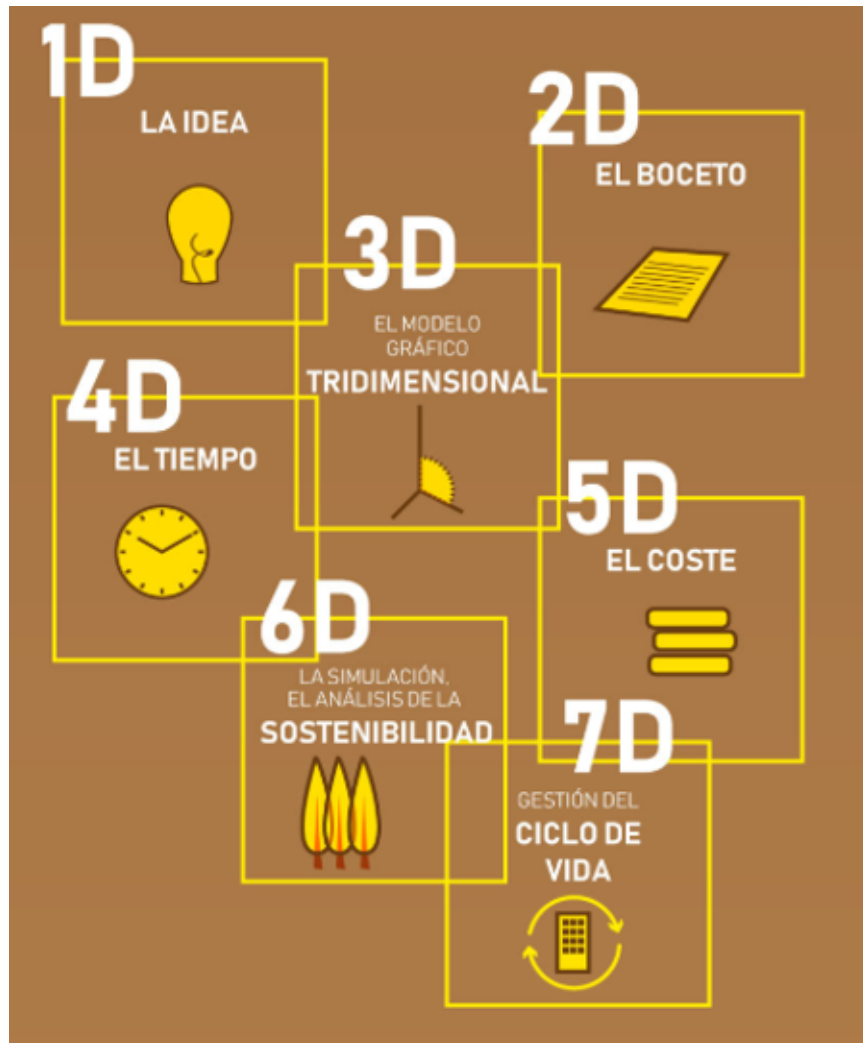


Figura 2.1: Las 7 dimensiones de BIM. Fuente: Structuralia, Juan Antonio Cuartero, 2018

La principal idea de este trabajo es poder entender que la dimensión 7D de BIM facilita a través de sus programas y metodologías la gestión de información de una estructura y sus instalaciones durante su operación y para poder llevar a cabo este proceso es necesario un

nivel avanzado de detalle en cada modelo del proyecto y en cada fase de las dimensiones de BIM.

Bajo esta idea nace el término Building Management System (BMS), el cual se define como un sistema de supervisión, control y adquisición de datos de dispositivos mecánicos y eléctricos instalados en un edificio, instalaciones y/o infraestructura. Esto trae como consecuencia una mayor posibilidad de gestión gracias a la automatización de los procesos, generando ahorros en costos de administración y operación.

Un BMS<sup>1</sup> tiene la capacidad de integrar diferentes sistemas como lo son la iluminación, calefacción, ventilación, climatización, videos, seguridad, megafonía, corrientes, suministros de energía, la adquisición y procesamiento de datos en tiempo real<sup>2</sup> lo que permite una optimización de cada red permitiendo la creación de edificios inteligentes más sostenibles con mejor calificación en certificaciones verdes como es, por ejemplo, la certificación LEED<sup>3</sup>.

## 2.2. Estado actual en Chile y Plan BIM

El estado actual en Chile según el informe de resultados de la encuesta BIM [Loyola 2019] realizada en conjunto por la Universidad de Chile, el colegio de arquitectos y el colegio de ingenieros declara, que más de dos tercios de los encuestados (69%) ha utilizado BIM, mientras que solo un 34% dice ser usuario regular de la tecnología BIM. A continuación en la figura 2.2 podemos ver los niveles de adopción de BIM en Chile según el área de especialización, mientras que en la figura 2.3 podemos ver los niveles de adopción de usuario en general.

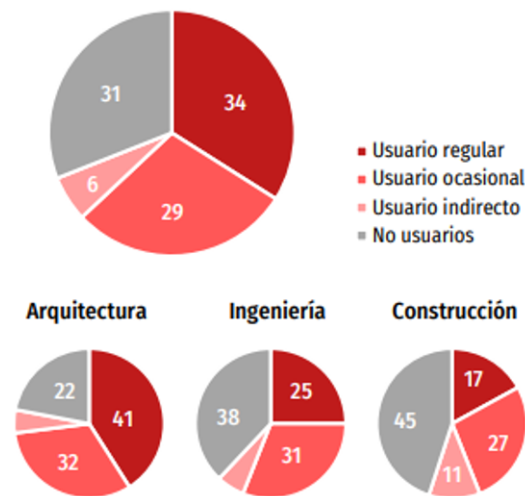


Figura 2.2: Niveles de adopción BIM por disciplina. Fuente: Encuesta BIM, 2019

<sup>1</sup> BMS: Building Management System

<sup>2</sup> Datos obtenidos por sensores instalados en cada una de las red que compone una estructura o una instalación para conocer su estado en tiempo real

<sup>3</sup> LEED: Leadership in Energy and Enviromental Desing (Anexo D)

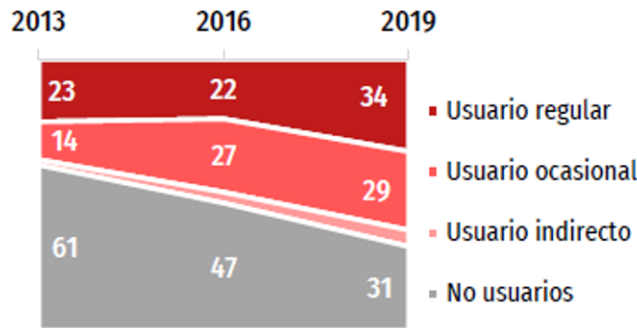


Figura 2.3: Porcentaje de adopción de BIM por usuario. Fuente: Encuesta BIM, 2019

La principal brecha para adoptar el plan BIM hasta la fecha es que existe una baja iniciativa del mercado para aplicar métodos avanzados de gestión. Según la encuesta BIM [Loyola 2019] existe una gran falta de capacitación en todos los niveles del rubro, pero con un mayor énfasis en el usuario final durante la etapa de operación. Las constructoras ya utilizan en parte estas metodologías BIM, pero las empresas que no han podido incorporar estas metodologías tienen como consecuencia altos costos de proyecto, aumento de los plazos, mala calidad de las construcciones y gastos excesivos en la operación y mantenimiento de instalaciones y estructuras, esto da como resultado una baja productividad en el área de la construcción.

A partir de estos problemas nace el Plan BIM que es una de las 15 iniciativas del Programa Construye 2025 impulsado por el gobierno de Chile, que busca modernizar la industria de la construcción mediante un plan de acción público - privado que tiene por objetivo aumentar la productividad y sostenibilidad de la industria de la construcción, mediante la incorporación de metodologías y tecnologías avanzadas de información para la reducción de costos y disminución de ineficiencias, considerando todas las etapas de los proyectos desde el idea y diseño hasta su etapa de operación, mantenimiento y demolición.

Los objetivos específicos de la implementación del Plan BIM en Chile son:

- Aumentar la productividad y competitividad de la industria de la construcción a través de reducir sus ineficiencias y optimizar los procesos de diseño, construcción y operación.
- Reducir plazos y costos de la construcción y mejorar su predictibilidad y control.
- Fomentar la estandarización y prefabricación de componentes constructivos para impulsar el desarrollo de la industria.
- Automatizar procesos de revisión de proyectos para asegurar su cumplimiento normativo y reducir los tiempos de aprobación.
- Impulsar que el país se convierta en líder en BIM en la región para promover la exportación de sus servicios.
- Mejorar la calidad de la construcción en Chile con el uso de tecnologías digitales de diseño, construcción y operación.

## 2.3. Principales problemas de la gestión y operación de estructuras

Dado que algunos de los nuevos proyectos hospitalarios en Chile son muy grandes y complejos, debe existir un gran número de personas especializadas durante todo el ciclo de vida de la estructura para poder planificar, diseñar, construir y operar la estructura de la mejor manera. La industria chilena de la construcción se caracteriza por presentar un déficit en la calidad en cada una de estas etapas, con gran énfasis en la etapa de operación, debido al bajo nivel de planificación en etapas tempranas del proyecto.

A pesar de que la etapa de operación del proyecto es aproximadamente el 80% de la inversión del proyecto como podemos ver en la figura 2.4 o como también menciona en su estudio Jaime Soto Muñoz los costos de operación alcanzan un 70% del total del proyecto [Jaime Soto 2017], a pesar de entender las consecuencias económica de estos procesos la industria chilena hace pocos esfuerzos por lograr una gestión de calidad de la operación y mantenimiento de las estructuras e instalaciones de los proyectos.

La **operación de los proyectos no se planifica** tempranamente a pesar de ser el 80% de la inversión

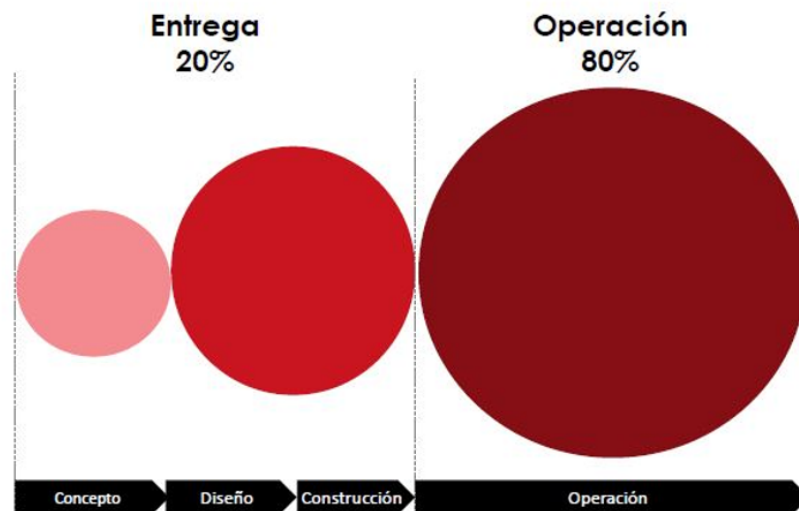


Figura 2.4: Costos de inversión de un proyecto. Fuente: level 3 and Beyond presentation, Mark Bew, 2015

Es importante entender que los bajos niveles de calidad en la operación de una estructura en Chile es debido a que siguen ocupando los mismos métodos de hace 50 años, donde cada problema se resuelve en forma posterior a su aparición, osea de forma correctiva y no se aplican métodos preventivos de mantenimiento. Una de las principales razones de no adoptar un modelo predictivo y preventivos de mantenimiento en Chile es la poca y nula utilización de modelos BIM en el área de la administración de edificios como podemos ver en la figura 2.5 obtenida de la Encuesta Nacional BIM [Loyola 2019], donde solo un 3% de los usuarios utilizan modelos BIM en la operación de una estructura.

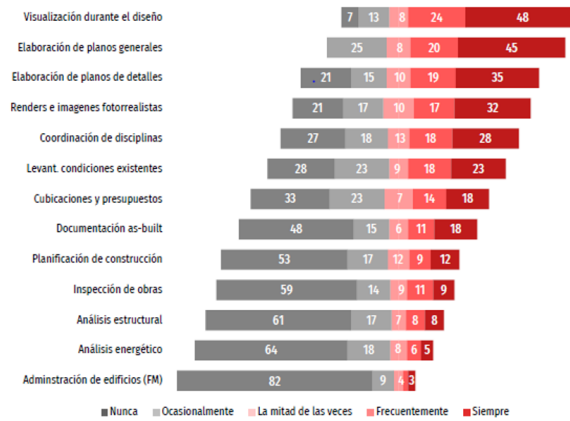


Figura 2.5: Porcentaje de usuarios que utilizan BIM para diferentes usos. Fuente: Encuesta BIM, 2019

### 2.3.1. Análisis económico de la salud pública en Chile

La Oficina de Información Económica en Salud (IES) tiene como objetivo elaborar estadísticas económicas y transparentar el gasto nacional en salud. En el sitio web [www.ies.minsal.cl](http://www.ies.minsal.cl), que es administrado por la oficina de la IES muestra el gasto anual hasta del año 2017, el cual corresponde a la cantidad de \$ 16.628.541 millones de pesos chilenos, donde solo \$ 4.869.023 millones de pesos pertenecen al gasto público en servicios de salud, como por ejemplo los hospitales públicos de cada región. En la figura 2.6 se puede apreciar el gasto público por servicio de hospitales de cada de cada región del país.

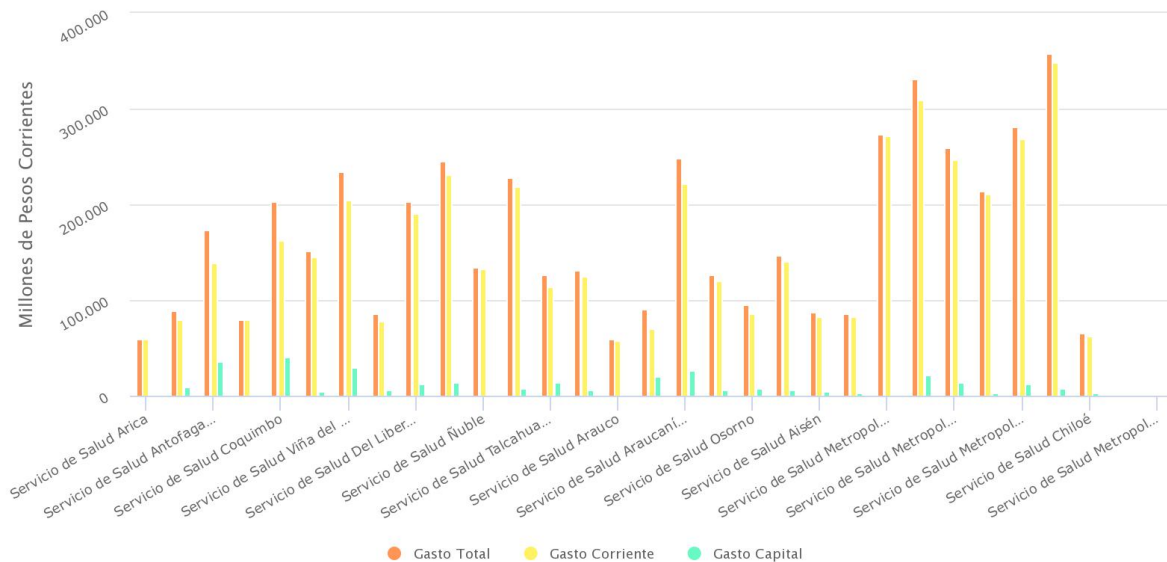


Figura 2.6: Gasto de servicio de salud por región. Fuente: Benjamín Ahumada, 2016

Un punto importante que se debe considerar al momento de analizar las razones de ¿por qué es importante reducir los costos en la etapa de operación y mantenimiento? es la gran

deuda que han ido arrastrando los hospitales públicos año tras año, esta deuda esta compuesta principalmente por el sobregasto operacional [Bejamín Ahumada 2016] y compras de insumo y servicios, esta deuda hospitalaria se ha transformado en un problema permanente para los servicios de salud y principalmente para los hospitales de alta complejidad, ya que son los que concentran un mayor porcentaje de esta deuda. En la figura 2.7 muestra la evolución de la deuda durante el período 2008-2015.

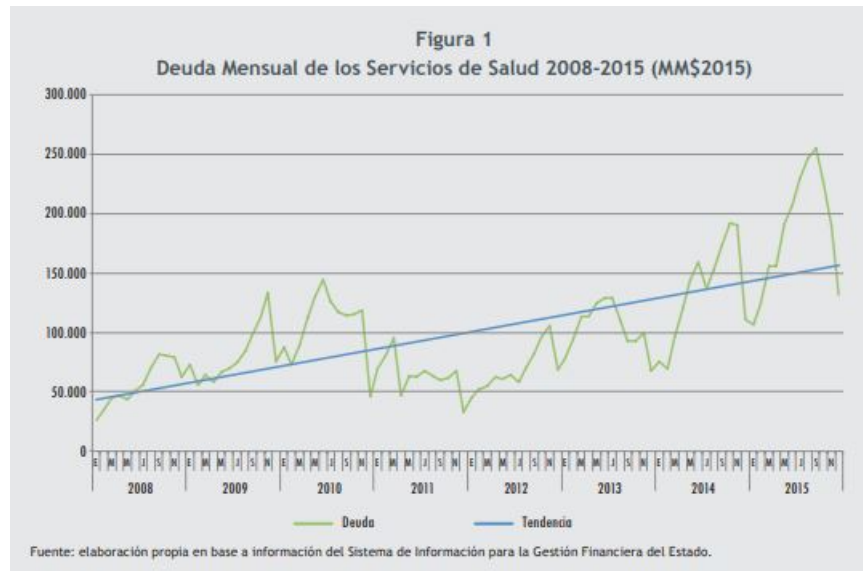


Figura 2.7: Evolución de la deuda entre los periodo 2008-2015. Fuente: Benjamín Ahumada, , 2016

Como se puede apreciar en el gráfico la tendencia de la deuda es a la alza desde el año 2008 hasta el año 2015, por lo tanto se asume que ha seguido creciendo, además se debe recalcar que el gasto operacional representa cerca del 66 % del presupuesto y del gasto del sector de salud, por lo tanto es urgente modificar las antiguas prácticas de operación y utilizar tecnologías de la información para mejorar la gestión y así ahorrar costos en esta fase a largo plazo.

## 2.4. Estudios anteriores

Conocer las ventajas de utilizar metodologías BIM durante el ciclo de vida de una estructura es importante, por esta razón a continuación se presenta una revisión bibliográfica de distintas investigaciones y estudios con el objetivo de fortalecer la idea de adquirir nuevas tecnologías de visualización y análisis avanzado de datos, que permitan mejorar la capacidad de gestión y operación de una estructura en cada una de sus etapas.

### 2.4.1. Rodrigo Saldías Silva (2010)

El autor en su tesis “Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnología BIM” menciona claramente que las actuales herramientas tecnológicas y formas de trabajo tradicionales no han podido dominar el aumento exponencial de la complejidad de los proyectos en Chile, como consecuencia esto se traduce en un incum-

plimiento en los plazos, presupuestos, calidad y entregables del proyecto lo que dificulta su operación y mantenimiento.

El autor señala que con BIM los distintos actores del ciclo de vida de un proyecto pueden acceder a un modelo central, que posee información del proyecto clara, precisa, oportuna y completa donde se puede visualizar lo que será y fue construido. En la actualidad, una vez que se termina un proyecto este es entregado al cliente o mandante, con altas cantidades de documentación en papel que tienen las características físicas y funcionales de cada instalación. Los modelos BIM nos proporciona una fuente de información para todos los sistemas e instalaciones de un edificio y es posible utilizar el modelo as-built<sup>4</sup> con la ubicación exacta y todas las modificaciones realizadas durante el proceso constructivo, esto permite la utilización de modelos as-built para una operación y mantenimiento de forma más precisa durante la vida de la estructura [Saldías 2010].

### **2.4.2. Jaime Soto Muñoz (2017)**

El estudio “La implementación de la metodología Building Information Modeling (BIM) para edificios existentes en Chile” escrito por Jaime Soto indica lo importante que es BIM para facilitar la implementación de estrategias de operación y mantención cuyo costo puede ascender hasta un 70 % del proyecto.

Uno de los principales desafíos de la operación y mantenimiento de edificios es cuando se decide que hacer con los edificios ya existentes, dado que los mandantes de dichos edificios creados con diseños asistidos por computadora (CAD 2D) no pueden utilizar las ventajas entregadas por las metodologías BIM y solo pueden hacer planes generales de operación.

La idea principal del estudio es generar conciencia en el cliente o mandante de edificios preexistentes en que la implementación de modelos BIM genera un coste de implementación asumible si se compara con el costo anual de mantenimiento del edificio. La implementación de este tipo de tecnologías permitirá disminuir los costos de mantenimiento, alargar su vida útil y crear edificio que puedan absorber nuevas tecnologías [Jaime Soto 2017].

### **2.4.3. Alex Albarello (2019)**

Alex Albarello en su estudio “BIM para el mantenimiento: más planeación menos sobrecostos”, explica claramente que la fase de post - construcción que empieza desde el momento en que la estructura se empieza a operar y esta etapa abarca alrededor del 85 % de los costos del ciclo de vida de un edificio [Volk 2014]. Esto se debe principalmente a la falta de planeación en etapas tempranas y a la recurrencia en el planeamiento correctivo o reactivo.

El autor especifica que mediante la implementación de modelos BIM es posible no solo reducir los sobrecostos, sino también obtener beneficios durante la ejecución del mantenimiento como por ejemplo el análisis visual de los elementos para poder identificar el grupo de elementos afectados, la información técnica sobre componentes y materiales afectados y actualización de costos de mantenimiento [Albarello 2019].

<sup>4</sup> As-built: modelo BIM del proyecto diseñado al término de la construcción.



# Capítulo 3

## Desarrollo del problema

### 3.1. Factores para implementar edificios inteligentes en proyectos hospitalarios en Chile

Prácticamente en todo el mundo existe un aumento exponencial de las tecnologías de información, las cuales nos permiten resolver cada vez de mejor forma grandes desafíos, desde problemas locales hasta problemas globales. La tecnología crece a un gran ritmo y cada vez presenta un mayor uso en la vida diaria de todas las personas. Por esta razón incorporar tecnología de punta a hospitales es un paso que el mundo de la construcción y administración de edificios debe dar para optimizar el uso de recursos.

El principal mensaje que entrega este estudio es que en un futuro cercano los edificios y casas inteligentes serán tan comunes como un smartphone o un computador en la vida de las personas. Generar edificios de esta categoría que estén informando su condición constantemente, utilizando datos tomados en tiempo real de cada instalación, además que los mismos edificios puedan orientarnos en la toma de decisiones a los usuarios, para ahorrar costos ya es posible gracias al gran poder computacional y a la aparición de inteligencias artificiales y software de administración en los últimos años.

En la actualidad, el mantenimiento y la operación de la mayoría de las estructuras en Chile se resuelve de forma visual y correctiva, además de ser principalmente ejecutado por personas, raramente estas labores son apoyadas por nuevas tecnologías, esto genera una baja eficiencia en este proceso de operación y mantenimiento generando costos elevados para los dueños de los edificios y en el caso de hospitales públicos como el del Salvador el costo es para el estado y debido a esto el mantenimiento y operación de edificios se convierte en un servicio poco sustentable.

A continuación se presenta una guía con una serie de definiciones y conceptos que el lector debe comprender a la perfección para convertir su edificio en un edificio inteligente. En el desarrollo de este tema se menciona como funciona un modelo 3D y un software de operación y así comprender como la integración de estos software con hardwares permite la implementación de un sistema de gestión de edificios.

### 3.1.1. ¿Qué es un edificio inteligente o smart building?

Un edificio inteligente o smart building se define como aquel que es capaz de proporcionar un ambiente de trabajo productivo y eficiente a través de la optimización de sus cuatro elementos básicos: estructura, sistemas, servicios y administración. Además ayudan a los propietarios, operadores y ocupantes a realizar sus propósitos y explotación del edificio de forma más eficiente en términos de costos, confort, comodidad, seguridad, flexibilidad y comercialización (Intelligent Building Institute, US).

Los edificios inteligentes se caracterizan por integrar las nuevas tecnologías como la inmótica<sup>1</sup> en sus activos, con el fin de aumentar la eficiencia energética, la sostenibilidad, la seguridad, la usabilidad y la accesibilidad. Un edificio inteligente es capaz de entregar por si solo información<sup>2</sup> que un edificio común y corriente no puede entregar, esto debido a que debe contar con un sistema de sensores que permiten la captura de datos en tiempo real para luego ser utilizados en la gestión del edificio.

Para que un edificio sea considerado inteligente debe tener un conjunto de tecnologías de información que permitan lograr la interconectividad de información de cada uno de los 4 elementos básicos mencionados. Estas tecnologías se pueden apreciar en la figura 3.1 y describen a lo largo del informe.

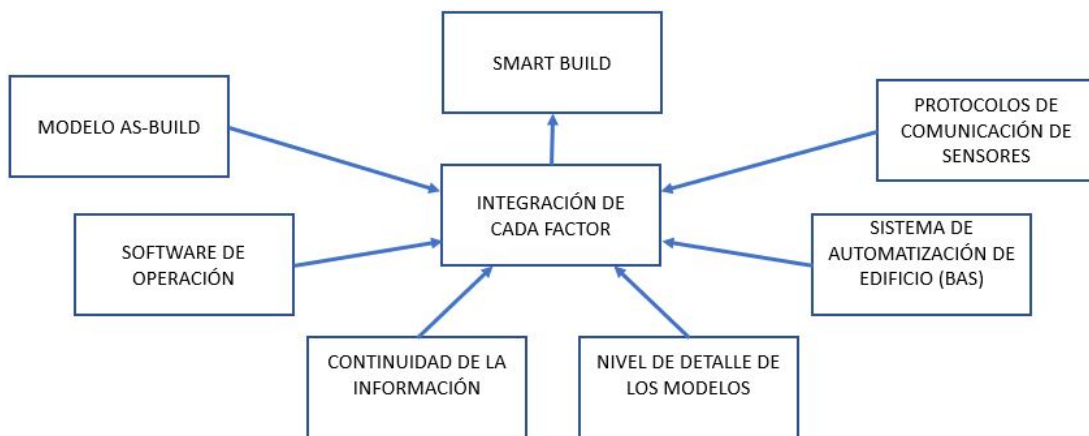


Figura 3.1: Factores para la implementación de edificios inteligentes.

Fuente: Propia

En las siguientes secciones del informe se definen los conceptos más importantes que deben existir para poder controlar de forma inteligente una estructura y sus instalaciones, las cuales son: modelos BIM 3D, modelo as-built, datos BIM, modelos de BMS, software de operación, datos BMS, continuidad de información durante el ciclo de vida, nivel de detalle de los modelos y protocolos de comunicación de sensores instalados en campo. Finalmente todos estos conceptos son evaluados en el Hospital del salvador para estudiar su posibilidad de implementación.

<sup>1</sup> Inmótica: Conjunto de técnicas orientadas a automatizar un edificio.

<sup>2</sup> Datos BMS o datos para la gestión del proyecto en tiempo real.

### 3.1.2. Modelo BIM del proyecto completo

En Chile según la encuesta BIM [Loyola 2019] las herramientas de trabajo Autodesk son dominantes en el mercado, un 78 % de los usuarios encuestados utiliza Revit mientras que un 38 % de los usuarios utiliza Navisworks (figura 3.2). Normalmente en Chile y el mundo estos dos programas se utilizan para dibujar modelos 3D de los proyectos e incorporar información en forma ordenada. Es importante mencionar que el porcentaje de la encuesta suma más de 100, ya que a cada persona se le dió la opción de elegir más de una alternativa.

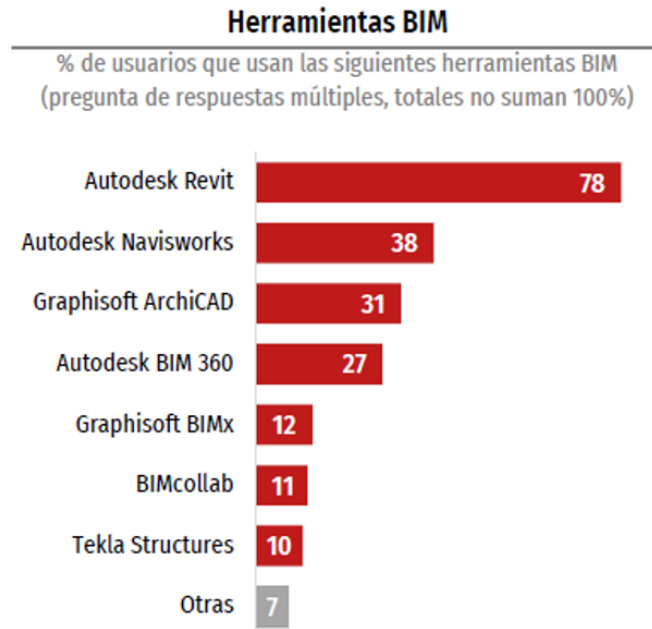


Figura 3.2: Porcentaje de usuarios que utilizan herramientas BIM.  
Fuente: Encuesta Nacional BIM 2019

Este tipo de programas requiere un alto nivel computacional para poder ser aprovechados al máximo, ya que los modelos cuentan con altos niveles de detalles, por ejemplo en el caso ideal los modelos deben describir a la perfección el proyecto completo, la arquitectura y el diseño estructural del proyecto, además de contar con información y propiedades de cada elemento e instalación del proyecto. A continuación se definen los programas más utilizados para confeccionar modelos 3D y cuales son los requerimientos que existen para hacer un modelo:

1. Revit Autodesk: es un software de modelado de la información, el cual es desarrollado actualmente por la empresa Autodesk y se utiliza para planificar, diseñar, construir y administrar edificios e infraestructura. El logo del software se puede ver en la figura 3.3.

Revit es muy eficiente para producir diseños y documentación que permiten aumentar la calidad en cada proceso de un proyecto, ya que cuenta con una amplia biblioteca que facilita la creación de elementos en los modelos. Revit permite ver el edificio antes de su construcción, permitiendo encontrar errores, ya que revit es capaz de generar procesos

de diseños multidiciplinarios y colaborativos entre las distintas partes que conforman un proyecto, por ejemplo se puede coordinar absolutamente toda la información entre arquitectura, diseños de instalaciones y construcción.

Además Revit permite el traspaso de información de manera fácil, directa y bidireccional con la mayoría de los programas desarrollados para operación de edificios y en especial con programas desarrollados por la empresa Autodesk (programas extensiones de revit), los cuales en sus mayoría estan orientados a optimizar un área específica de los proyectos, como por ejemplo optimizar energía o consumo de agua de una estructura.



Figura 3.3: Logo Revit Autodesk 2020. Fuente: [www.autodesk.com](http://www.autodesk.com)

2. Navisworks 3D Autodesk: Este software tiene la función de poder visualizar modelos hechos en Revit, Auto CAD u otras herramientas. El programa permite la visualización en tiempo real de materiales e iluminación, permite ver los grandes proyectos que cuentan con un sin número de partes por capas para facilitar su visualización. Además el programa cuenta con la capacidad de identificar intersecciones entre instalaciones del proyecto, lo que permite tomar medidas durante la etapa de diseño. En la figura 3.4 podemos apreciar el logo del software.



Figura 3.4: Logo Navisworks 3D Autodesk 2020. Fuente: [www.autodesk.com](http://www.autodesk.com)

Los dos programas mencionados recientemente son los más utilizados en este momento en Chile para la confección de modelos 3D, esto facilita mucho la calidad del proceso en etapas de diseño y construcción, pero para la etapa de operación y mantenimiento estos software deben

ser acompañados por otros programas que utilicen el mismo servidor o nube de información que los modelos 3D y de esta forma tener un control absoluto de la información del proyecto.

Existen dos preguntas muy importantes que se deben hacer al momento de hacer un modelo 3D, las cuales son ¿Qué requisitos tiene un modelo 3D para poder ser usado durante la operación? ¿Se debe aplicar el mismo nivel de detalle en el modelo para cada elemento o red del proyecto?. Estas preguntas permiten a los diseñadores realizar un modelo 3D que pueda ser actualizados durante la fase de construcción en caso de que existan modificaciones del proyecto, este modelo BIM al término de la construcción es fundamental para la implementación de nuevas tecnologías dado que el modelo as-built del edificio entrega las dimensiones exactas y posiciones reales de cada componente del proyecto. Esto permite utilizar los modelos a largo plazo durante la fase de operación y demolición. Ambas preguntas planteadas serán analizadas en la sección 3.1.3 del desarrollo.

Finalmente es importante mencionar que a pesar de contar con modelos BIM en la actualidad en Chile para estructuras, arquitectura e instalaciones hospitalarias como por ejemplo el Hospital de Antofagasta, estos no se utilizan de una forma óptima y por ende no se obtienen todos los beneficios y ventajas que estos otorgan con las tecnologías de información actuales, sobre todo en las etapas de operación y mantenimiento de una estructura.

### **3.1.3. Requisitos de un modelo de operación as-built**

Un modelo de operación de edificios debe ser capaz de considerar la mayor cantidad de variables que tiene un edificio, de esta manera se pueden optimizar y asegurar la calidad de cada proceso durante la operación. Los software de operación deben ser alimentados constantemente con información de cada parte del edificio, la cual es obtenida de los modelos BIM diseñados en las etapas previas del ciclo de vida del edificio y de los datos entregados por sensores que se adquieren información en tiempo real (datos BMS).

Nos concentraremos en un edificio hospitalario, el cual esta compuesto por tres grandes grupos de activos: infraestructuras, sistemas industriales y equipos médicos [Rodriguez 2019]. Durante la etapa de operación y mantenimiento, llevar el control de cada uno los componentes y redes de estos activos es de vital importancia para lograr un servicio de calidad a los usuarios, esto se puede lograr a través de un software de operación los cuales serán mencionados en la sección 3.1.5.

A continuación basado en el estudio de Rodriguez se menciona cada uno de los componentes de los 3 activos principales mencionados.

1. Los activos de infraestructura estan compuestos por:

- Aisladores sísmicos
- Recubrimientos
- Puertas y ventanas
- Cajas de escala
- Muebles en obra

- Techos y cielos
- Losas
- Fosos de ascensores
- Juntas de dilatación
- Piletas
- Letreros Luminosos

2. Los activos de Sistemas industriales estan compuestos por:

- Climatización
- Electricidad
- Iluminación
- Control centralizado
- Sanitario
- Gases clínicos
- Cableado estructurado
- Detección y protección contra incendios
- Sistemas de seguridad
- Correo neumático
- Puertas automaticas
- Equipos gastronómicos
- Ascensores
- Llamado paciente – enfermería

3. Los activos de Equipos médicos estan compuestos por:

- Equipos de soporte de vida
- Equipos de pabellones
- Angiografía
- Imágenes y RISPAC
- Equipos diag. Cardiología
- Laboratorio y LIS
- Radioterapia
- Banco de sangre
- Refrigeradores clínicos
- Equipos de diálisis
- Medicina nuclear
- Farmacia

- Esterilización
- Medicina física

Cada uno de los equipos y redes mencionados son de vital importancia para que el hospital pueda funcionar con normalidad, en caso de que alguno de estas redes o equipos presentara fallas la calidad del servicio bajaría drásticamente, por esta razón el correcto diseño de la etapa de operación y mantenimiento de cada uno de los activos mencionados es fundamental para el hospital.

Para que la operación y mantenimiento sea efectivo se deben crear planes, los cuales entreguen metodologías al personal de apoyo para facilitar las tareas y así mantener actualizada constantemente la información en los software de operación. Los principales planes que se deben diseñar se mencionan a continuación:

- Plan de administración
- Plan de configuración
- Plan de ingeniería
- Plan de documentación técnica
- Plan de abastecimiento
- Plan de instalaciones
- Plan de equipos de prueba
- Plan de empaque, almacenamiento y transporte
- Plan de mantenimiento
- Plan de recursos computacionales
- Plan de pruebas
- Plan de capacitación

Cada uno de estos activos mencionados corresponden a objetos físicos dentro del hospital, saber desde los inicios de un proyecto ¿cual será el nivel de detalle? en los modelos 3D de cada uno de estos activos es fundamental para ahorrar costos y poder pensar en la etapa siguiente de construcción, operación y mantenimiento. Además es importante que el software de operación elegido sea capaz de controlar los factores más importantes de cada uno de los componentes y equipos de los activos mencionados, además de incorporar en la nube cada uno de los planes mencionados.

### 3.1.3.1. Continuidad de la información para operación

La continuidad de la información se define como el proceso mediante el cual se puede almacenar la información de un proyecto desde su nacimiento como idea hasta su demolición o en otras palabras durante todo el ciclo de vida de un edificio como se puede apreciar en la figura 3.5. En Chile actualmente lograr la continuidad de la información es muy complejo dado que la mayoría de los proyectos no cuentan con su documentación digitalizada o modelos tridimensionales como lo es la documentación de obras municipales, por lo tanto la información se va perdiendo a medida que se avanza en el ciclo de vida de un proyecto causando grandes pérdidas de tiempo y costos no considerados durante los procesos de operación y mantenimiento. Además como la empresa que diseñan, construyen y operan el proyecto en la mayoría de los casos son distintas existe pérdida de registro de información, además tampoco existe un archivo digital por parte del estado para facilitar estos procesos.

Gracias a la incorporación de metodologías BIM a los proyectos, es posible lograr la continuidad de información durante todo el proyecto con altos estándares de calidad, permitiendo almacenar información en servidores o nubes que se van actualizando constantemente.

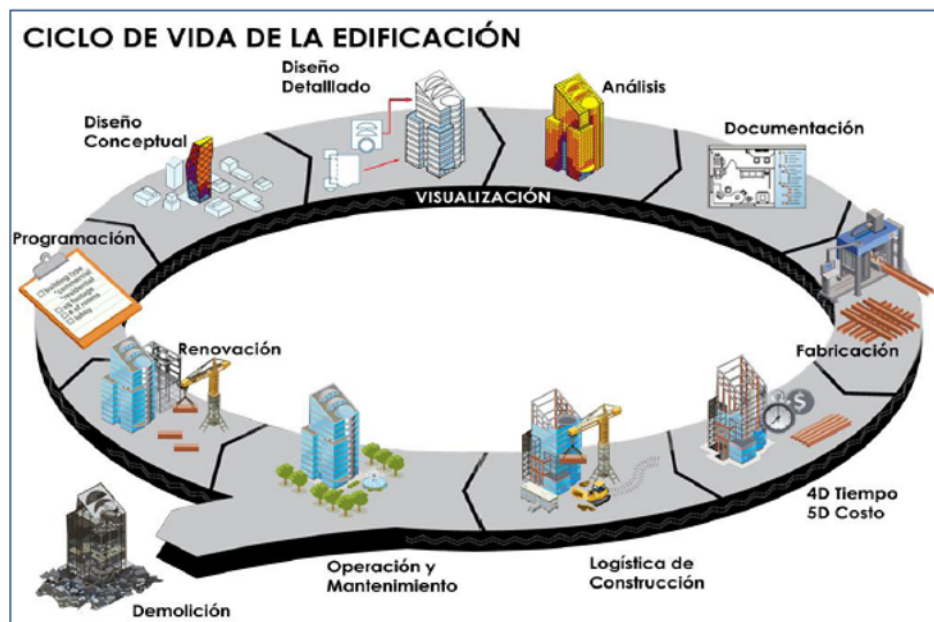


Figura 3.5: Ciclo de vida de una estructura. Fuente: BIM Forum Chile CChC

Para que el proceso de continuidad de la información sea efectivo es importante que cada empresa que participa en el diseño y construcción del proyecto implemente metodologías BIM, de lo contrario no se logrará trabajar de forma óptima. Bajo este contexto nace la definición de BIM integrado, el cual consiste en una coordinación de todas las especialidades y etapas del proyecto en forma normada y centralizada (figura 3.6).

Por lo tanto para poder trabajar durante la fase de operación se debe exigir a las empresas que son partes del diseño del proyecto la utilización de metodologías BIM bajo una norma y estandarización y de esta forma es posible contar con una fuente de información confiable y centralizada durante la fase de operación del proyecto.



## BIM Integrado

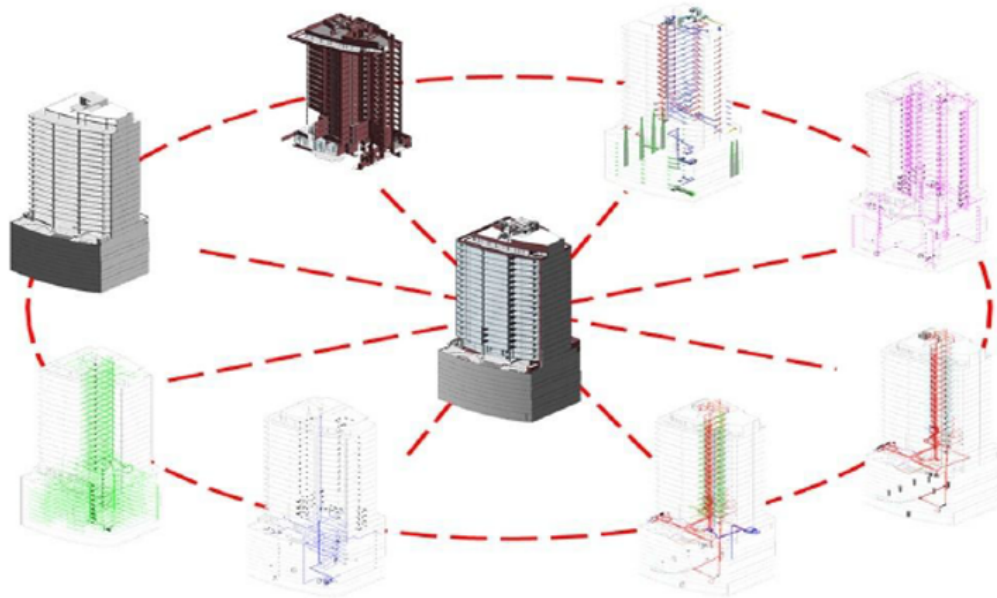


Figura 3.6: BIM integrado. Fuente: BIM Forum Chile CChC

### 3.1.3.2. Nivel de detalle e información de un modelo BIM

Cada uno de los activos mencionados en la sección anterior 3.1.3 debe ser diseñado por un grupo de profesionales expertos en el área, los cuales deben ser capaz de entregar un modelo 3D del activo, como por ejemplo una instalación de agua potable o la misma estructura. Dicho modelo puede ser diseñado por un programa a conveniencia estandarizado por los mismos mandantes al inicio del proyecto. Aquí es donde cada empresa puede entregar un modelo con distintas cantidades de información, las cuales pueden variar desde dimensiones geométricas y materiales, hasta un nivel de detalle completo que represente la realidad a la perfección.

El mandante debe exigir un mínimo de información para cada uno de los modelos de los activos del proyecto, por esta razón nace la necesidad de estandarizar la cantidad de detalle bajo un concepto denominado LOD, el cual tiene distintas interpretaciones según el lugar donde se aplica, pero ambas definiciones engloban un concepto similar. Por un lado según el estandar de Estados Unidos (National BIM Standard - US) se traduce LOD como el nivel de desarrollo o level of development y según el estandar de Reino Unido (National BIM Estándar NBS - UK) se traduce LOD como el nivel de definición o level of definition.

A continuación se definen los conceptos LOD y LOI según la guía BIM Forum Chile<sup>3</sup>, estas definiciones se deben manejar a la perfección al momento de diseñar un modelo de información del proyecto, esto debido a que ambos términos se refieren a la cantidad de

<sup>3</sup> BIM Forum Chile es una instancia donde se reúnen empresas y profesionales que puedan aportar con sus conocimientos y experiencias al mejoramiento de las técnicas relacionadas a BIM.

información que tendrá el modelo y en consecuencia indicará el uso que se le puede dar a los modelos durante las etapas siguientes del ciclo de vida del proyecto [BIM Forum Chile 2017].

#### **3.1.3.2.1. Nivel de definición (level of definition) - UK**

Las siguientes definiciones son basadas en el [PAS 1192-2] utilizado en Reino Unido y se basa principalmente en dos conceptos: el nivel de detalle (LOD) y el nivel de información (LOI). Cada uno de estos conceptos se nutren a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Nivel de detalle (LOD): orientado a la descripción gráfica de los modelos en cada uno de sus etapas.

- LOD 2: el elemento de construcción modelado proporciona una indicación visual del elemento en la etapa conceptual, identificando requerimientos claves.
- LOD 3: el elemento de construcción modelado proporciona una representación visual del elemento en la etapa de definiciones técnicas para su coordinación espacial completa.
- LOD 4: el elemento de construcción modelado proporciona una representación visual para una etapa de diseño, con su coordinación espacial completa.
- LOD 5: el elemento de construcción modelado proporciona una representación visual del elemento en el proyecto construido y provee una referencia para su posterior uso y mantenimiento.

Nivel de información (LOI): orientado a la descripción del contenido no gráfico de los modelos en cada una de sus etapas.

- LOI 2 y 3: el elemento modelado proporciona una descripción inicial para una entrega hacia el diseño.
- LOI 4: el elemento modelado proporciona una información suficiente para permitir la selección del producto de fabricante que cumpla con sus requerimientos.
- LOI 5: el elemento modelado proporciona la información específica del producto del fabricante seleccionado o lo construido y entregado.
- LOI 6: el elemento modelado proporciona la información acumulada de los niveles anteriores y además considera información detallada del mantenimiento efectuado.

#### **3.1.3.2.2. Nivel de desarrollo (level of development) - US**

Las siguientes definiciones son obtenidas de la American Institute of Architects en su documento [G202-2013]. En Estados Unidos solo se utiliza el concepto de LOD X00 el cual incorpora la información del LOD y el LOI de Reino Unido en conjunto.

- LOD 100: el elemento de construcción modelado puede ser representado gráficamente en el modelo con un símbolo u otra representación genérica. La información del elemento se puede derivar de otros elementos del modelo. Las representaciones no son geométricas, sino que muestran la existencia de un componente, pero no su forma, tamaño o ubicación precisa.

- LOD 200: el elemento modelado se representa gráficamente como un sistema genérico de objeto, forma, ubicación y orientación aproximados. La información no gráfica también es aproximada al elemento modelado. Estas representaciones son geométricas respecto del volumen o espacio reservado para el elemento de construcción que representan.
- LOD 300: el elemento modelado se representa gráficamente como un objeto o sistema específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación. La información no gráfica también corresponde con la información gráfica. Las cantidades dimensiones, formas, ubicación y orientación según lo diseñado, se puede obtener directamente del elemento sin hacer referencia a información no gráfica.
- LOD 350: el elemento modelado se representa gráficamente como un sistema u objeto específico en términos de cantidad, dimensiones, forma, posición, orientación y se encuentra vinculado a otros elementos del modelo. La información no gráfica esta contenida dentro del elemento modelado. Estas representaciones se vinculan con otros elementos del modelo cercano o adjunto. Se incluyen las partes tales como soportes o conexiones.
- LOD 400: el elemento modelado se representa gráficamente en el modelo como un objeto o sistema específico en términos de dimensiones, forma, ubicación, cantidades y con información en detalle de fabricación, montaje e instalación. La información no gráfica también se encuentra dentro del elemento modelado. Estas representaciones se modelan con la precisión y detalle suficiente para su fabricación e instalación.
- LOD 500: el elemento modelado es una representación fiel del elemento de construcción ya ejecutado en obra, con su tamaño, forma y orientación real del proyecto. La información no gráfica esta incluida en el objeto así como sus vínculos con otros elementos. Estas representaciones se realizan una vez construido el proyecto y son las adecuadas para el mantenimiento y el funcionamiento del elemento inmueble.

### 3.1.3.2.3. Niveles de información (NDI) - Estándar BIM Chile

En Chile según el Estándar BIM [Carolina Soto 2019], los niveles de información se define como los grados de profundidad que puede tener tanto la información geométrica como la información no geométrica contenida en las entidades de los modelos BIM, esta información puede cambiar o aumentar a medida que el proyecto avanza. El concepto fue elaborado por el Plan BIM, el cual esta basado en la norma G202-2013 - Project Building Information Modeling Protocol Form de AIA y en el Level of Development Specification de BIM Forum USA.

Los niveles de información son 6 y se definen a continuación:

- Información Inicial General (NDI-1): información inicial, que puede ser estimativa, acerca de área, altura, volumen, localización y orientación de los elementos generales.
- Información Básica Aproximada (NDI-2): información básica del tamaño, forma, localización, cantidad y orientación de los sistemas y elementos generales y su ensamblaje.
- Información Detallada (NDI-3 ): información detallada del tamaño, forma, localización, cantidad y orientación que sea relevante para el montaje de los elementos.

- Información Detallada y Coordinada (NDI-4): información detallada y coordinada respecto del tamaño, forma, localización, cantidad, orientación e interacción entre los sistemas de construcción y sus elementos de montaje específico.
- Información Detallada de la Fabricación y Montaje(NDI-5): información detallada de la fabricación y montaje, considerando el tamaño, localización, cantidad, orientación e interacción entre los elementos.
- Información Detallada de lo Construido y su Puesta en Marcha (NDI-6): información detallada del tamaño, forma, localización, cantidad, orientación y de la puesta en marcha de los elementos construidos.

El caso ideal es que se establezcan desde el inicio del proyecto la cantidad de información que debe existir en los modelos, esto se va a requerir según sus objetivos. Siempre se debe pensar en el uso posterior del modelo y el esfuerzo que esto significa en términos de tiempo y de inversión. Todos los datos que se obtienen de la fase de diseño y construcción son los llamados datos BIM<sup>4</sup> y estos nos indican todas las variables posibles que fueron establecidas en el contrato.

### **3.1.4. Sistemas de automatización de edificios BAS**

Todo edificio de vanguardia que pertenece a la elite de edificios de última tecnología y que sea considerado inteligente, debe contar con procesos automatizados para facilitar la operación, además debe contar con sistemas de sensores ubicados en sectores específicos diseñados por expertos en el área, con la finalidad de obtener datos estructurados y así conseguir el máximo beneficio, actualizando los modelos de forma periodica. Los sensores tienen la obligación de proporcionar información verídica de lo que esta pasando en el edificio en tiempo real, esto permite comparar por ejemplo los estudios de gastos energéticos con los casos reales (datos BMS).

Actualmente el Ministerio de Obras Públicas de Chile específicamente el área de concesiones de hospitales cuenta con una serie de documento llamados criterios de diseño que fija las bases para el diseño de los sistemas de control centralizado en hospitales, el cual sirve como guía de lo mínimo que se debe hacer para tener el control de la estructura, instalaciones y arquitectura (activos), además cada especialidad tiene su propio criterio de diseño actualizado al año 2020, el cual describe que equipo tiene cada instalación y cuales deben ser monitoreado constantemente.

Un sistema de automatización de edificios o Building Automation System (BAS) se define como un sistema centralizado compuestos por un red de monitores de hardware y software que son capaces de controlar las instalaciones de un edificios o activos mencionados en la sección 3.1.3.

<sup>4</sup> Datos BIM corresponde a la información elaborada desde el inicio del proyecto (idea) hasta el término de la construcción (modelo as-built)

Las principales funciones de un sistema centralizado son:

- Controlar el entorno del edificio.
- Operar sistemas según la ocupación y la demanda de energía.
- Supervisar y corregir el rendimiento del sistema.
- Alertar o hacer sonar las alarmas cuando sea necesario.

Todo edificio automatizado debe tener un dispositivo clave llamado controlador, el cual se define como una pequeña computadora especializada y se encarga de regular el rendimiento del activo en el que este se encuentre funcionando, cada instalación del edificio debe tener su propio sistemas de controladores. Para poder lograr la automatización en un edificio se deben integrar sensores, controladores, dispositivos de salida, interfaz de usuarios y protocolos de comunicación como se puede apreciar en la figura 3.7.

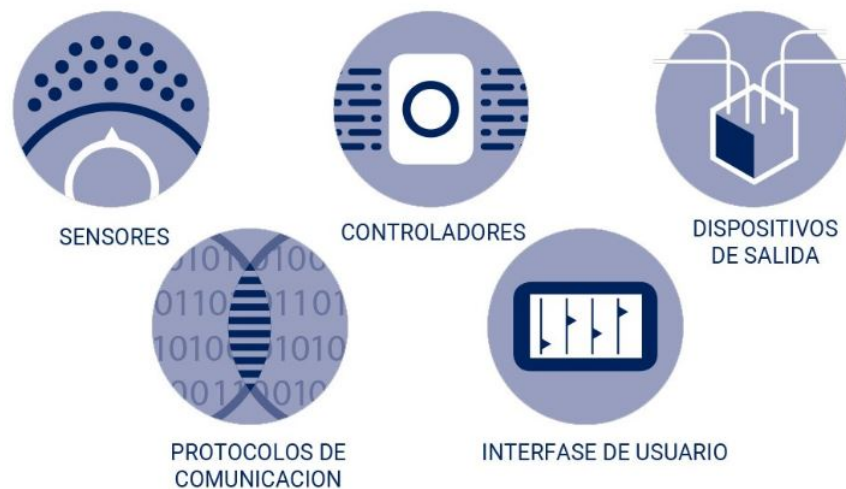


Figura 3.7: Partes de un sistema BAS. Fuente: [www.secureweek.com](http://www.secureweek.com)

A continuación se definen los componentes más importantes de un sistema de automatización BAS:

- Sensores: dispositivos que transforman una variable física, química o mecánica en una señal eléctrica de salida, por ejemplo la cantidad de  $CO_2$ , temperatura, humedad, lúmenes, movimiento, flujo, etc.
- Controladores: los controladores son considerados el cerebro del BAS, el dispositivo puede recibir datos de entrada (datos captados por los sensores), ser procesados por un algoritmo y enviar una señal de respuesta a un actuador para que este realice una función de adaptación.
- Dispositivos de salida: ejecutan los comandos del controlador, un ejemplo común de actuador es una electroválvula (anexo A.A.1.1).
- Protocolos de comunicación: corresponde básicamente al idioma en el cual se comunican los componentes del BAS.

- Panel de control o interfaz de usuario: corresponden a las pantallas donde los humanos pueden interactuar con el sistema BAS.

Este tipo de sistemas de sensores permiten a los edificios estar tomando información constantemente de lo que ocurre en su interior en tiempo real y de esta forma los edificios pueden aprender de si mismos para crear planes energéticos más eficientes y adaptarse a los cambios que experimentan a largo plazo.

### 3.1.4.1. Protocolo de comunicación KNX

A continuación se describe un protocolo de comunicación llamado KNX el cual es considerado un estándar mundial, este protocolo de comunicación se basa en la norma internacional ISO/IEC-14543, la cual es un sucesor de tres estándares previos: European Home System Protocol (EHS), European Installation Bus (EIB o Instabus) y el BatiBus, esto convierte en KNX en un referente mundial con altos niveles de calidad y aceptación. Los protocolos de comunicación corresponden al idioma en el que se comunicarán los distintos dispositivos que integran los sistemas BAS definidos previamente, esta comunicación se hace de 4 maneras: cableado trenzado, red eléctrica o línea de fuerza, radio frecuencia y ethernet. KNX utiliza un concepto de la informática llamado IoT<sup>5</sup>, que en español significa el Internet de las cosas lo cual indica que cualquier cosa podrá estar conectado a través de internet y tendrá inteligencia.

En su página web KNX se define como un estándar mundial para el control de todas las aplicaciones en viviendas y edificios (en la figura 3.8 se puede apreciar los activos que puede controlar un sistema KNX), no obstante la implementación de este tipo de sistema significa aumentar la inversión inicial drásticamente, ya que se necesita saber con exactitud en que lugar se ubicarán las grandes cantidades de cableado y los equipos que se necesitan. Como dice Albarello en su estudio [Albarello 2019] mientras más planeación tenga un proyecto mejor se desenvolverá en la etapa de operación, independiente si la inversión es mucho mayor debido al proceso de diseño que requieren las nuevas redes, siempre será beneficio a largo plazo.

				
<b>Iluminación</b>	<b>Persianas y Contraventanas</b>	<b>Sistemas de Seguridad</b>	<b>Gestión Energética</b>	<b>Sistemas HVAC</b>
				
<b>Sistemas de supervisión</b>	<b>Control Remoto</b>	<b>Medición</b>	<b>Control de Audio/Video</b>	<b>Bienes de Gama blanca</b>

Figura 3.8: Aplicaciones de un sistema BAS. Fuente: [www.knx.org](http://www.knx.org)

<sup>5</sup> IoT: Internet of Things o Internet de las Cosas

En la figura 3.9 podemos ver un gráfico obtenido del estudio “Potencial ahorro de energía por sistemas de automatización modernos” de la universidad de Biberach Alemania, el cual demuestra que un sistema bus basado en KNX puede alcanzar un ahorro global superior al 50 %. Un sistema Bus<sup>6</sup> se define como un sistema digital capaz de transferir datos entre componentes de una computadora, a la vez todos estos datos son administrados por una herramienta de software llamada ETS 5<sup>7</sup> que permite planificar, programar y poner en marcha proyectos KNX certificados, además el sistema tiene la capacidad de comunicarse con otros lenguajes sin necesidades de pasarelas.

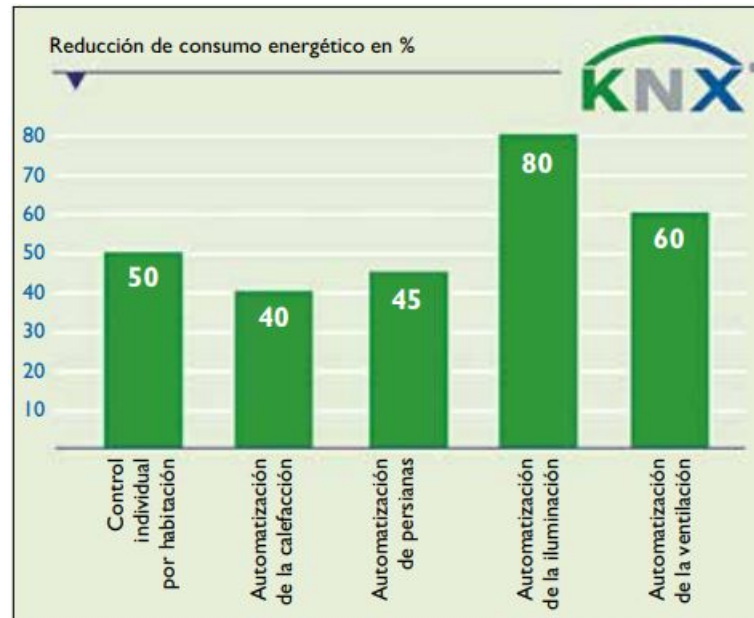


Figura 3.9: Potencial ahorro de energía por sistemas de automatización modernos. Fuente: Instituto para Sistemas de Automatización de Edificios de la Universidad de Biberach

Finalmente un punto importante que se debe mencionar son los altos niveles de encriptación que tiene ETS 5 para evitar que los hackers accedan a información importante del edificio y así prevenir posibles atentados al sistema o robo de información.

### 3.1.5. Softwares especializados en operación de edificios

La operación de un edificio corresponde a la etapa más larga del ciclo de vida de un edificio, durante este periodo se llevan a cabo las actividades por la cual se decidió crear el proyecto, por ejemplo en el caso de un hospital es atender los problemas de salud de una población específica. Por esta razón diseñar las metodologías y procesos que se utilizarán durante el periodo de operación de una instalación y estructura es tan vital como se hace en la etapa el diseño estructural o arquitectónico para que el edificio optimice al máximo su capacidad.

<sup>6</sup> BUS: forma de comunicación entre sensores y actuadores, por ejemplo cables

<sup>7</sup> ETS: Engineering Tool Software

El periodo de operación de un edificio se define como el conjunto de actividades necesarias para operar equipos, zonas, mantener y administrar el edificio; este proceso se realiza periódicamente hasta que sea mas conveniente la etapa final de demolición. Debido al gran auge de megaproyectos y edificaciones de gran tamaño en Chile y el mundo, realizar una labor de operación de un edificio sin apoyo de la tecnología adecuada es prácticamente imposible debido a la gran cantidad de variables que se requieren controlar, en consecuencia nacen las metodologías Building Management System (BMS) y Facility Managemet (FM), las cuales apoyadas por software de operación de punta como lo es ARCHIBUS o BIM 360 OPS mejoran indudablemente la calidad de este proceso.

Previo a hablar de software específicos es importante definir el concepto de Facility managment, la cual es una metodología dedicada en su totalidad a mejorar la gestión integral de los servicios de un inmueble, esta metodología esta compuesta por un sin número de programas y se basa principalmente en controlar las distintas partes de un edificio como por ejemplo la limpieza, el mantenimiento, la seguridad etc. (figura 3.10). Esto se lleva a cabo mediante la adquisición de datos y manejo de información en tiempo real, este tipo de metodología al ser combinadas con metodologías BIM entregan al controlador o mandante del edificio una gran cantidad de beneficios que se mencionan a continuación.



Figura 3.10: Aplicaciones de Facility Management. Fuente: [www.cl.issworld.com](http://www.cl.issworld.com)

A continuación se presentan algunas de las funciones de las metodologías Facility Management:

- Registro de renovaciones y cambios: el registro de cada acción realizada dentro del edificio debe ser notificada y registrada para generar actualizaciones del modelo.
- Calendario de mantenencias preventivas: debido al alto poder de administración de datos es posible generar un programa de mantenencias eficientes, optimizando costos y tiempo.
- Análisis de la utilización de energía en un edificio: el programa predice el rendimientos de equipos y sistemas de eficiencia energética para compararlo más tarde con datos reales. Esto permite tomar desiciones en actualización de materiales o identificar áreas de optimización para alcanzar mejores resultados.



- Gestión de activos: la base de datos al tener el valor de referencia de cada activo, equipo o acción tomada dentro del edificio se pueden realizar estimaciones de costos y reportes financieros.
- Planificación de desastres: tener la base de datos actualizadas permite a los equipos de emergencias o de rescate tener acceso a información crítica del edificio permitiendo tomar mejores decisiones informadas para lograr respuestas más precisas y reducir los riesgos.

Finalmente algunos de los beneficios de incorporar BIM y Facilities Management son:

- Organización y actualizaciones mas precisas: asegura que los sistemas de mantención esten actualizados y coordinados con el servidor que obtiene información a través de los sensores en tiempo real constantemente.
- Uso eficientes de los recursos: la coordinación del uso de espacios, agua y luz permite grades ahorros, a su vez utilizar mantenimientos preventivo evita sobre costos y utilizacion extra de equipos.
- Control sobre las medidas de sustentabilidad: gracias a la toma de datos realizadas por los sensores es posible realizar seguimientos en tiempo real y al relacionarlos con los datos históricos se pueden optimizar las estrategias de consumo y ahorro de energía.

A continuación se mencionan distintos programas que en la actualidad se utilizan y son empresas líderes en la administración de edificios, dichos programas se especializan en integrar todas las funciones de los FM mencionadas en los puntos anteriores y de este modo se puede administrar un edificio independiente de su complejidad.

1. ARCHIBUS: es un software de Facility Management de la empresa Archibus ubicada en Estados Unidos que ayuda a crear estrategias para administrar edificios, el programa es capaz de ajustarse a los tamaños de este (escalabilidad<sup>8</sup>) y permite reducir costos operativos, integrar datos en un sistema proactivo que permita optimizar el rendimiento diario, pronosticar necesidades y permitir la mejora continua.



Figura 3.11: Logo ARCHIBUS. Fuente: [www.archibus.com](http://www.archibus.com)

Archibus cuenta con la capacidad de lograr unificar en un solo programa todas las tareas que las metodologías facility management (FM) son capaces de hacer por separado. El programa además cuenta con Archibus Cloud el cual permite centralizar la información en una nube virtual, de esta forma se puede tener un acceso remoto desde cualquier dispositivo y así generar comunicación entre cada usuario del edificio, administradores y el mismo edificio.

<sup>8</sup> Escalabilidad: capacidad de un proceso de poder adaptarse al crecimiento sin perder calidad, posibilidad de manejar un crecimiento de forma continua

El programa tiene un sistema de mantenimiento preventivo<sup>9</sup>, el cual puede llevar un control de cada instalación y empleado para minimizar costos en reparaciones y extender los ciclos de vida de cada servicio, además de eliminar los tiempos muertos por inactividad de una red.

2. **BIM 360 OPS:** la empresa Autodesk cuenta con una variedad de programas que pueden ser utilizados en distintas fases del ciclo de vida de un edificio, BIM 360 OPS se especializa en la administración y visualización de información durante la fase de operación. Todos los programas Autodesk pueden utilizar los mismos modelos Revit para la adquisición de datos y además la utilización de la nube virtual de Revit para centralizar la información y así facilitar su gestión. Los beneficios que entrega esta aplicación son muy similares a los ya mencionados para los programas FM como Archibus, además permite una visualización de los modelos y sus datos desde cualquier dispositivo móvil (figura 3.12).



Figura 3.12: Logo software BIM 360 OPS. Fuente: [www.bim360ops.autodesk.com](http://www.bim360ops.autodesk.com)

BIM 360 OPS entrega beneficios como llevar el control de los procesos de mantenimiento y además genera un control de calidad más eficiente entre contratistas y mandantes al estar conectados en línea a través de un modelo. Permite llevar a cabo labores de mantenimiento preventivo y predictivo, alertando al personal de mantenimiento automáticamente para efectuar algún trabajo que sea necesario.

3. **Bentley:** es una empresa que se dedica especialmente al diseño de software dedicados a la gestión de información en cada etapa del ciclo de vida de una estructura, Bentley cuenta con una alta gama de programas para el rubro de la industria y la construcción por ejemplo tiene software de alto nivel para diseño, evaluación, optimización, simulación, planificación, construcción y operación (figura 3.13).



Figura 3.13: Logo empresa Bentley. Fuente: [www.bentley.com](http://www.bentley.com)

Bentley cuenta con programas dedicados a la gestión de activos como Assetwise y Asset Reliability los cuales permiten reducir los costos de operación al gestionar la información que existe.

4. **IBM MAXIMO ASSET MANAGEMENT:** es un software de gestión de edificios de la empresa IBM, el software es capaz de optimizar el rendimiento de los activos, ampliar su tiempo de uso, disminuir tiempos muertos y disminuir los costos de operación.

<sup>9</sup> PM: Preventive maintenance



Figura 3.14: Logo software IBM maximo. Fuente: [www.ibm.com](http://www.ibm.com)

5. You BIM: el software You BIM facilita la visualización de cada activo y la información que contiene cada uno, por ejemplo revisiones y mantenimientos. La interfaz de usuario de You BIM se diferencia de otras soluciones en la industria por su simplicidad y por su experiencia de usuario centrada en el mandante y el personal a cargo de las instalaciones.

El software adjunta datos y documentos enriquecidos a lo largo del ciclo de vida del proyecto como pdf, imágenes jpg, excel a la nube en conjunto con el modelo de información de construcción BIM (as-built). You BIM también incluye funcionalidades de órdenes de trabajo y mantenimiento preventivo y se integra a la perfección con los sistemas CMMS<sup>10</sup> y CAFM<sup>11</sup> como IBM Maximo. A continuación en la figura 3.15 se presenta el logo del software.



Figura 3.15: Logo software YouBIM. Fuente: [www.youbim.com](http://www.youbim.com)

You BIM en su página se hace llamar un “Google Maps” para una instalación, respondiendo el “¿Dónde?” (ubicación 2D y 3D) y el “¿Qué?” (propiedades, historial, especificaciones, información de garantía, etc.) de los componentes de un activos, sistemas o espacios, esto permite mejorar considerablemente el rendimiento de la información que se obtiene mediante órdenes de trabajo y BAS.

You BIM tiene la capacidad al igual que los otros software mencionados de integrar modelos de información de construcción, con instalaciones BMS o IoT, sistemas de automatización de edificios (BAS) y datos de gestión de trabajo del software CMMS, en una sola plataforma como se puede ver en la figura 3.15, generando una base de datos estructurada para la toma de decisiones durante la operación del proyecto.

<sup>10</sup> CMMS: Computerized Maintenance Management System

<sup>11</sup> CAFM: Computer Aided Facility Management



Figura 3.16: Integración de software con YouBIM. Fuente: [www.youbim.com](http://www.youbim.com)

Como podemos ver existen muchas empresas dedicadas al rubro de digitalizar cada etapa y proceso del ciclo de vida de una estructura, por lo tanto adquirir e incorporar estas tecnologías en los hospitales chilenos es factible y solo se requiere que exista un gran proceso de diseño de la fase de operación para dar este gran paso. Finalmente en el siguiente punto se describe brevemente como interaccionan los datos de operación con los datos ya existentes BIM en los modelos y que método se utiliza habitualmente para la migración de datos.

### 3.1.6. Interacción de datos BMS y datos de modelos BIM

En los puntos previos se definieron los conceptos básicos que se deben manejar para entender que es un modelo BIM (sección 3.1.2), un software de operación (sección 3.1.5) y las necesidades de un modelo de operación (sección 3.1.3). A partir de estas definiciones se establecen 2 tipos de datos importantes que se deben manejar para realizar una gestión de la información, el primero ya mencionado se define como los datos BIM, mientras que los datos obtenidos durante el proceso de operación y gestión de la edificación se definen como datos BMS [Akponanabofa 2016].

Según Akponanabofa los beneficios de la última etapa solo se aprovechan si se pueden utilizar bucles de retroalimentación de datos al sistema de gestión de edificios (BMS), en esta parte la colaboración entre FM, personas, lugares, procesos, sensores y tecnología son capaces de generar un funcionamiento óptimo del edificio facilitando la operación. Los datos durante la gestión son obtenidos a través de sensores de campo ubicados en puntos planeado en las etapas de diseño idealmente, los cuales permiten hacer representaciones reales del gasto energético del edificio y así tomar planes de acción ejecutados por el administrador del edificio para poder mantener el consumo de energía al mínimo y así minimizar costos y maximizar la sustentabilidad del proyecto.

A continuación se presentan dos enfoques básicos para utilizar datos de BMS tomados en tiempo real e integrarlos en los modelos BIM, los cuales son definidos en el estudio [Akponanabofa 2016]:

1. BIM - Herramientas de análisis - Enlace BMS: En el caso del consumo energético del edificio se toman los datos obtenidos durante operación (datos BMS) y se llevan a cabo análisis en una herramienta habilitada para BIM, por ejemplo utilizando el programa Autodesk Project Dasher y luego de esto se incorpora la información y los resultados al modelo as-built y se itera bajo este concepto como se puede ver en la figura 3.17.



Figura 3.17: Enlace de herramienta de análisis energético Fuente: Akponanabofa 2016

2. BIM - Enlace del complemento de consumo de energía: En este caso es necesario una aplicación externa que se conecta a BIM que sea programable para poder ser mejorado en forma continua y permita visualizar el consumo de energía, esta herramienta externa puede ser importante para que personas no expertas en el tema, tales como los ocupantes del edificio puedan entender las demandas energéticas y visualizarlas de forma sencilla y dar su opinión al respecto, la forma de trabajo se puede ver en la figura 3.18.

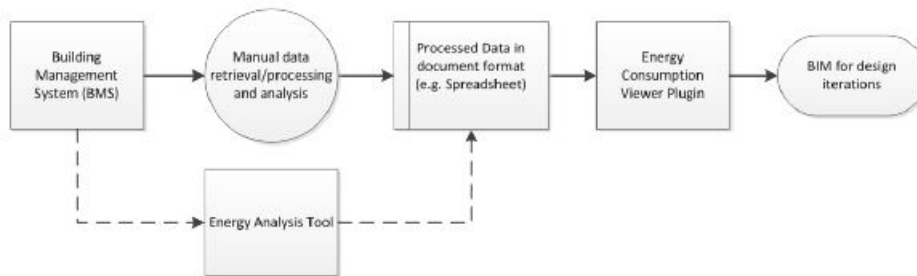


Figura 3.18: Enlace de conexión de visor de energía Fuente: Akponanabofa 2016

Es importante resolver un gran problema que envuelve a la gestión de datos como dice Akponanabofa en su estudio, donde menciona que es difícil trabajar con grandes volúmenes de datos debido a que se genera un problema llamado “síndrome de Big Data”, este consiste que la mayoría de los datos recopilados durante la fase operación por los sistemas de adquisición son demasiado grandes en volumen y no se encuentran estructurados para usarlos inmediatamente, por lo tanto este es un factor fundamental que deben considerar los expertos en el área al momento de diseñar la forma de trabajo de la gestión del edificio.

Además es necesario explicar que mecanismos ocupan las metodologías BMS para integrar datos en BIM, por ejemplo existe COBie<sup>12</sup> que se define como la información estructurada para la puesta en marcha, diseño, construcción, operación y mantenimiento de un proyecto que será usada para suministrar datos al cliente u operador de la edificación y así mejorar la toma de decisiones, el facility management y la gestión de activos. COBie ayuda a gestionar información muy específica de muchas áreas de forma global permitiendo la escalabilidad y modificaciones del proyecto a lo largo del ciclo de vida de este. En el presente existe Cobie - UK - 2012 versión 2.4 de Building Smart como última actualización de protocolo que se deben tener en cuenta para utilizar datos de los modelos BIM correctamente.

COBie es principalmente un formato de datos en una hoja de cálculo excel diseñados para registrar datos importantes de cada etapa de la vida de un proyecto de la forma más completa y útil posible, para luego utilizar dichas planillas como entrada para otras aplicaciones de software. COBie y otros formatos de datos similares a este resaltan la idea que BIM no solo se trata de dibujos 3D, si no que BIM también puede existir sin ningún tipo de dibujo como información en una hoja de cálculo.

La utilización de un mecanismo de migración de datos se debe exigir a los contratistas que desarrollan estos modelos, de este modo se logra la continuidad de la información e integración de los atributos COBie dentro del modelo y así el modelo se puede utilizar durante la fase de gestión de instalaciones. En la actualidad la práctica de reingresar información en el software FM es tedioso y costoso y podría evitarse mediante correcto uso de las metodologías BIM [Anoop 2011].

A continuación en la figura 3.19 se muestra el proceso de implementación BIM para mejorar el diseño del edificio, el cual debe ser progresivo y respetar cada fase del ciclo de vida del edificio (datos estructurados). Este proceso consiste en recopilar información en cada una de las fase iniciales del proyecto para finalmente crear el modelo as-built o modelo de construcción, de esta manera se pueden utilizar los datos tomados en terreno durante la operación del edificio y además se puede integrar los datos BMS en BIM e interactuar durante todo el ciclo de vida para optimizar la funcionalidad de este.

<sup>12</sup> COBie: Construction Operation Building Information Exchange

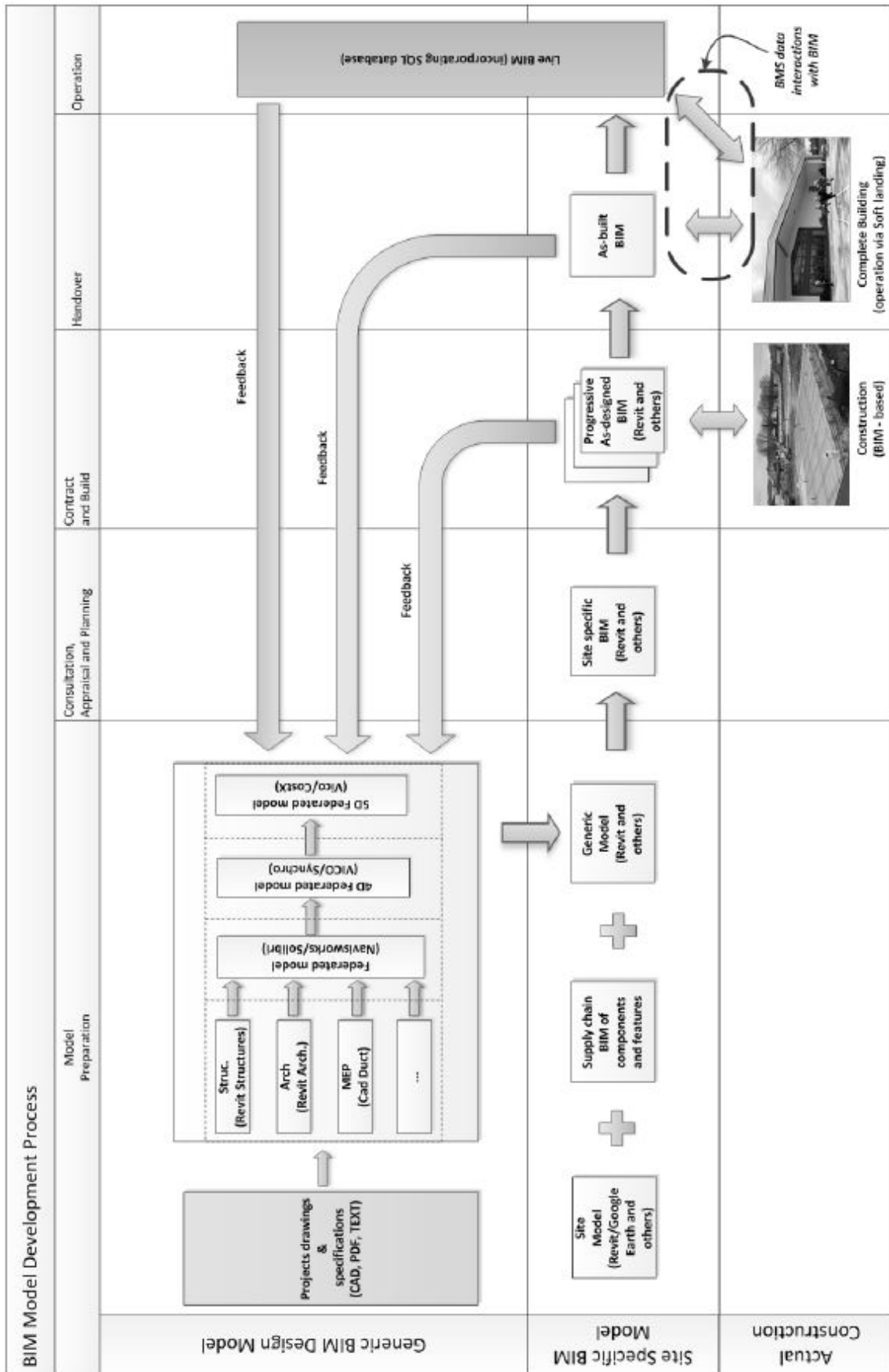


Figura 3.19: Marco de trabajo BIM para mejorar los procesos de entrega de proyectos. Fuente: Henry Akponanabofa 2016

## **3.2. Caso en estudio: Hospital del Salvador e Instituto Nacional de Geriatría**

Actualmente el sistema de salud de Chile no es capaz de funcionar adecuadamente a pesar de todos los esfuerzos que se aplican en el área, mejorarlo es una promesa pendiente que ha existido en el discurso del gobierno durante décadas. La calidad que entrega el sistema público a la población es un factor que no solo depende de la cantidad de profesionales o infraestructura que existe en el país, sino que depende de como trabaja cada hospital por separado y si este es capaz de aprovechar todos los materiales y recursos que fueron entregados al momento de su inauguración. Administrar el edificio y cada uno de sus componentes y equipos en una tarea muy difícil que debe ser gestionada por profesionales con experiencia en el tema, sobre todo si es un hospital de alta complejidad como lo es el caso del nuevo Hospital del Salvador e Instituto Nacional de Geriatría, por esta razón incorporar la tecnología más avanzada existente en la administración del edificio es fundamental para mejorar la calidad del servicio entregada a los usuarios y no incurrir en gastos excesivos por problemas no calculados.

Durante el presente año el ministerio de obras públicas aplicó la ordenanza municipal del Plan BIM (sección 2.2) que obliga a toda la infraestructura pública nueva a implementar metodologías BIM en sus proyectos. Este plan BIM abre un mundo entero de posibilidades para mejorar cada etapa del ciclo de vida de un edificio. Por ejemplo la utilización de los modelos 3D durante la operación y mantenimiento de un edificios es crítico, dado que la mayoría de los software de operación de edificios piden como requisito la información que entrega un modelo BIM, lo que facilita en gran medida el intercambio de información de calidad y estructurada.

A continuación se utiliza la guía confeccionada en la sección 3.1 para analizar la posibilidad de implementar en el nuevo Hospital del Salvador los sistemas y metodologías que convierten a un hospital convencional en uno inteligente, el análisis será en base a la información que existe actualmente y a los planes futuros del ministerio y la constructora a cargo del proyecto.

### **3.2.1. Descripción del proyecto**

El nuevo Hospital del Salvador consiste en la ampliación del actual Hospital del Salvador, el cual pertenece a la red de hospitales públicos cuyo propietario es el gobierno de Chile, el proyecto se encuentra ubicado en la comuna de Providencia, calle Salvador n°364 (figura 1.1). El complejo hospitalario esta compuesto por los edificios de Atención Abierta (AA), Hospital del Salvador (HDS) e Instituto Nacional de Geriatría (ING) y se encuentran ubicados como indica la figura 3.20, el proyecto contará con una superficie aproximada de 171.000  $m^2$  construidos.



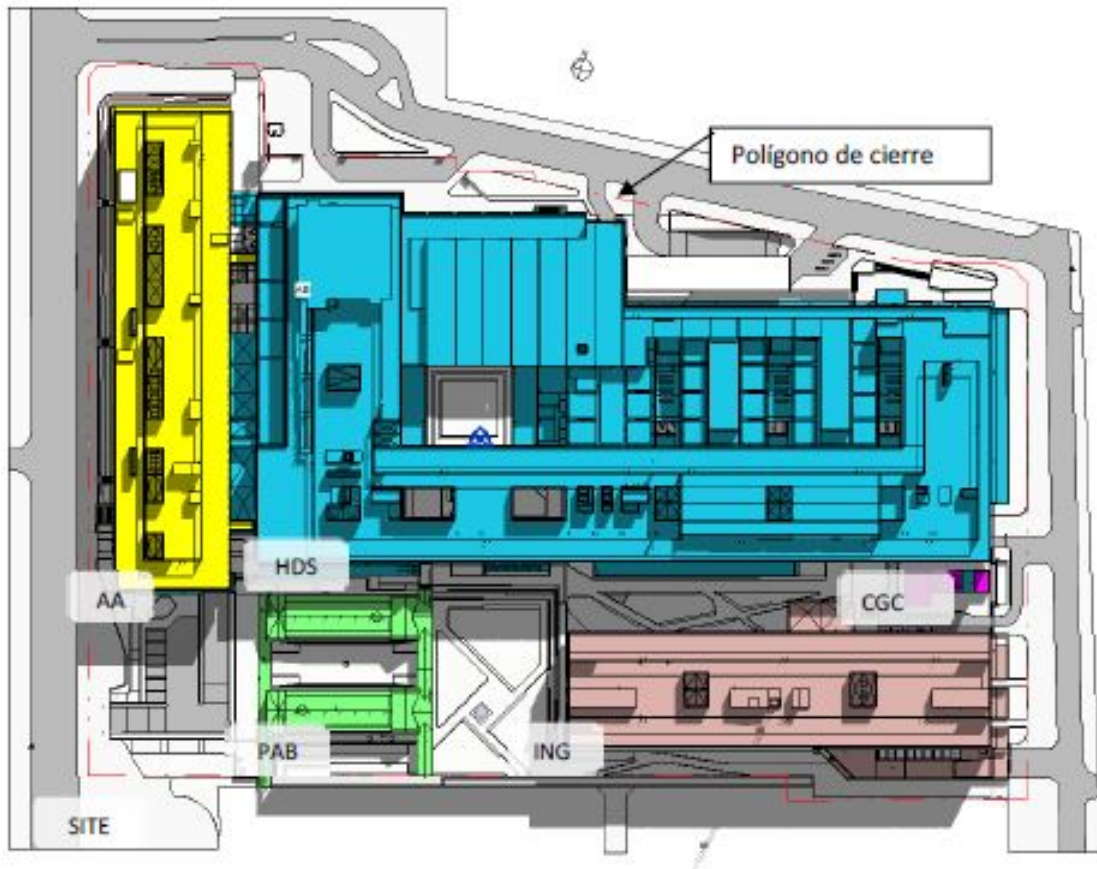


Figura 3.20: Vista planta de los edificios del complejo hospitalario.  
Fuente: Ministerio de Obras Públicas

El recinto hospitalario cuenta con una inversión aproximada de US\$270 millones de dólares, cada uno de los edificios mencionados será de 4 pisos y contará con un piso subterráneo para estacionamientos. El hospital beneficiará principalmente a la población adulta de las comunas de Providencia, Las Condes, Ñuñoa, La Reina, Peñalolén, Macul, Vitacura y Lo Barnechea de la ciudad de Santiago y su alcance es de 500.000 personas beneficiadas. El nuevo recinto contará con 641 camas, 529 para el Hospital del Salvador y 112 para el Instituto Nacional de Geriatría, la puesta en servicio provisoria para el hospital está programada para el año 2023 con entrega definitiva para el año 2024.

El proyecto se encuentra a cargo del Consorcio de Salud Santiago Oriente (CSSO) y la construcción esta a cargo de la constructora y edificadora GIA+A S.A. que cuenta con amplia experiencia en el desarrollo, ejecución y operación de obras de infraestructura social y hospitalaria. GIA es una empresa mexicana con 24 años de experiencia.

La finalidad de esta sección es proponer la implementación de tecnologías nuevas (utilizando la guía de trabajo de la sección 3.1.3 para lograr convertir el Hospital del Salvador en un hospital inteligente aprovechando los recursos existentes hasta el momento, los cuales que fueron planteados en la licitación del proyecto. El informe solo se enfocará en las instalaciones húmedas y la geometría de los modelos, pero con la finalidad de que el lector extrapole tal información al resto del proyecto.

### 3.2.2. Modelos BIM del nuevo Hospital del Salvador

Actualmente la ordenanza del Plan BIM a partir del presente año exige a todos los proyectos de infraestructura pública utilizar metodologías BIM con la finalidad de fomentar la utilización de nuevas tecnologías en el área del diseño, construcción y operación de edificaciones. El uso de BIM se incorpora en las bases de licitación y anexos complementarios a las bases administrativas del hospital, por lo que la empresa que se gana la licitación asume la responsabilidad de contar con los conocimientos y los profesionales adecuados en el área para desarrollar la labor de la mejor forma posible. A continuación basados en la información descrita en la sección 3.1.2 se estudia que programas se han utilizados para los modelos BIM existentes.

El proyecto en este momento está en fase de excavaciones y fundaciones con un 6% de avance según lo programado, por lo tanto se encuentra en los inicios de la obra gruesa, el proyecto cuenta con una memoria de modelado BIM, la cual entrega un resumen de lo modelado en la fase de diseño hasta la fecha y contiene información de que empresa hizo cada modelo y su respectiva fecha de actualización y revisión. El proyecto cuenta con 3 tipos de modelos que se describen en la memoria, los cuales se mencionan a continuación:

- Modelos de diseño: son los modelos Revit necesarios para que cada especialidad pueda desarrollar su maqueta virtual.
- Modelos de integrados: son cada uno de los modelos que integran el conjunto de los modelos de diseño de cada especialidad, en este se encuentran los planos entregables y tablas de planificación.
- Modelos Navisworks: son modelos por disciplina generados a partir de cada modelo de diseño y compilados en modelos federados utilizados para detección de interferencias, planificación de obra y otros usos BIM.

En la actualidad todos los diseños del proyecto arquitectura, estructura e instalaciones están hechos en Revit y Navisworks de la empresa Autodesk y los formatos de intercambio de información utilizados según la memoria de modelado son Revit, AutoCAD, Navisworks, Pdf, Excell y FIEBDC<sup>13</sup>, además el modelo se encuentra georeferenciado según el sistema WGS-84<sup>14</sup>, el cual se encuentra especificados en las bases de la licitación.

A continuación en base a la [Memoria de modelado BIM] del proyecto y los modelos Navisworks, se analizó brevemente los niveles de detalle o en otras palabras el nivel de LOD X00 que se encuentra cada una de las instalaciones propuestas en el alcance, parte de éste análisis se puede ver con mayor detalle en el anexo A y el Anexo B. Los modelos que se analizaron corresponden a las instalaciones húmedas del proyecto más la geometría de los modelos completos en Navisworks 3D del proyecto de arquitectura, estructura e instalaciones los cuales se encuentran integrados y ya se encuentran revisados y corregidos.

- Modelo de arquitectura Navisworks: el modelo de arquitectura se encuentra modelado casi en su totalidad y se podría decir que los componentes y familias arquitectónicas

<sup>13</sup> FIEBDC: Formato de Intercambio Estandar de Bases de Datos para la Construcción

<sup>14</sup> WGS: World Geodetic System 84 que significa Sistema Geodésico Mundial 1984

del modelo tienen un nivel de detalle entre LOD 300 y LOD 400(NDI-3 y NDI-4), los cuales ya fueron definidos en la sección 3.1.3.2.2.. En la figura 3.21 podemos ver la representación en Navisworks 3D del modelo de arquitectura.



Figura 3.21: Fachada exterior del modelo de arquitectura del proyecto.  
Fuente: Ministerio de Obras Públicas

- Modelo estructural Navisworks: el modelo cuenta con la posición, geometría 3D y material del proyecto completo, los edificios están casi en su totalidad compuestos por hormigón armado y en algunas zonas de las terrazas están conformadas de acero. A partir de la información vista del proyecto, las familias del modelo estructural cuenta con un nivel de LOD 350 a LOD 400 (NDI-3 a NDI-4). En la figura 3.22 se puede ver una parte del modelo estructural en Navisworks.

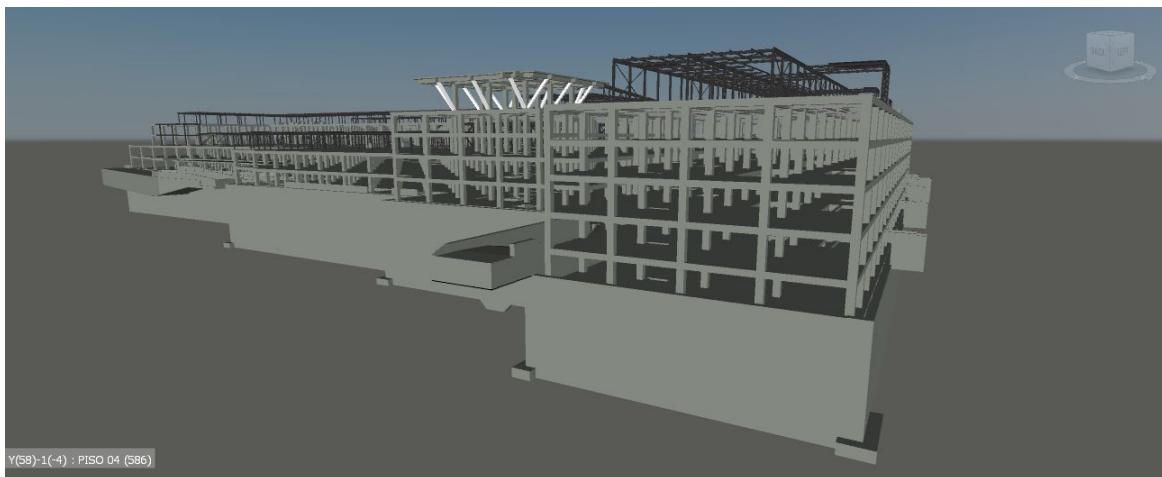


Figura 3.22: Imagen de la estructura completa en hormigón armado y acero del proyecto. Fuente: Ministerio de Obras Públicas

- Modelo de instalaciones Navisworks: las familias de los modelos de instalaciones cuentan con altos niveles de detalles por lo que se puede decir que estas se encuentran entre LOD 300 y LOD 350 (NDI-3 a NDI4), en la figura 3.23 se puede ver una parte de lo

que será las instalaciones del hospital, es muy sencillo apreciar lo caótico que es esta imagen, pero esto es debido a la gran cantidad de instalaciones que contiene el hospital, algunas de las instalaciones están mencionadas en la sección 3.1.3 del estudio.

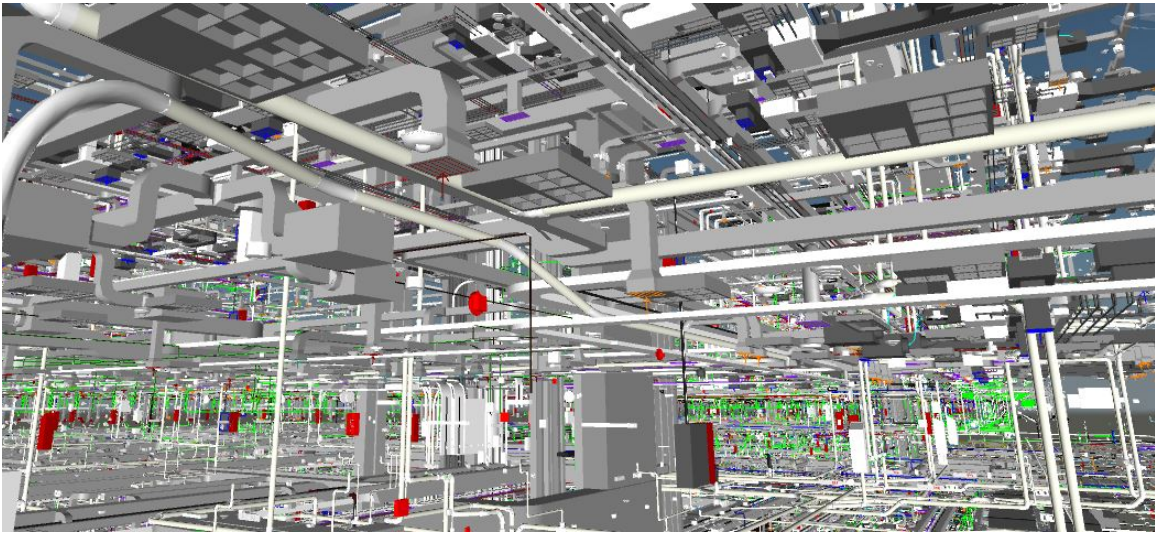


Figura 3.23: Imagen de instalaciones integradas del proyecto. Fuente: Ministerio de Obras Públicas

La figura 1.1 al inicio del informe en la sección alcances 1.5 corresponde a una imagen del modelo Navisworks 3D completo con todos sus componentes integrados y ya coordinados, la cual se obtuvo de los anexos de la memoria de modelado BIM del proyecto definitivo.

En las Bases del proyecto el ministerio exige que se mantenga operativo un modelo BIM durante toda la fase de diseño, construcción y operación del edificio, al que el Inspector Fiscal del MOP debe poder acceder en todo momento, por lo tanto la constructora tiene la obligación de elaborar los modelos as-built del proyecto para que en la fase de operación lo pueda utilizar la concesionaria. Actualmente la constructora GIA dispone de un respaldo de la información en un servidor local y a su vez, el proyecto se encuentra almacenado en una nube Autodesk, BIM360. Como el modelo BIM está en una nube de información desde la etapa de diseño y se sigue utilizando el mismo servidor para la construcción del proyecto, se puede ver que existe continuidad de la información, además al analizar los modelos Navisworks se puede ver que todas las instalaciones tienen información geométrica y propiedades definidas, por lo tanto se puede asumir que existe BIM integrado de calidad, ya que cada uno de los activos contiene su modelo e información y fue coordinado con el resto.

Contar con la información del modelo a través de los diseños y además tener la información respaldada en una nube Autodesk facilita en gran medida los esfuerzos para después hacer un modelo as-built del proyecto al término de la construcción, permitiendo un ahorro de costos y tiempo para la constructora. En las bases de la licitación, la constructora asume la obligación de hacer los modelos as-built y las exigencias por parte del ministerio es que los modelos se encuentren en LOD 500 o NDI 5 para cumplir con las funciones de explotación que se exigen a la concesionaria (CSSO).

### 3.2.3. Propuesta de BAS para el nuevo Hospital del Salvador

El proyecto hospitalario actualmente no tiene considerado una forma de operar el edificio, tampoco ha diseñado el sistema y pensado en los software que se utilizarán para operar el proyecto (CSSO), por lo tanto este informe plantea una forma de iniciar los futuros diseños que la concecionará debe entregar lo antes posible a la constructora. En esta parte del informe se propone una forma de lograr un sistema de automatización de edificios tal que puedan ser aprovechados los modelos y la información BIM, la idea es poder generar un hospital interconectado en todas sus áreas de gestión desde iluminación, seguridad, consumo de agua hasta la seguridad de puertas, etc. Esto se puede lograr a través del concepto definido en la sección 3.1.5 llamado IoT o internet de las cosas, el cual ya se ha logrado para edificios o casas, pero en hospitales el desafío de integración es mucho mayor.

El complejo hospitalario en sus diseños Revit y Navisworks 3D ya cuenta con dibujos o figuras que representan sensores, controladores, cableado de comunicación y actuadores, pero la definición y detalle se encuentra en LOD 100 o LOD 200 (NDI-2 A NDI-3), ya que actualmente no están completos los diseños de estas áreas, cada instalación también contiene partes donde se consideran equipos o sensores, pero esto no es suficiente para considerar las durante la construcción, ni menos considerar inteligente al hospital y aprovechar el estado del arte de la tecnología en su mejor forma. La constructora al término de la construcción del proyecto tiene la obligación de entregar un modelo Revit y Navisworks 3D que contenga el diseño completo del sistema de control centralizado con un nivel de detalle LOD 500 (NDI-5) listo para ser utilizados durante la operación y mantenimiento.

A continuación se propone un modelo a seguir para la automatización del Hospital del Salvador e Instituto Nacional de Geriátría donde se proponen equipos, ubicación de equipos y protocolo de comunicación para las instalaciones húmedas y sanitarias del complejo hospitalario, la principal idea es que el lector pueda entender el concepto y como se eligieron los puntos donde existen sensores y pueda aplicarlo al resto de las instalaciones del establecimiento de la misma forma que se plantea en las redes estudiadas.

El principal requerimiento que existe para la implementación de este tipo de sistemas es que se debe disponer de un alto poder computacional que permita tener un gran nivel de coordinación entre instalaciones, las cuales para este caso son la red de agua potable fría y caliente, red de rociadores, red de tratamiento de aguas, red de alcantarillado, red de aguas lluvias y red contra incendios. Se deberá coordinar cada especialidad con la especialidad eléctrica debido al uso de sensores eléctricos y cableado trenzado para su comunicación.

En la figura 3.24 se puede ver un resumen del análisis hecho a los modelos Navisworks 3D y a los criterios de diseño de especialidad de hospitales 2019 [14] proporcionados por el ministerio de obras públicas, mientras que en el Anexo A se puede ver en detalle cada uno de los dispositivos propuestos y los lugares donde estos deben ser instalados para lograr un mínimo de automatización de las redes mencionadas. A continuación se describe como se analizó cada caso y se propone un protocolo de comunicación, el cual debe ser utilizado en el resto de los sistemas.

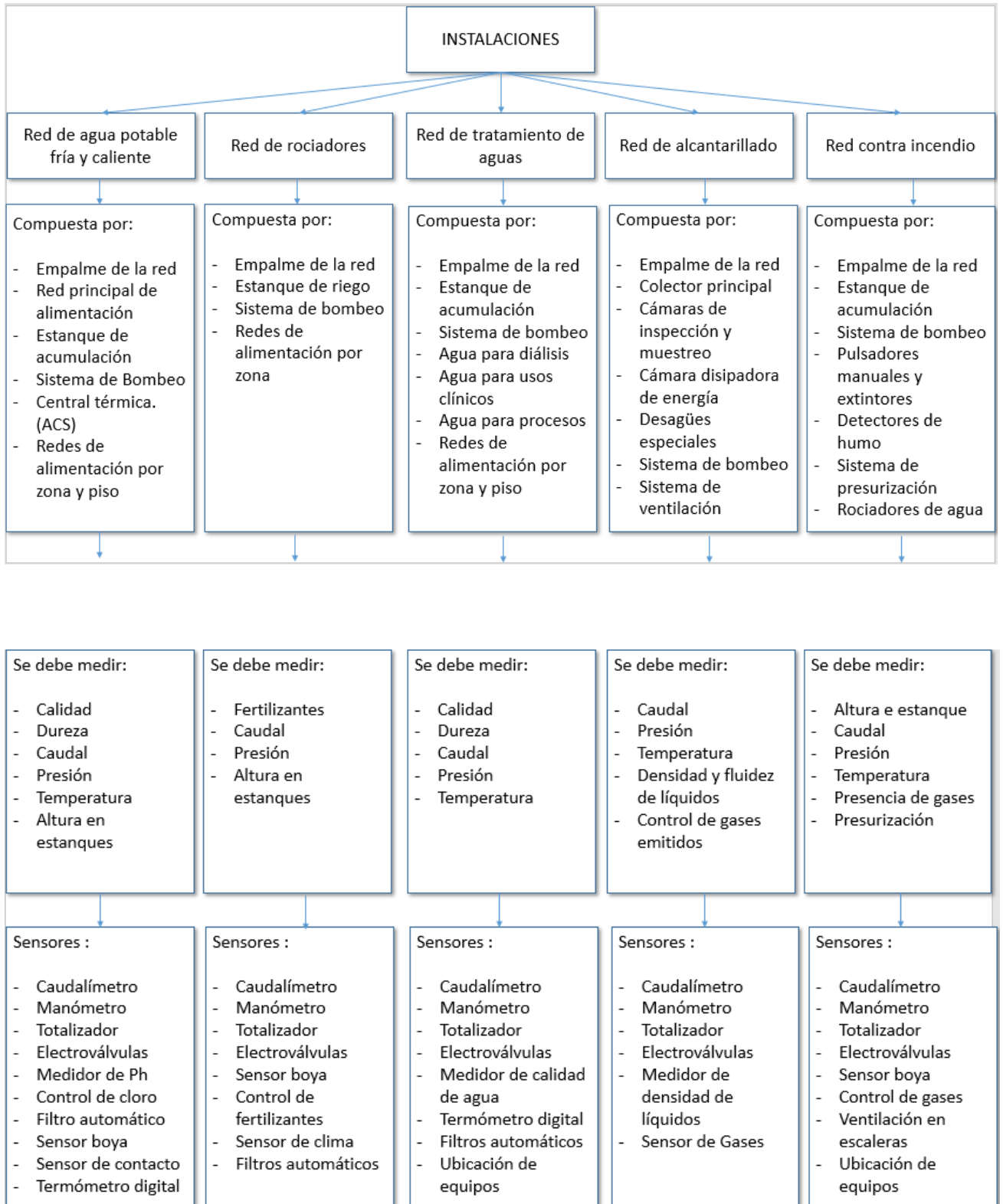


Figura 3.24: Lugares donde ubicar sensores de cada instalación en estudio. Fuente: Propia.

La elección de dichos puntos fue en base a los criterios de diseño para hospitales de cada una de las especialidades en estudio [14], en estos documento se establecen las obligaciones que tiene el mandante (CSSO), estos informes especifican que es lo que debe controlar mediante sensores para lograr la automatización y además obtener información útil para los modelos de operación (datos BMS sección 3.1.6), luego se debe analizar los modelos Navisworks 3D para visualizar lo que sería la futura instalación y así tener una visión mas clara de que lugares realmente se deben considerar sensores o actuadores. Basado en lo anterior en el anexo A se muestra una guía con posibles sensores que se pueden instalar y se explica el porque es importante para operación.

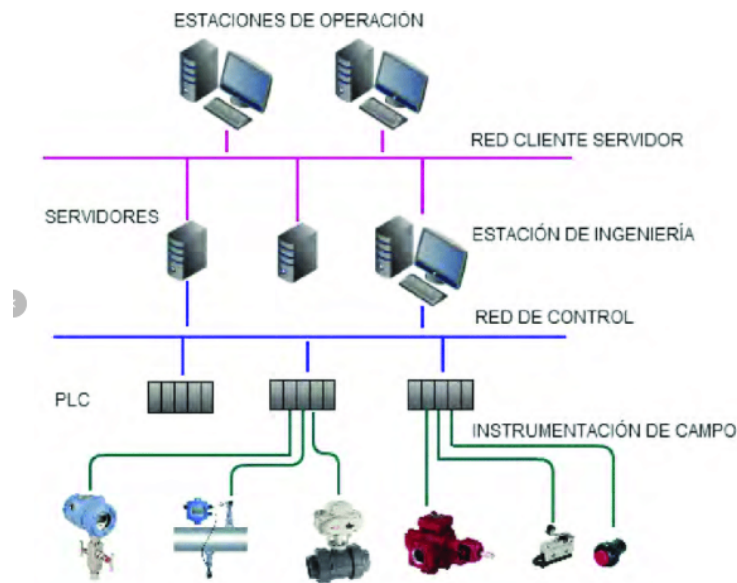


Figura 3.25: Arquitectura de un sistema BAS para la red de agua.  
Fuente: Carlos I. Camargo B (2013).

El sistema BAS del complejo hospitalario del Salvador debe contar con todos los componentes mencionados en la sección 3.1.4.1: sensores, controladores, dispositivos de salida, actuadores y además un protocolo de comunicación KNX, el cual como se mencionó es un protocolo consolidado en el mercado, por ejemplo en Chile la domótica e inmótica viene desde los años noventa, por lo que ya contamos con un mercado lo suficientemente maduro para la realización de estos proyectos. KNX es un protocolo que considera todas las variables de todas las instalaciones de un edificio y estas se integran para ayudar a la gestión del proyecto.

El protocolo de comunicación KNX además ofrece seguridad a través de su software ETS 5 Pro lo que impide el robo de información importante o que personas externas como hackers alteren los procesos normales de las instalaciones. KNX permite la comunicación con otros protocolos de comunicación de dispositivos del mercado para facilitar tareas que se resuelvan por parte sin considerar el lenguaje global del proyecto. Uno de los factores más importantes que convierte KNX en un líder mundial de protocolos de comunicación es que cuenta con una red de fabricantes de dispositivos KNX a nivel mundial lo que facilita la adquisición de sensores, controladores, etc. En este momento existen muchas empresas chilenas que proporcionan los dispositivos y los programas ETS 5.

### 3.2.4. Propuesta de software de operación para el nuevo Hospital del Salvador

Un software de operación ideal logra integrar los dos conceptos más grandes vistos en el desarrollo de éste informe hasta el momento, los cuales son:

- Modelo As-Built: cuya función es muy importante, ya que centraliza y normaliza toda la información del diseño y construcción del proyecto en un modelo que contiene datos de dimensiones, materiales, ubicación de equipos, etc.
- Sistema BAS: nos permite tener una visión de la red en tiempo real gracias a los sensores, además permite la automatización de las instalaciones gracias a la utilización de datos tomados por sensores, los cuales son procesados por un algoritmo y así se da una respuesta mediante los actuadores.

Estos dos componentes son muy importantes para lograr un hospital inteligente, ya que las bases de las inteligencias artificiales son los datos, los cuales deben ser estructurados para su análisis. Cada uno de los conceptos mencionados deben ser gestionados e integrados de tal forma que ambos contribuyan a un modelo de información completo, esto con la finalidad de poder llevar el control absoluto de todo el proyecto y a su vez hacer mas sostenible el edificio permitiendo el ahorro energético.

A continuación se proponen el software de operación de edificios Archibus, el cual fue descrito brevemente en la sección 3.1.5, Archibus es un software de operación que permite la integración de tecnologías BIM, GIS y BMS. En la actualidad contar con un modelo BIM facilita en gran medida el facility management, ya que permite optimizar las labores de operación, mantenimiento, planificación y elaboración de presupuestos.

La tecnología de Integración Connector de ARCHIBUS le posibilita una fácil integración con los sistemas BMS, por ejemplo realizar mediciones automáticas de consumo de agua, gas, electricidad, etc. y analizar este consumo por edificios, plantas, espacios, etc. con lo que se obtendrán modelos de sostenibilidad del proyecto que proporcionarán una visión completa del consumo de energía, recursos, generación de residuos y emisiones de carbono de los edificios.

Archibus es una empresa líder en el área con más de 30 años de experiencia en la gestión de edificios, la cual cuenta con un sin número de servicios profesionales y de asistencia, mientras que el software cuenta con las siguientes funciones:

1. Gestión de la cartera:
  - Gestión de la cartera inmobiliaria
  - Administración de arrendamientos
  - Administración de costes
  - Repercusión y facturación de costes
  - Previsión de cartera
2. Gestión de capital de proyecto:



- Presupuesto de capital
  - Gestión de proyectos
  - Evaluación del estado físico
  - Commissioning
3. Planificación y gestión de espacio:
- Inventario y aprovechamiento del espacio
  - Personal y ocupación
  - Repercusión del espacio
  - Planificación estratégica de espacios
4. Gestión de traslados
5. Gestión de activos:
- Portal de activos
6. Gestión medioambiental y de riesgos:
- Edificio verde
  - Gestión energética
  - Evaluación de la sostenibilidad medioambiental
  - Edificio Limpio
  - Gestión de residuos
  - Ficha de datos de seguridad
  - Seguridad y salud en el trabajo
  - Gestión de conformidad
7. Operaciones en Inmuebles:
- Trabajo a demanda
  - Mantenimiento preventivo
  - Evaluación de la condición de los activos fijos
8. Servicios en el entorno de trabajo:
- Portal de servicios
  - Reservas
  - Hoteling
  - Fleet management
9. Extensiones de tecnología:
- Smart Client para Auto CAD

- Smart Client extensión para Revit
- Extensiones geoespaciales para ESRI
- ARCHIBUS mobile framework
- Performance metric framework

Como se puede apreciar en el punto final ARCHIBUS cuenta con una extensión especial para Revit, esto es muy eficiente dado que los modelos BIM del proyecto hospitalario actualmente estan hechos en Revit y Navisworks 3D, además los modelos as-built también serán dibujados en Revit. La extensión Smart Client permite el acceso inmediato a la información en Revit o COBie, mediante servicios Web.

Archibus permite mejorar la capacidad de análisis y la toma de decisiones al disponer al instante de la información de los inmuebles que están desarrollados por arquitectos, ingenieros, planificadores de espacios, etc. además Archibus puede combinar la información de Revit con el resto de la información corporativa [Walid ThabetaJ 2019]. La extensión proporciona un enlace bidireccional con Revit mediante Servicios Web, lo que posibilita una sencilla y paulatina transición a la tecnología BIM, también admite todos los elementos definidos en BIM, tiene disposición inmediata de datos BIM para los procesos relacionados con la operación y explotación de los edificios y conexión completa a las aplicaciones de ARCHIBUS, con el consecuente incremento de la productividad y fiabilidad de los datos. Todo lo anterior debe venir acompañado por una capacitación del personal que estará a cargo de la operación y explotación del hospital. El cuadro en el Anexo C indica paso a paso como es el intercambio de información entre Revit y Archibus.

Finalmente al mezclar cada uno de los software propuestos a lo largo del informe y utilizando las tecnologías de la información adecuadas se puede convertir al nuevo Hospital del Salvador e Instituto Nacional de Geriátria en un hospital inteligente. En base a esto considerando esta última sección son 3 los puntos importantes que deben coexistir en una nube de información para lograr ser un smart building: un modelo as-built en Revit y Navisworks 3D del proyecto con altos niveles de detalle (LOD 500 o NDI-5), un sistema de automatización BAS controlado por un protocolo de comunicación KNX y un software de operación de proyectos complejos como lo es el caso de ARCHIBUS.

Conseguir cada uno de los componentes para convertir un hospital a inteligente en Chile ya es posible, ya que como se demostró en el informe existen pruebas teóricas y empíricas de las ventajas de la industria 4.0. Pese a esto actualmente en Chile existen dos barreras para la implementación de smart Building en los proyectos:

1. Mayor costo de inversión: existe un bajo número de mandantes que entienden los beneficios de una mayor inversión al inicio del proyecto y los beneficios que tienen las tecnologías de vanguardia en el área de operación y administración de edificios.
2. Bajo conocimiento en el área por parte de profesionales: la baja capacitación de los profesionales del país en temas de utilización de BIM para operación y administración es un tema importante, dado que en la última encuesta BIM se menciona que solo un 3% (figura 2.5) de los profesionales utiliza metodologías BIM para la operación y administración de edificios.

### 3.3. Resultados esperados

A continuación se presentan los resultados esperados al transformar un hospital convencional en uno inteligente y nos concentraremos especialmente en los beneficios esperados para el nuevo Hospital del Salvador e Instituto Nacional de geriatría.

Es importante notar que muchos de los resultados que se esperan al utilizar solo las metodologías BIM fueron mencionadas en el marco teórico (sección 2.1), pero uno de los principales beneficios que tiene BIM durante la fase de explotación de un edificio inteligente es la centralización y normalización de la información geométrica del hospital, además esto permite un ahorro considerable en el tiempo de acceso a información requerida para operación y para la actualización de dicha información. Por ejemplo en el estudio de Asli Akcamete en el 2010 [Asli Akcamete2010] menciona que en la planificación de instalaciones del edificio de la Guardia Costera de EE.UU hubo un 98% de ahorro en tiempo para la creación y actualización de datos de instalaciones gracias a la base de datos BIM que tenía el proyecto.

La cantidad de beneficios que solo se obtiene al considerar un sistema de automatización de edificios es muy amplio y todo va a depender del poder computacional y la inversión inicial hecha, esto debido a que el poder de automatización es directamente proporcional al número de sensores, actuadores y controladores que existen en todo el proyecto. A continuación se presenta las ventajas más importantes al automatizar los activos de un proyecto:

- Puede configurar los sistemas de iluminación y HVAC<sup>15</sup> para operar en un horario que hace que esos sistemas sean más inteligentes y más eficientes. Por ejemplo se analiza los horarios más concurridos y horarios con menos gente para adaptar el sistema a la demanda y flujo de personas del recinto.
- Un edificio automatizado al contener gran variedad de sensores y actuadores permite sincronizarse con el entorno exterior para poder obtener la máxima eficiencia. Esto es más útil durante primavera y verano, debido a que existe más horas de día y por lo tanto menos demanda de iluminación.
- Puede hacer que los diversos componentes e instalaciones dentro de un edificio se coordinen y trabajen juntos para lograr una mayor eficiencia general.
- Puede optimizar el flujo de aire exterior entrante para regular la frescura, la temperatura y la comodidad dentro del edificio.
- Puede indicarle cuándo una unidad de HVAC funciona tanto en calefacción como en refrigeración, lo que ayuda a reducir los costos de los servicios públicos.
- Puede saber cuándo se produce una emergencia, como un incendio, y apagar las instalaciones que podrían poner en peligro a los ocupantes del edificio.
- Puede detectar un problema con una de las instalaciones del edificio, como, por ejemplo, un ascensor que se atasca con las personas que están dentro, y enviar un mensaje instantáneo o un correo electrónico al administrador de la instalación del edificio para

<sup>15</sup> HVAC: Heating, Ventilating and Air Conditioning

alertarlo del problema o por ejemplo detectar una fuga en la red de agua potable y el sistema actúe automáticamente cortando el agua para la zona de la fuga y activando protocolos.

- Puede identificar quién y cuándo alguien está entrando y saliendo de un edificio, puede llevar el control de las zonas de trabajo y analizar tiempos que las personas pasan en distintos sectores.
- Puede encender una cámara para comenzar a grabar cuando tiene lugar la actividad, y enviar una alerta y dirigir el avance de la cámara al equipo de seguridad y al administrador de la instalación.
- Permite la gestión automatizada de cada uno de los accesos y puertas del recinto, en caso de emergencia el sistema debe reconocer que puertas deben permanecer cerradas y cuales abiertas.
- Permite controlar la iluminación (regulación) y sombreado (persianas, toldos, contraventanas) de cada habitación dependiendo de la cantidad de luz natural presente en el edificio según ubicación y hora del día.
- Un edificio automatizado puede monitorear y así controlar el desperdicio en instalaciones tales como plomería y aguas residuales, esto debido a que se puede reducir los residuos a través de eficiencias, un BAS puede dejar una huella ambiental más pequeña.
- Una agencia externa reguladora podría recopilar los datos del BAS para validar realmente el consumo de energía de un edificio. Esto es clave si el propietario del edificio está tratando de lograr LEED o algún otro tipo de certificación o simplemente utilizar dichos datos para el diseño de otro edificio que cumpla con características energéticas similares.

Hasta el momento solo se han mencionado los resultados y beneficios para un hospital que cuenta con modelos BIM y sistemas de automatización, pero al incorporar un software encargado de facility management a la etapa de explotación del complejo hospitalario, el beneficio que se obtiene al integrar todas las tecnologías es mucho mayor haciéndolos más completos y óptimos. En términos generales un Smart Building posee una serie de ventajas sobre los edificios convencionales, que repercuten tanto en la calidad de vida de los usuarios finales, como en la economía y el medio ambiente a nivel global.

El consumo de energía durante la etapa de operación de la estructura es un concepto muy importante, sobretodo cuando el planeta tierra exige a las personas un esfuerzo en lograr la sustentabilidad y así eliminar la huella de carbono para combatir el cambio climático. Como sabemos en la etapa de operación de un edificio tiene el consumo energético más alto con respecto a las otras etapas del ciclo de vida de un edificio, esto se debe a la larga duración de la etapa de explotación (como mínimo en Chile se consideran 50 años). Incorporar un software durante la operación como Archibus que sea capaz de decirnos cuales son las mejores opciones energéticas que tenemos y como optimizar las es fundamental, así se puede trabajar con el nivel de energía más bajo durante toda la etapa de operación generando grandes ahorros de energía a largo plazo.

Poder tener los índices energéticos más bajos durante la operación de un edificio es necesario para fomentar la aparición de edificios verdes en el país y que estos puedan ser certificados bajo alguna norma extranjera como por ejemplo lo es LEED automation<sup>16</sup>. Contar con toda la información BIM centralizada en una nube [Wei Wu 2012] y además que esta contenga la información de sensores que entregan el gasto energético real del edificio facilita las labores para lograr la certificación LEED y así el edificio pueda ser comparado con resto y analizar que puede mejorar desde otro punto de vista (Anexo C).

Una de las principales funciones de los hospitales inteligentes es mejorar el confort del personal a cargo y de los usuarios o pacientes del edificio hospitalario. Las nuevas tecnologías de organización a través de software como ARCHIBUS y sistemas BAS permiten monitorizar en tiempo real las diferentes variables de cada paciente a través de pulseras inteligentes u otro sistema ligado a los teléfonos celulares, esto permite hacer seguimientos del tiempo que puede estar cada usuario al interior del recinto y cual es su trayecto permitiendo un mayor control de cada proceso del paciente.

Un hospital inteligente es un gran beneficio para la salud pública, en un futuro el sistema público chileno deberá contar con aplicaciones para celular con la finalidad de que cada usuario pueda interactuar con el edificio, por ejemplo notificando la ubicación de posibles problemas o simplemente tener un control de la ubicación del usuario para mostrarle automáticamente la forma más rápida de llegar a su destino al interior del hospital debido a que se cuenta con los modelos 3D del proyecto completo.

Los edificios inteligentes tienen la capacidad de mejorar la productividad de sus usuarios y rendimiento de los equipos, esto debido a que se encuentra centralizada la información en una nube virtual con distintos accesos, por ejemplo cada trabajador a cargo de la gestión del recinto debe tener en sus teléfonos celulares la aplicación de archibus mobile framework, la cual puede proporcionar al personal información sobre los equipos y objetos dentro de cada habitación con su respectiva información y número de ellos en bodega. Además al tener la ubicación de pacientes, personal y equipos como por ejemplos camillas de forma centralizada mejoraría considerablemente la comunicación y la logística evitando tiempos muertos.

Un control más inteligente sobre el entorno del edificio a través de sensores y su comunicación con lo que está pasando al interior del edificio es fundamental para mejorar la calidad de atención de cada paciente, reduciendo así las quejas y el tiempo dedicado a resolver quejas. Además un hospital inteligente mejora la ventilación y calidad del aire lo cual tiene un impacto muy positivo en un hospital donde mantener las condiciones adecuadas de ventilación es fundamental, los empleados toman menos días de enfermedades y una mayor comodidad permite realizar sus labores de forma más concentrada aumentando el rendimiento individual del personal. Por ejemplo en el hospital Moorfields en Londres incluye en su estructura localizaciones en tiempo real para lograr una mejor comprensión del paciente y para reducir los tiempos de espera. Además, para hacer que el paciente se sienta cómodo, a través de una app móvil los usuarios pueden controlar la temperatura ambiente, la iluminación o incluso pedir su comida.

<sup>16</sup> LEED: Leadership in Energy and Environmental Design

Finalmente el beneficio económico a corto y largo plazo que entrega un edificio inteligente es uno de los factores más importantes que deben considerarse los mandantes de edificios o la concesionaria CSSO en el caso del Hospital del Salvador. A lo largo del ciclo de vida de una instalación, la mayor fracción de los gastos ocurren durante la fase de operaciones, la cual es la fase más larga del ciclo de vida constituyendo aproximadamente el 60 % del costo total del ciclo de vida del edificio [Asli Akcamete2010]. Generalmente el mantenimiento de los activos se hace de forma reactiva o correctiva el cual se dirige a la reparación de síntomas, pero no a la causa del problema y esto implica que a medida que pasa el tiempo aumenta la frecuencia de falla hasta que ya es más conveniente paralizar y cambiar, esta práctica no es efectiva, ya que alcanza precios tres o cuatro veces más que si se hubiera aplicado un mantenimiento preventivo planificado a la instalación [Asli Akcamete2010].

El software de operación ARCHIBUS permite planificar una serie de mantenimientos preventivos a todos los activos del hospital mencionados en la sección 3.1.3 permitiendo acabar con prácticas como lo es el mantenimiento correctivo. El mantenimiento preventivo se define como la acción de revisión y monitoreo constante de elementos con el fin de prevenir reparaciones posteriores, esto trae como consecuencia un aumento considerable en la vida útil de los equipos y componentes que conforman una red además de reducir costos de operación, ya que se conoce el estado real de la red en todo momento y de esta forma se pueden evitar tiempos muertos o cortes generales de algún suministro. Para que este tipo de mantenimientos sea efectivo se deben realizar una planificación muy detallada desde el momento en que se plantea por primera vez como idea el proyecto, mientras antes se empieza a pensar en el mantenimiento y operación de una estructura mejores son los resultados.

El mantenimiento preventivo trae como consecuencia encontrar y corregir deficiencias antes que estas provoquen un futuro fallo [Oliváres 2015]. Olivarez Sanchez en su informe plantea una serie de ventajas que se logran adquirir al aplicar mantenimiento preventivo las cuales se mencionan a continuación:

- Reducción de fallos y tiempos muertos: debido a que existen menos reparaciones por falla de componentes o equipos, se reducen considerablemente los tiempos donde la red no puede funcionar debido a que se encuentra en reparación, esto es fundamental en estructuras como un hospital donde no puede existir cortes suministros básicos.
- Incremento de la vida útil de instalaciones: las inspecciones y correcciones preventivas sobre equipos y componentes generan que la vida útil de estos sea mucho mayor.
- Reducción de equipos de inventario: la cantidad de objetos en bodega se reduce considerablemente, ya que se maneja de manera clara el estado de la red.
- Control y seguimiento: el seguimiento constante de cada red mediante telemetría y inspección visual permite conocer el estado de la red en todo momento.
- Ahorro económico: debe existir una gran inversión durante el diseño y construcción del proyecto y además al inicio de la operación, pero los ahorros se ven reflejados en el largo plazo, ya que la disminución de reparaciones y cortes de suministro por fallos generan grandes ahorros económicos y grandes beneficios sociales.

A continuación en la figura 3.26 se puede apreciar la diferencia de como se procede en un mantenimiento correctivo y uno preventivo.

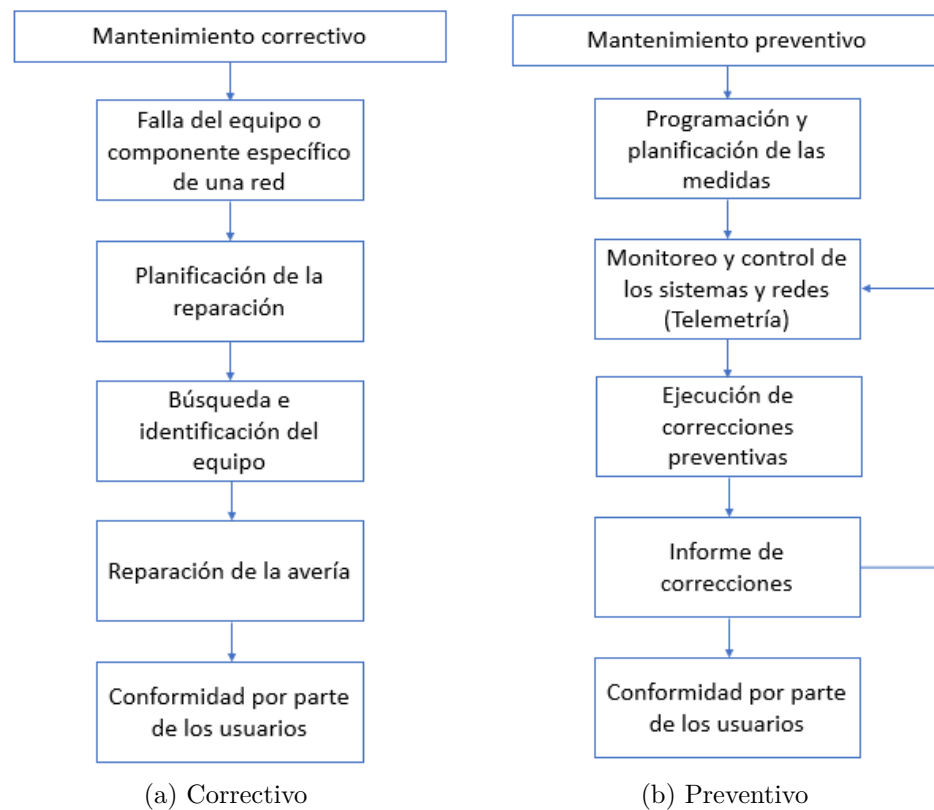


Figura 3.26: Tipos de mantenimiento de activos. Fuente: Propia

En la nube de información los modelos deben estar en LOD 500 O NDI-6 (sección 3.1.3.2.2.), así cada modelo cuenta con información suficiente para efectuar las tareas de mantenimiento preventivo, uno de los puntos importantes que deben considerar estos modelos son las hojas de vida de todos los equipos e instalaciones del proyecto, de esta forma el sistema debe alertar de forma automática y con tiempo que se necesita tener pronto stock en bodega para mantenimientos o cambios.

Un beneficio importante es el control y mantenimiento remoto, por ejemplo a través de sus smartphone o internet los usuarios podrán enviar órdenes de trabajo automáticas al sistema alertando que se necesita supervisión, mantenimiento o reparación de algún equipo, elemento o parte de una red del hospital, esta alerta llegará automáticamente al equipo encargado de mantenimiento y esto podrá a través de la nube verificar el stock en bodega y realizar la tarea optimizando el tiempo y recursos.

La recopilación de datos en tiempo real de cada instalación y la generación de informes automáticos también hacen que la gestión de las instalaciones sea más rentable, esto debido a que se necesita menos personal realizando informes mensuales, o anuales sobre las fallas del sistema, dado que estos son generados automáticamente por un software de operación como por ejemplo ARCHIBUS.

# Capítulo 4

## Conclusiones

La aparición de edificios inteligentes es un fiel reflejo de la cuarta revolución industrial también llamada industria 4.0, este nuevo período se caracteriza por utilizar la inteligencia artificial para cumplir sus metas y mejorar el rendimiento de los procesos. En Chile la puesta en marcha de la ordenanza municipal del plan BIM es un indicador de la necesidad y de la exigencia por parte del estado de incorporar estas nuevas tecnologías en el mercado y así sumarnos a esta nueva revolución. Esta guía fue confeccionada con la finalidad de poder dar a conocer de manera sencilla como se logra la administración inteligente de edificios aplicada al caso del nuevo Hospital del Salvador e Instituto Nacional de Geriátría, en el desarrollo se explica como un hospital puede ser inteligente lo cual se puede sintetizar en tres puntos fundamentales, el primero corresponde a la utilización de modelos 3D BIM y confección del modelo as-built del proyecto finalizado con un nivel de detalle LOD 500 (NDI-5), el segundo punto es que todo edificio inteligente debe incorporar un sistema de automatización BAS que controle e integre todas las instalaciones y activos del hospital (internet de las cosas), en tercer lugar la administración de la información entregada por el modelo BIM as-built y administración de la información entregada por los sensores del BAS (datos BMS) deben estar integradas en un software de operación de edificios inteligente como por ejemplo ARCHIBUS. Cada uno de estos tres componentes es fundamental para poder obtener el máximo beneficio de un hospital inteligente y así obtener los mas altos estandares en administración a nivel mundial, si solo se combinan dos de los tres componentes mencionados los resultados esperados no logran generar el ahorro energético óptimo.

La tecnología cada vez cambia más rápido y hay que lograr adaptarse a los cambios y nuevos conocimientos para poder aplicarlos y así obtener los beneficios que estas entregan, normalmente las personas que estan a la vanguardia de los conocimientos son la comunidad científica y son los mandantes y administradores de edificios muchas veces los que desconocen los beneficios, por esta razón facilitar el traspaso de información a las personas a cargo o inversores es fundamental para masificar este tipo de proyectos en el país y dar inicio a un nuevo período de ciudades inteligentes. Esta guía permite de manera sencilla explicar como son las nuevas tecnologías de la información aplicada a la administración de proyectos complejos y como estas se integran con la finalidad agilizar procesos y disminuir costos durante la etapa de operación de un hospital. Este documento facilita a los lectores entender el estado del arte y adaptarse a lo nuevo entendiendo que las antiguas practicas de construcción y administración de edificios tienen muchos problemas y son muy costosas. Aplicar este tipo de prácticas revolucionarias de administración a edificios públicos de alta complejidad como



lo son los hospitales es fundamental, además el momento para incorporar estas prácticas a nuestro país es el ideal debido a que la ordenanza municipal de plan BIM obliga a las obras públicas a utilizar metodologías BIM en sus proyectos a partir del presente año.

El análisis del caso del nuevo Hospital del Salvador e Instituto Nacional de Geriátrica es muy relevante debido a que pertenece a la nueva generación de hospitales públicos de alta complejidad del país que utiliza metodologías BIM en su construcción y cuenta con todos sus modelos de diseño en Revit y Navisworks 3D con altos niveles de detalles listos como se analizó en la sección 3.2.2 para ser actualizados a un modelo as-built durante la construcción. La utilización de los modelos as-built es fundamental durante la operación para lograr todos los resultados esperados propuestos en la sección anterior (sección 3.3). Dado que el proyecto actualmente se encuentra en construcción y la constructora no diseña la forma que se va operar el hospital se deja propuesto una forma de automatizar procesos en las redes húmedas a través de protocolos de comunicación KNX y se propone el software de operación ARCHIBUS para plantear un camino a seguir de tal forma que la concesionaria del proyecto pueda aplicarlo a todo el edificio y logre convertir el nuevo Hospital del Salvador en un hospital inteligente de excelencia, sustentable, que interactúa con sus usuarios y tiene una fase de operaciones menos costosa, de esta forma se puede convertir a Chile en un líder en estas tecnologías y fomentar el uso de edificios inteligentes en todas las áreas.

EL área privada ya inicio una modernización importante en esta área de operación, por ejemplo la torre titanium cuenta con tecnología muy amigable con el medio ambiente, otro ejemplo es el edificio Beauchef poniente, el cual pertenece a la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad Chile y dentro de sus principales atributos presenta un ahorro de 39% en el consumo energético, monitoreo de CO2, implementación de control lumínico y térmico y 45% de reducción de consumo de agua potable. Es importante que el área de edificación pública incorpore las nuevas tecnologías y así en Chile exista una mayor demanda y desarrollo de las empresas que proporcionan tecnologías habilitadoras, se estima que en los siguientes años los negocios que presentarán un mayor crecimiento gracias a los edificios inteligentes son:

- Empresas que ofrezcan servicios de nubes y big data.
- Empresas que ofrezcan servicio IoT.
- Empresas que ofrezcan dispositivos móviles.
- Empresas que ofrezcan servicio de sharing economy.
- Empresas que ofrezcan servicio de modelación 3D.
- Empresas que ofrezcan servicio de ciberseguridad.

Otro punto importante que entrega esta guía es fomentar el uso de edificios con administración inteligente en Chile, esto abre la puerta para poder crear empresas solo dedicadas a la administración de edificios inteligentes y así convertir a Chile en un líder de la región en esta área y poder exportar sus servicios a otras partes de nuestro continente.

Las metodologías BIM ayudan a que las construcciones durante sus procesos tengan con mucho menos pérdidas en términos de tiempo y materiales, esto se denomina Lean Construction,

la incorporación de la administración inteligentes a hospitales incorpora un nuevo concepto denominado lean administration el cual se refiere a muchos de los resultados esperados mencionados en la sección anterior especialmente a fomentar que no existan tiempos muertos de operación, despilfarro de elementos o objetos a través del mantenimiento preventivo y una buena organización de los elementos disponible en bodega.

A pesar de que lo expuesto en el informe apunta a edificios que tienen un planeamiento de su etapa de operación desde la fase de diseño, la guía si puede ser aplicada a infraestructura pública ya existente, claramente esto requiere una inversión en una etapa no prevista, pero que le dara mayor vida útil a la estructura y mayor calidad de atención a los usuarios de los establecimientos, por ejemplo se podría intentar generar edificios inteligentes en todos los CESFAM y hospitales públicos pequeños. Existen empresas dedicadas a generar modelos 3D de edificios ya existentes y sensores que pueden ser intalados sin mucha intervención en las redes ya existentes.

Finalmente dado que este informe se concentra en proponer una red inmótica de solo las instalaciones húmedas, se deja como tema propuesto estudiar el resto de las instalaciones del nuevo Hospital del Salvador mencionados en la sección 3.1.3 y así basado en los modelos 3D ya existentes y en los criterios de diseño de hospitales 2020 generar una red de sensores que permitan tener información importante estructurada del resto del edificio.

# Bibliografía

- [Jaime Soto 2017] Jaime Soto Munoz, 2017. *La implementación de Building Information Modeling (BIM) para edificios existentes en Chile.*
- [Loyola 2019] Mauricio Loyola, 2019. *Encuesta Nacional BIM.*
- [Saldías 2010] Rodrigo Saldías Silva, 2010. *Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM.*
- [Albarello 2019] Alex Albarello Forero, 2019. *BIM para el Mantenimiento: Más planeación menos sobrecostos.*
- [Volk 2014] Stengel and Schultmann, 2014. *Building Information Modeling for Existing Building - Literature Review And Future News.*
- [Rodriguez 2019] Raul Rodriguez Siclari, 2019. *Mantenimiento de un recinto hospitalario durante su ciclo de vida.*
- [BIM Forum Chile 2017] BIM forum Chile, CChC, Tanny Aguilera, 2017. *Guía inicial para implementar BIM en las organizaciones.*
- [PAS 1192-2] PAS 1192-2, National BIM Standard, 2013. *Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modeling.*
- [G202-2013] G202-2013, American Institute of architects, 2013. *Protocolo de Building Information Modeling.*
- [Akponanabofa 2016] Akponanabofa Henry oti, 2016. *The utilization of BMS in BIM for Facility Management.*
- [Anoop 2011] Anoop Sattenini, Salman Azhar, and Joseph Thuston, 2011. *Preparing a building information model for facility maintenance and management.*
- [Asli Akcamete2010] A. Akcamete, B Akinci, J H Garrett, 2010. *Potential utilization of building information models for planning maintenance activities.*
- [Memoria de modelado BIM] Luis González Sterling, 2017. *Hospital del salvador e Instituto Nacional de Geriatría, Memoria de modelamiento BIM, Proyecto definitivo.*
- [14] Ministerio de Obras Públicas, 2020. *Criterios de Diseño de Especialidad de Hospitales.*
- [Walid ThabetaJ 2019] Walid Thabeta, Dan Millerb, 2019. *Linking Revit Facility Life-Cycle Data to ARCHIBUS – A Case Study of an Academic Institution.*
- [Wei Wu 2012] Wei Wu, Ph.D.,R.R.A Issa, Ph.D., 2012. *Leveraring cloud-BIM for LEED AUTOMATION.*

- [Oliváres 2015] Alberto Olivares Sánchez, 2015. *Mantenimiento integral de edificios e instalaciones: Análisis y medidas de mejora*.
- [18] Fraunhofer Chile Research Foundation, FCR, 2015. *Edificios inteligentes en Chile, diagnósticos, oportunidades, conocimientos y tecnologías para la edificación*.
- [Benjamín Ahumada 2016] Benjamín Ahumada, Manuel Patricio Lagos, 2016 Daniela Sugg Herrera *Sobregasto Operacional y Deuda del Sistema Nacional de Servicios de Salud*
- [Carolina Soto 2019] Carolina Soto, Sebastián Manríquez, Paulina Godoy, 2019 *Estándar BIM para proyectos públicos, Intercambio de Información entre Solicitantes y Proveedores*

# Anexo A

## Propuesta de sensores en instalaciones de agua potable

A continuación se muestra la descripción de posibles lugares donde instalar sensores, con su respectiva ubicación en los modelos navisworks y además se muestran imágenes de los modelos para facilitar la visualización del nivel de detalle de las redes de agua potable fría y caliente, rociadores, tratamiento de aguas, alcantarillado, aguas lluvias y red contra incendio. Los puntos elegidos para sensores y actuadores fueron obtenidos de los criterios de diseño de hospitales 2020. En la figura A.1 se puede apreciar el diseño en navisworks 3D de toda la red de aguas del proyecto Hospital del Salvador e Instituto Nacional de Geriátria.

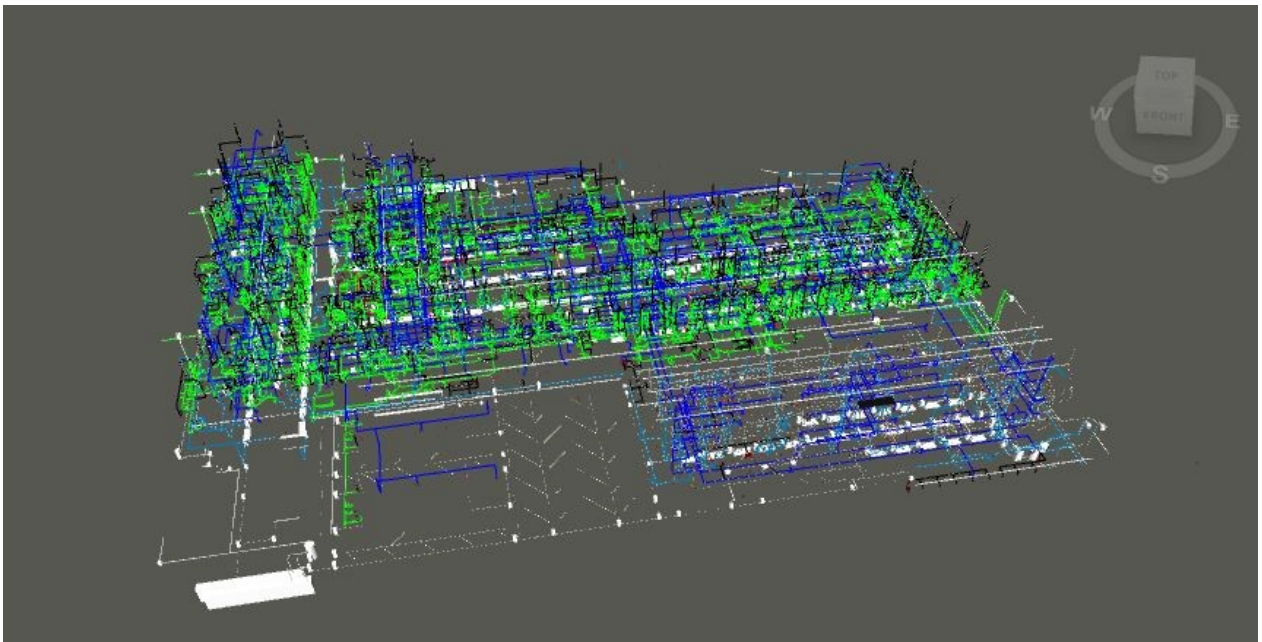


Figura A.1: Red completa de instalaciones húmedas. Fuente: Ministerio de Obras Públicas

## A.1. Red de agua potable fría y caliente

**Fuente:** la información presentada a continuación se obtuvo de los criterios de diseño de especialidad agua potable fría y caliente en hospitales (2020) y de los planos y modelos Navisworks 3D de diseños del Hospital del Salvador e Instituto Nacional de Geriatría (2017).

**Normativa:** el proyecto debe cumplir en todos los aspectos técnicos con la NCh 2485 y el RIDAA, donde se establecen los requisitos básicos que se deben cumplir en el diseño y cálculo de las instalaciones domiciliarias de agua potable domiciliarias.

En la figura A.2 y A.3 se puede ver una representación 3D de la red de agua potable fría y caliente respectivamente, podemos ver claramente la complejidad de la red y se puede visualizar que la cantidad de sensores necesarios es muy grande.

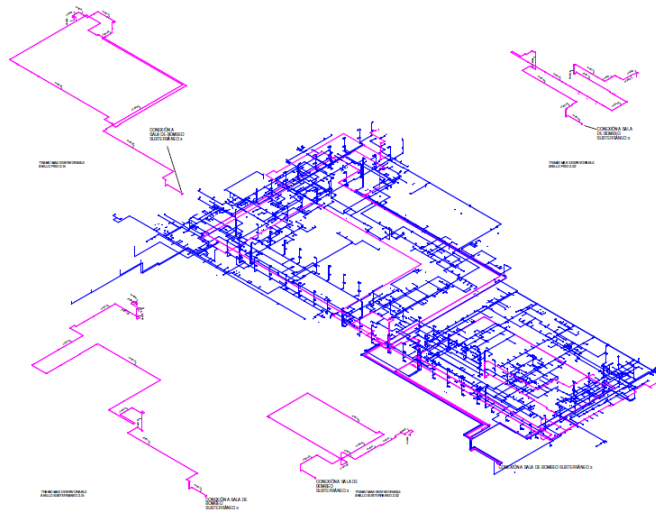


Figura A.2: Red de agua potable fría. Fuente: Ministerio de Obras Públicas

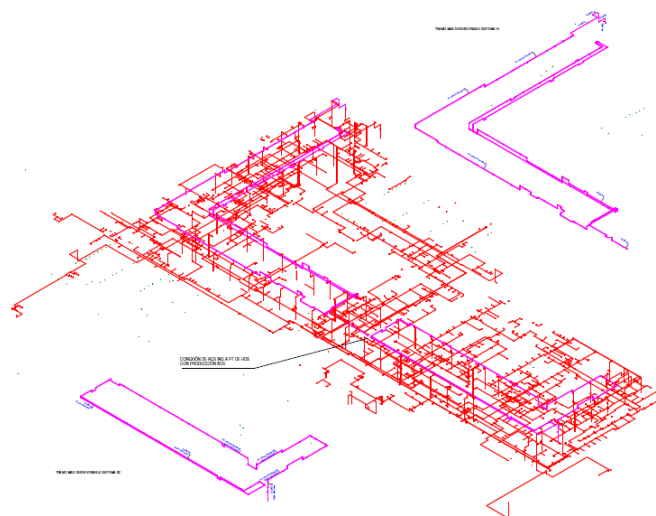


Figura A.3: Red de agua potable caliente. Fuente: Ministerio de Obras Públicas

A continuación se proponen los siguientes puntos de control donde deben existir sensores para poder llevar un monitoreo de la red, dichos puntos son los mínimos que se deben instalar para poder lograr un control eficiente y generar una operación mediante telemetría de la instalación.

### A.A.1. Empalme agua potable a la matriz de red pública

Corresponde al punto donde se conecta la red de agua potable del hospital a la red de agua pública, en este tramo es importante medir caudal y presión. El caudal se medirá utilizando un caudalímetro o flujómetro digital con totalizador para llevar la cuenta del total de agua que ingresa al recinto, tener este registro es fundamental para verificar constantemente la cantidad de agua que ingresa a la estructura, con este dato se pueden hacer balances con todos los puntos de salidas y verificar que no existan fugas o pérdidas importantes en tramos intermedios.

Por ejemplo el Hospital el Salvador cuenta con 3 conexiones (figura A.4) a la matriz de la red pública las cuales deberán llevar un control de las variables mencionadas.

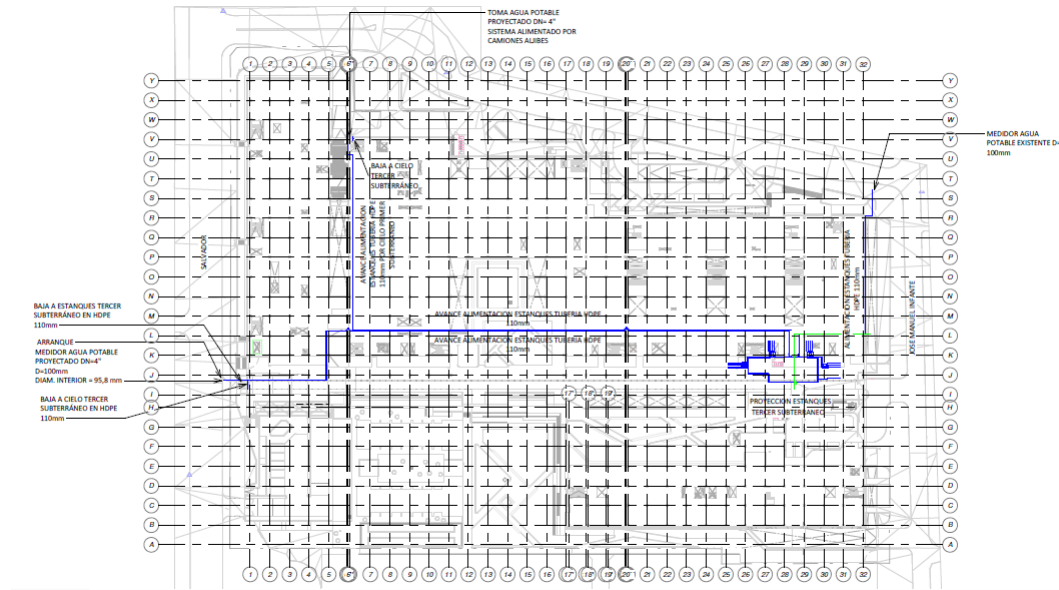


Figura A.4: Plano 2D del empalme a la red pública. Fuente: Ministerio de Obras Públicas

#### A.A.1.1. Sensores

- Caudalímetro digital: un flujómetro o caudalímetro es un instrumento que se usa para medir el caudal lineal, no lineal, de masa o volumétrico de un líquido o gas.

Se propone el contador de consumo de agua del fabricante Arcus-EDS el cual se compone de un contador de agua (calibrado opcional) modelo “Modularis WZ-M” del fabricante NZR y de un acoplador de Bus KNX, con búfer de memoria de datos alimentado por batería auxiliar para lectura y supervisión a distancia.



Figura A.5: Caudalímetro digital Arcus - EDS . Fuente: [www.arcus-eds.de](http://www.arcus-eds.de)

- Manómetro digital: es un dispositivo que se encarga de medir la presión de un fluido, este dispositivo se debe instalar en todos los medidores, de esta manera se puede llevar un control de la presión de agua en la tubería. Los manómetros cumplen su función en tuberías que tienen flujo constante de agua las cuales cuentan con presiones conocidas y estudiadas, pequeñas variaciones entre dos puntos nos puede indicar la existencia de fugas en el sistema en lugares específicos.

Se propone el manómetro inteligente KOBOLD, el cual cuenta con conexión por cableado y protocolos de comunicación compatible con KNX.



Figura A.6: Manómetro inteligente KOBOLD. Fuente: [www.kobold.com](http://www.kobold.com)

- Electroválvula: válvula que, por medio de un electroimán, regula el caudal de un líquido, la principal razón de utilizar electroválvulas es su poder de automatización y control a distancia, lo que facilita el cierre en caso de emergencias. Es importante considerar que las electroválvulas deben estar ubicadas en todas las redes y en todas las partes que sea necesario un control automático del sistema. Las electroválvulas deben actuar de forma automática frente a problemas de gran magnitud, cerrándose o abriéndose de manera instantánea solo en caso de facilitar las labores de mantenimiento de la instalación o ahorro de agua.



Se propone una electroválvula solenoide motorizada de la empresa CALEFFI.



Figura A.7: Electroválvula CALEFFI. Fuente: [www.vendomotica.com](http://www.vendomotica.com)

## A.A.2. Redes de alimentación o matrices

Las redes de alimentación entregan agua desde el empalme hacia los estanques de acumulación y debe existir una tubería independiente para cada uno de los tres compartimientos de los depósitos de acumulación. Es necesario tener un control del caudal y la presión en cada una de las tuberías.

### A.A.2.1. Sensores

- Medidor del nivel de cloro y pH: instrumento encargado de medir el cloro libre, cloro total y Ph de soluciones acuosas.
- Sistema de cloración automático: se encarga de mantener un valor adecuado de cloro libre en el estanque de acumulación a través de la bomba dosificadora de cloro. En ocasiones es importante un control adicional del pH del agua, ya que en aquellos casos en los que el pH sea elevado la cloración no es eficaz siendo necesaria la adición de ácido clorhídrico para mantener el agua en el valor de pH adecuado tanto para su consumo como para su desinfección con cloro.



Figura A.8: Equipo de cloración automático. Fuente: [www.yalitech.cl](http://www.yalitech.cl)

- Filtros de limpieza automática: consiste en un elemento que retiene partículas sólidas y este puede ser limpiado de forma automatizada utilizando agua a contracorriente.

### A.A.3. Estanque de acumulación

Es necesario medir la altura máxima y mínima de agua del estanque para asegurar un nivel mínimo de reserva en cada compartimiento del estanque, por lo tanto el estanque debe contar con un sensor boya o sensor de nivel que mida altura de agua del estanque. Otro factor importante en los estanques es la calidad del agua en aspectos de pH, dureza, cloro, flour, sólidos disueltos, para esto es necesario un clorímetro y equipos de medición de calidad de agua. Cada compartimiento debe tener una escotillas de acceso al estanque, esta debe ser monitoreada con un sensor de contacto que indique cuando la puerta se encuentre abierta y además cada compartimiento debe tener un sistema de desagüe con un flujómetro que avise cuando exista actividad.

#### A.A.3.1. Sensores

- Medidor de la calidad del agua: El medidor de agua se utiliza para llevar el control de los parámetros más importantes del agua que aseguran su potabilidad, como por ejemplo el pH, conductividad, salinidad, oxígeno y temperatura.

Se propone el Wasmote Smart water capaz de tomar las medidas de pH, oxígeno, temperatura, conductividad, oxidación y turbidez.

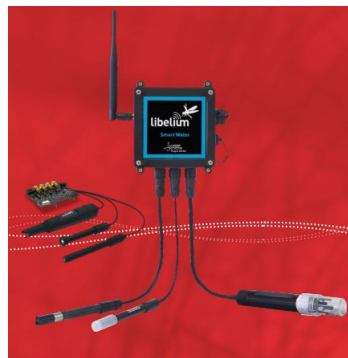


Figura A.9: Wasmote Smart Water. Fuente: [www.libelium.com](http://www.libelium.com)

- Sensor boya, nivel o similar: Permite conocer la altura o nivel del líquido en un estanque de acumulación en base a la presión.



Figura A.10: Sensor de nivel de estanque de agua. Fuente: [www.vendomotica.com](http://www.vendomotica.com)

- Sensor de contacto: Se emplean para detectar el final del recorrido o la posición límite de componentes mecánicos, por ejemplo saber cuando una puerta, ventana o la escotilla de un estanque se abre, el sensor debe alertar automáticamente si existen puerdas abiertas que por normativa del edificio deben permanecer cerradas o simplemente alertar que las escotillas de los estanques se encuentran abiertas durante procesos de mantenimiento.

#### A.A.4. Sistema de bombeo hidráulico

Se deberá considerar la instalación de una planta elevadora de agua potable, para alimentar el suministro de todo el hospital. Cada una de las bombas deberá contar con su ficha técnica en la nube de información, dicha nube también debe contener el modelo 3D de la estructura e instalaciones y así el control de la renovación de equipos y mantenimiento de forma visual. Cada una de las bombas debe ser inteligentes y contará con una electroválvula de retención y una electroválvula de corte en aspiración e impulsión, y todas estas electroválvulas serán de acero inoxidable.

El sistema de bombeo con velocidad variable deberá contar como mínimo con los siguientes puntos:

- En el tablero de control y comando, se incorporarán variadores de frecuencia y controladores lógicos programables (PLC).
- La presión de salida será leída constantemente por un sensor de alta precisión, y transmitida al sistema de control (manómetro)
- El equipo debe incorporar todas las protecciones y alarmas necesarias para un funcionamiento de alta confiabilidad.
- El equipo debe entregar una presión constante, independiente del caudal demandado.
- Las bombas deben rotar su funcionamiento en forma automática.

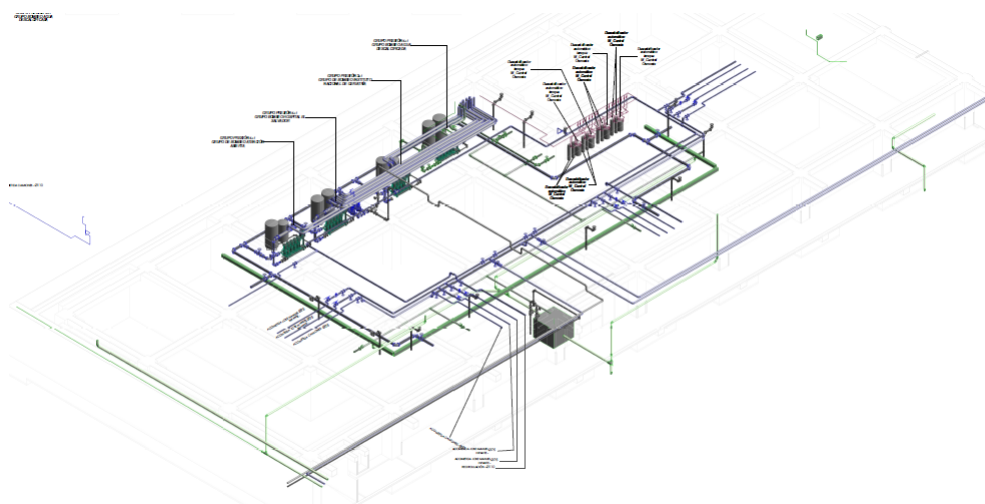


Figura A.11: Modelo de la sala de bombas. Fuente: Ministerio de Obras Públicas

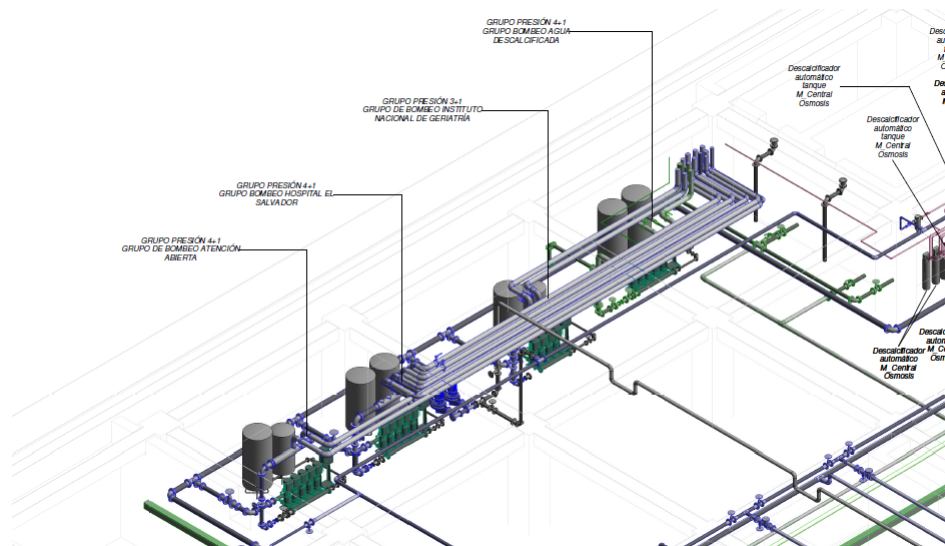


Figura A.12: Zoom del modelo de la sala de bombas. Fuente: Ministerio de Obras Públicas

#### A.A.4.1. Sensores

- Automatización del sistema de bombas: Este proceso es fundamental, ya que es el encargado de controlar la circulación de agua en todo el edificio. El principal beneficio de la automatización es que las bombas puedan ser controladas y rotadas por un sistema inteligente, el cual permite verificar constantemente el funcionamiento analizando cual equipo presenta fallas y cual debe funcionar, el sistema también debe alertar al personal a través de los modelos 3D y la nube sobre algun inconveniente.

Se propone un controlador lógico programable Nexo, dispositivo que debe estar presente en todas las zonas donde existan bombas y actuadores, el cual cumple la función de automatizar el proceso a través de un código elaborado que cumple con los requisitos del sistema.



Figura A.13: Programador lógico programable NEXO. Fuente: [www.zonaindustrial.cl](http://www.zonaindustrial.cl)

## A.A.5. Central térmica para producción de agua caliente

En el diseño de las instalaciones de agua caliente deben aplicarse condiciones similares a las de las redes de agua fría en cuanto a materialidad, velocidad del agua, presiones e instalación de la red y para el agua que ingresará a la red de agua caliente, se debe instalar una planta de tratamiento ablandadora de agua (anexo A.3). Para la sectorización de la red de agua caliente se consideran los mismos criterios establecidos para la red de agua fría y además es importante llevar un control de la temperatura de salida del agua y la temperatura que percibe el usuario.

La disposición de las matrices de alimentación hacia la edificación se organizará en forma de un anillo horizontal que circunde el edificio, así como también debe disponer de montantes, los que también se organizarán en forma de anillo considerando una sectorización adecuada, de tal forma que un corte del suministro no afecte a todo el establecimiento, por lo que se debe instalar electroválvulas de corte por piso, sectores, recintos y cada artefacto. Debe existir una red de retorno y deberán existir bombas de recirculación y válvulas de retención

### A.A.5.1. Sensores

- Temperatura de salida del agua: Se deben utilizar termómetros digitales para tubería en la salida de los calentadores de agua, en en la parte inicial y final de cada anillo de la red de agua caliente.

Se propone el termómetro digital Topsail, el cual funciona por cableado, de forma inalámbrica y permite comunicación con el protocolo de KNX.



Figura A.14: Termómetro digital Topsail. Fuente: [www.spanish.alibaba.com](http://www.spanish.alibaba.com)

## **A.A.6. Redes de alimentación de consumo**

La red de alimentación de agua potable fría y caliente del edificio deberá estar compuesta por anillos o cuarteles por piso alimentados de varios montantes para no cortar el suministro en caso de falla, se deberá medir flujo y presión en cada uno de los anillos para automatizar respuestas de corte de suministro por sector en caso de perder alguna tubería, a continuación se presenta una serie de puntos donde es importante una llave de paso (electroválvula).

- En la salida del manifold de impulsión de las bombas.
- En el anillo o cuartel exterior al edificio. (válvula reguladora de presión para ambas redes). El anillo de distribución es la canalización principal del circuito de agua fría.
- En cada derivación a cada surtidor desde el anillo o cuartel exterior del edificio.
- Al pie de cada montante.
- En cada piso, a ubicar antes de la derivación hacia el anillo.
- En cada alimentación al cuartel o anillo de cada piso.
- En el recorrido del anillo de cada piso, dispuestas de modo de sectorizar áreas o grupos de artefactos.
- En la alimentación a sectores, recintos o grupos de artefactos.
- En cada recinto.
- En cada artefacto.

Debe existir un medidor digital con marcadores ubicados en las derivaciones del suministro a cada recinto, deberán estar conectados al sistema de control centralizado para llevar un registro desde la sala de control de la cantidad de agua utilizada por cada zona del edificio.

Para poder lograr esto es necesario incorporar en cada piso, anillo y cuartel, incluso hasta en cada habitación un control de la presión y caudal del agua con los sensores mencionados previamente. Utilizar modelos BIM, que incorporen modelos 3D a través de los servidores y nubes de información es la principal ventaja que se tiene para la visualización de los problemas que puedan ser detectados por los sensores, esto puede ser representado a través de alertas con el lugar específico donde se encuentre funcionando la red fuera del rango programado.

## A.2. Red de rociadores

**Fuente:** la información presentada a continuación se obtuvo de los criterios de diseño de especialidad de riego de hospitales (2020) y de los planos y modelos de diseños del Hospital del Salvador e Instituto Nacional de Geriátría (2017).

**Normativa:** la red de riego se basa principalmente en el sensor de clima, el cual ajustará automáticamente los tiempos de ejecución en base a los datos de evotranspiración local, estaciones del año y datos climatológicos como la radiación solar, lluvia o temperaturas extremas.

Los planos entregados de la red de riego por el ministerio de obras públicas del Hospital del Salvador e Instituto Nacional de Geriátría solo incorpora un modelo en Auto CAD figura A.15, este plano indica con líneas rojas la posición de cada una de las redes de rociadores de cada zona. Podemos asumir que el modelo solo se encuentra en LOD 100 (NDI-2) dado la poca información geométrica que este incorpora.

Tal como se mencionó en el punto anterior es fundamental contar con modelos 3D y no solo planos en Auto CAD para poder obtener un óptimo manejo de la red de rociadores durante el proceso de operación, esto debido a que los modelos 3D nos proporcionan información de la ubicación, tamaño, altura y materiales existentes de la red completa, lo cuales son datos útiles para su operación.

A continuación considerando lo anterior se menciona según los criterios de diseños los puntos importantes a controlar de una red de rociadores.

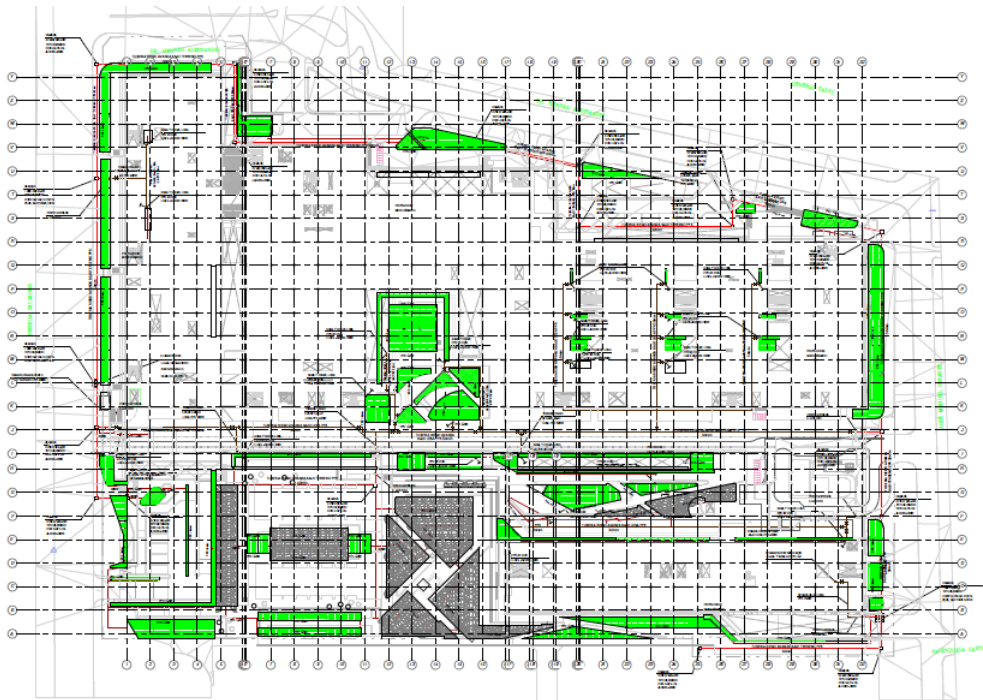


Figura A.15: Red de rociadores del proyecto hospitalario completo.  
Fuente: Ministerio de Obras Públicas

## A.B.1. Estanque de agua para riego

El estanque debe contar con capacidad suficiente para regar todas las zonas verdes del proyecto, el estanque debe tener un control de la concentración de fertilizante, alguicida en caso de contar con un pozo profundo y deberá dosificar de forma automática. La cámara deberá contar con desagües de emergencia y control del nivel del agua en el estanque.

Los sensores utilizados son los mismo que se deben considerar en una red de agua potable como por ejemplo electroválvulas, manómetros, caudalímetros y equipos PLC para control de bombas y de las tuberías que se encargan de regular el agua que ingresa a cada estanque. Considerando dichos sensores, además se deben agregar los siguientes sensores que son importantes para que una red de riego funcione de manera óptima y permita su operación a través de un modelo de operación 3D de la forma más segura posible.

### A.B.1.1. Sensores

- Programador de riego: es importante incorporar en una red de riego un sensor de clima que este en sincronización con la red, el cual nos permita variar el horario de riego según temporada y según las condiciones climáticas, por ejemplo si hay lluvia o no.
- Dosificador: los dosificador de nutrientes, abonos son importantes y deben funcionar de manera automática, dentro del estanque deben existir sensores que nos indican si las concentraciones de nutrientes son las adecuadas para un correcto crecimiento de la vegetación del edificio.

## A.B.2. Control del clima

De igual manera que en la red de agua potable debe existir un control de cada electrobomba y electroválvula de cada zona mediante mecanismos PLC, esto es para que la red de riego funcione de manera autónoma y permita tener un control por zona en caso de emergencia. Además cada bomba deberá contar con un sistema de filtración automático.

### A.B.2.1. Sensores

- Sensor de clima: Este sensor tiene dos funciones principales, la primera es notificar lluvia, en caso de que se encuentre lloviendo el sensor debe enviar una señal de alerta de forma autónoma que no permita el riego y la segunda función es medir la radiación solar y temperatura al momento de riego y notificar si la temperatura es adecuada para no generar problemas en la vegetación.



Figura A.16: Sensor para lluvia y viento. Fuente: [www.vendomotica.com](http://www.vendomotica.com)





Figura A.17: Sensor de radiación solar y viento. Fuente: [www.vendomotica.com](http://www.vendomotica.com)

Ambos sensores son fundamentales para automatizar mediante un sistema lógico programable que controle las bombas, el sistema debe indicar cuando regar y si los factores de radiación, temperatura, viento y lluvia son los adecuados para que el riego se inicie.

### A.3. Red de tratamiento de aguas

**Fuente:** la información presentada a continuación se obtuvo de los criterios de diseño de especialidad de tratamiento de aguas de hospitales (2020) y de los planos y modelos de diseños del Hospital del Salvador e Instituto Nacional de Geriatria (2017).

**Normativa:** en muchos procesos clínicos se requiere de uso de agua, cuya calidad dependerá del tipo de aplicación, existen actualmente diversas normas que regulan la calidad de agua según el uso que se le dé, normas para usos farmacéuticos, normas en procesos de diálisis, en procesos de esterilización y características especiales para aplicaciones más puntuales. Estas darán las directrices para el desarrollo del proyecto de manera que se cumplan estándares internacionales con tecnología de vanguardia.

A continuación en la figura A.18 se muestra el modelo 3D creado en Navisworks 3D de la red completa de tratamiento de aguas del Hospital del Salvador e Instituto nacional de Geriatria. En la imagen se puede ver claramente que existe un grupo importantes de equipos dibujados en el modelo, los cuales corresponden al sistema de tratamiento de aguas y esto indica que el nivel de detalle de la red es alto y útil para ser usado al momento de la construcción y operación.

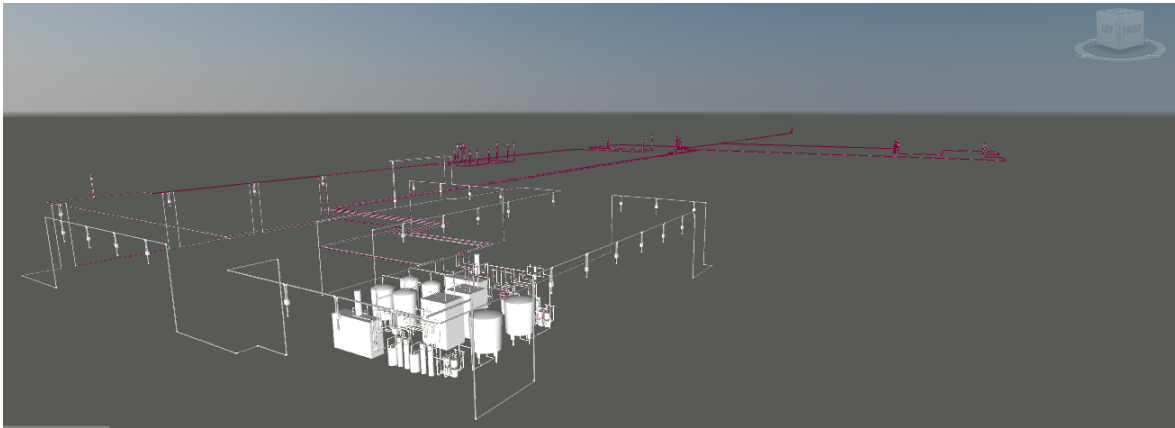


Figura A.18: Red de tratamiento de aguas. Fuente: Ministerio de Obras Públicas

En la figura A.19 podemos ver un zoom de los equipos en del modelo Navisworks 3D de la red de tratamiento, los equipos en el modelo cuentan con la información de volumen, nombre y ubicación. El conjunto de equipos esta compuesto principalmente por estanques de acumulación, equipo para osmosis, equipos de filtración automáticos y equipos de desmineralización.

La importancia de estos modelos es que permite la visualización de cada equipo, si acompañamos estos modelos con sensores que nos muestren el estado de cada equipo se puede generar un modelo de operación que entregue información en tiempo real de cada equipo y cada componente de la red permitiendo encontrar fallas con su ubicación exacta y de manera preventiva.

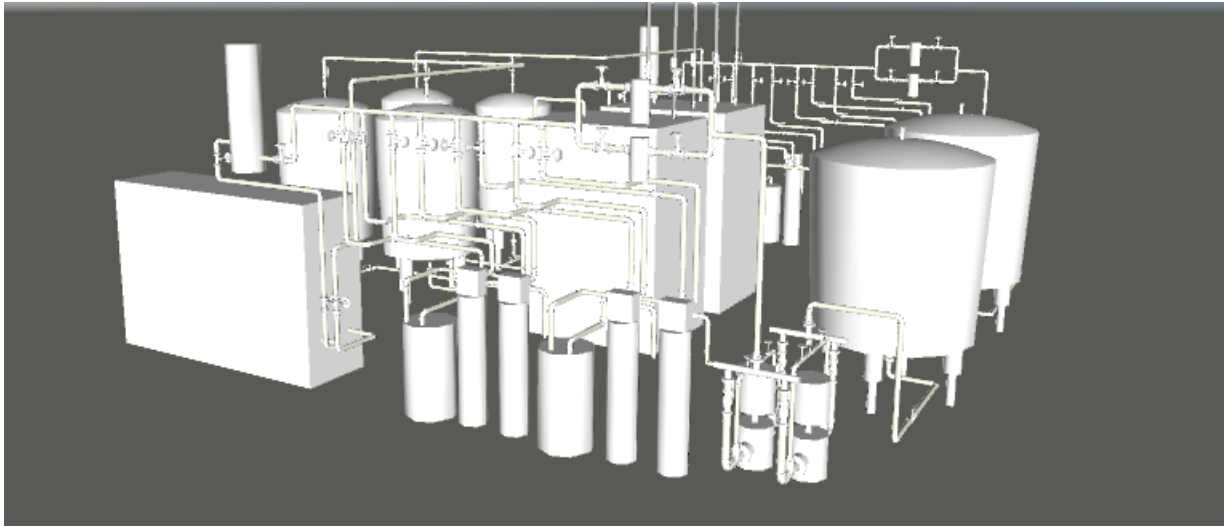


Figura A.19: Zoom de la red de tratamiento de aguas. Fuente: Ministerio de Obras Públicas

### **A.C.1. Agua para sala de diálisis**

Ajustándose al decreto N°45 de diálisis el agua empleada deberá tener una conductividad máxima de  $5 \frac{us}{cm}$  ó  $20 \frac{us}{cm}$  cuando la dureza de entrada sea  $>180$  [ppm] de  $CaCO_3$  expresado como dureza total. Además de cumplir con parámetros físico químicos, bacteriológicos y endotoxinas. Por lo tanto se deberá contar con un sensor que verifique que el agua que sale del estanque es desmineralizada y sirve para el uso de diálisis en pacientes y el reusos de filtros de hemodiálisis.

### **A.C.2. Agua para usos clínicos**

Se deberá contar con un sensor que verifique la calidad del agua tratada para la alimentación de equipos de laboratorio, esterilización, farmacia, endoscopía y Sedile. El agua para estas funciones debe ser blanda, desmineralizada y ultra pura.

### **A.C.3. agua para procesos**

Se deberá contar con un sensor que verifique la calidad del agua blanda utilizada en lavandería, casino, lavachatas y central de alimentación.

#### **A.C.3.1. Sensores**

- Filtro clarificado de agua: los filtros clarificador deben ser montado como el primer equipo de limpieza de agua, elimina arena, limo, arcilla o partículas sólidas presente en el agua.
- Descalcificador: corresponde principalmente a agua que se le han quitado los iones de calcio (Ca) o magnesio (Mg).



Figura A.20: Descalcificador CILIT super data. Fuente: <http://www.cilit.com>

- Filtro declorador automático: este equipo se encarga principalmente de eliminar el exceso de cloro, los cloro derivados y la materia orgánica residual presente en el agua.



Figura A.21: Declorador CILIT. Fuente: <http://www.cilit.com>

- Desmineralizador: corresponde al proceso donde se eliminan mediante diferentes técnicas los minerales disueltos en el agua, esta agua no es apropiada para el consumo humano, pero si para distintas operaciones.



Figura A.22: Equipo para desmineralizar el agua. Fuente: <http://www.cilit.com>

- Desinfección: debido a que el agua ya llega desinfectada a través del sistema de abastecimiento público, se instala un equipo para desinfección solo como un sistema de seguridad adicional.



Figura A.23: Equipo de desinfección CILIT. Fuente: <http://www.cilit.com>

- Osmosis: consiste en pasar el agua a través de una membrana semipermeable, dejando pasar solo agua pura quitando impurezas y bacterias.



Figura A.24: Equipo para osmosis. Fuente: Catálogo BWT 2011.

#### **A.C.4. Sistema de bombeo, redes de alimentación, zonificación**

Al igual que en las redes mencionadas en los dos puntos anteriores es necesario contar con caudalímetros, manómetros y electroválvulas en cada punto donde exista una zona distinta o donde existan anillos y cuarteles, esto para poder llevar el control del agua que ingresa a cada recinto y poder identificar fallas en el sistema de forma preventiva. El sistema de bombeo es el mismo explicado en en la red de agua potable fría y caliente.

## A.4. Red de alcantarillado y aguas lluvias

**Fuente:** criterios de diseño de especialidad alcantarillado de hospitales (2020) y de los planos y modelos de diseños del Hospital del Salvador e Intituto Nacional de Geriatria (2017).

**Normativa:** el sistema de alcantarillado de aguas servidas para la edificación de los hospitales debe cumplir en todos los aspectos técnicos con la NCh 3371-2017, donde se establecen los requisitos básicos que se deben cumplir en el diseño y cálculo de las instalaciones domiciliarias de alcantarillado de aguas servidas domésticas que son evacuadas gravitacionalmente.

Los desagües de los equipos de la instalación de aire acondicionado como: manejadoras, enfriadoras, calderas, purgadores y otros se conectarán a esta red. Dichos desagües verterán el agua de forma libre (sin conectar directamente a la red) o mediante el uso de tuberías de plástico transparente. De esta forma, posibles fugas en estos elementos serán fácilmente detectadas.

Toda maquinaria que contenga bandeja de condensados, deberá conectar el desagüe de la misma al sistema de aguas servidas, a través del sifón, evitando de esta forma la entrada de olores a las estancias.

El sistema de alcantarillado esta compuesto por dos redes: la red de aguas lluvias encargada de transportar el agua de lluvias al suelo y a los colectores para evitar inundaciones en el interior de la estructura y la red de aguas servidas la cual se encarga de transportar los desechos producidos por equipos y personal al interior del edificio.

A continuación en la figura A.25 y A.26 se muestra un modelo 3D en Navisworks 3D de la red de alcantarillado y de la red de aguas lluvias respectivamente.

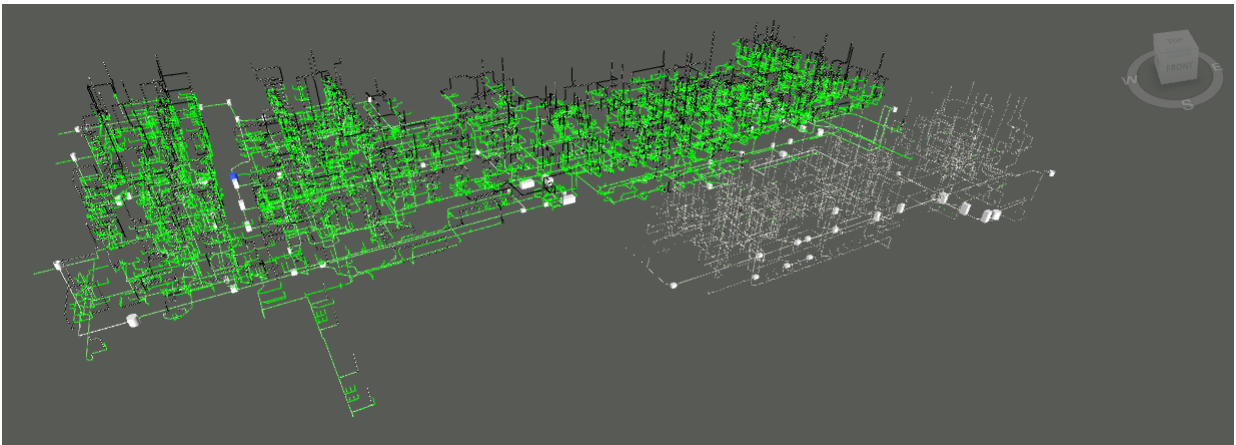


Figura A.25: Red completa de instalaciones de alcantarillado. Fuente: Ministerio de Obras Públicas

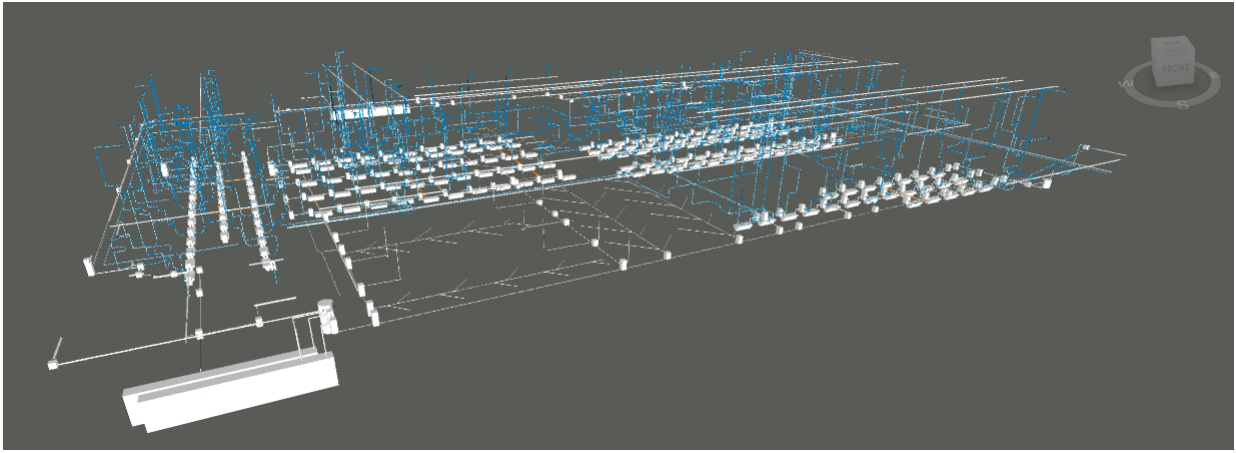


Figura A.26: Red completa de instalaciones de aguas lluvias. Fuente: Ministerio de Obras Públicas

### A.D.1. Colector principal

El colector o cámara principal reúne aguas servidas, aguas lluvias y aguas de equipos de todo el edificio de las distintas zonas, para su posterior transporte al colector público. En este colector es necesario llevar un control de la altura de llenado del estanque y densidad del líquido para evitar que existan tuberías tapadas y se generen presiones indeseadas o incluso el mismo colapso de la red.

### A.D.2. Cámara de inspección y muestreo

Cada zonificación del proyecto deberá tener una cámara de inspección donde se puedan analizar las condiciones del fluido previo a su depósito en el colector principal. En estas cámaras se debe medir fluidez, temperatura, presión, y gases. A continuación en la figura A.27 los cilindros blancos a la izquierda de la figura corresponden a cámaras de inspección en el modelo de navisworks 3D de la red de aguas servidas del Hospital del Salvador, estos modelos permiten la visualización de cada una de las cámaras y además los modelos permiten concentrar información para su mantenimiento, y su análisis de forma visual lo que facilita en gran medida estas tareas.

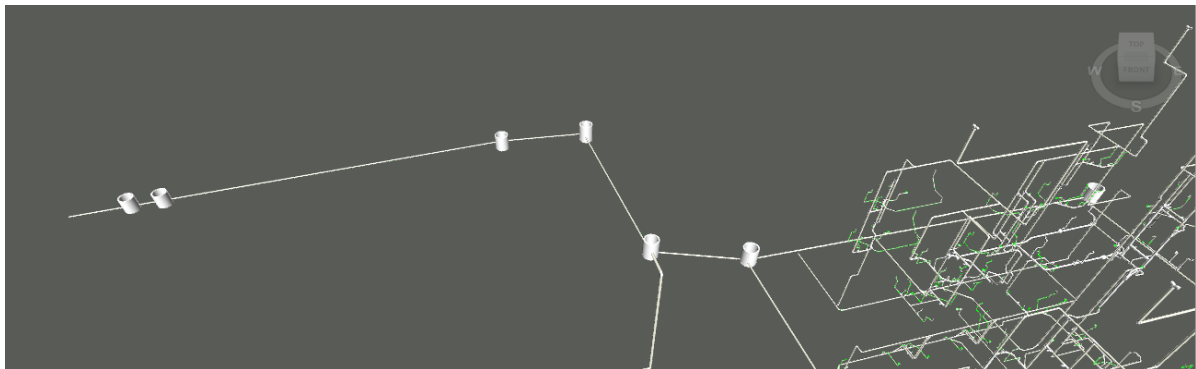


Figura A.27: Los cilindros blancos corresponden a las cámaras de inspección de la red. Fuente: Ministerio de Obras Públicas



### A.D.2.1. Sensores

Para poder llevar un control de la altura de los estanques colectores y de cada cámara se puede utilizar un sensor boya o de nivel y caudalímetros, que ya fueron definidos en la red de agua potable fría y caliente. También es necesario llevar un control de la densidad del líquido que se acumula en el colector y su temperatura para evitar que este se tape.

- Sensor de densidad de líquidos: sensor encargado de medir la resistencia a fluir del líquido, el cual esta encargado de enviar señales de alerta si es que el líquido presenta altos contenidos de sólidos que impidan el libre traslado del fluido a la cámara principal.



Figura A.28: Sensor de densidad de líquidos L-DENS 4X7. Fuente: <http://www.anamingroup.cl>

- Sensores para el control de gases: en cada cámara y en el colector principal se debe instalar un sensor que permita analizar la concentración de los gases, estos gases son tóxicos y en grandes concentraciones pueden funcionar incluso hasta como combustible. Conocer volumen de cada gas presente en la cámara puede servir para poder controlar de forma segura la red y también darle un nuevo uso al conocer las cantidades emitidas de cada gas y de esta forma aumentar la autosuficiencia y sustentabilidad de la estructura.

Se propone la línea de detectores Xgard detectores fijos para gases inflamables y flamgard plus para la detección de gases tóxicos, estos sensores son de la empresa PCE ibérica.



- Xgard Tipo 1: Detector de gas tóxico y oxígeno intrínsecamente seguro
- Xgard Tipo 2: Detector antideflagrante de gas tóxico y oxígeno
- Xgard Tipo 3: Detector antideflagrante de gas inflamable
- Xgard Tipo 4: Detector antideflagrante de gas inflamable a alta temperatura
- Xgard Tipo 5: Detector antideflagrante de gas inflamable con salida de 4-20 mA
- Xgard Tipo 6: Detector antideflagrante de gas de tipo de conductividad térmica
- Xsafe: Detector de gas inflamable de área segura

Figura A.29: Sensor para el control de gases inflamables. Fuente: [www.pce-iberica.es](http://www.pce-iberica.es)



Figura A.30: Sensor para el control de gases tóxicos. Fuente: www.pce-iberica.es

### A.D.3. Desagües especiales

Para descargas de alta temperatura como por ejemplo la central de esterilización y central de alimentación (autoclaves). Se deberá tener un control en distintas partes de la temperatura, antes y después de cámaras enfriadoras.

#### A.D.3.1. Sensores

Se deberá llevar un control de la cantidad de agua que pasa por cada uno de estos sistemas con un caudalímetro y con un termómetro digital, se deberá llevar el control de la temperatura en cada una de las zonas donde existan autoclaves, esto se debe hacer con la finalidad de no permitir el ingreso de agua a la red de alcantarillado en caso de que la temperatura del líquido sea extremadamente alta, lo cual puede generar problemas en las tuberías de la red debido a que estas son de plástico.

### A.D.4. Sistema de bombeo bajo cota 0

El traslado de aguas servidas de zonas subterráneas deberá ser efectuado por bombas, donde se deberá tener un control por electroválvulas para cada zona, presión del fluido y caudal.

#### A.D.4.1. Sensores

Este sistema de bombeo debe funcionar de la misma manera que el de la red de agua potable fría y caliente a través de un sistema lógico programable (figura A.13) que permita la automatización completa del sistema. Las bombas deben ser especiales y contar con un nivel de tecnología adecuado para el traslado de agua con sólidos.

### A.D.5. Sistemas de ventilación

Los sistemas de ventilación son los que permiten eliminar gases de la red de alcantarillado por lo que es importante considerar un flujómetro que indique que si existe circulación de gases por estos. También es importante medir la presión y hacer un control de calidad de los gases, ya que permitir la liberación de este tipo de gases es fundamental para prevenir

explosiones o escapes a zonas donde exista personal o enfermos debido a que pueden generar problemas para la salud y la paralización de zonas enteras.

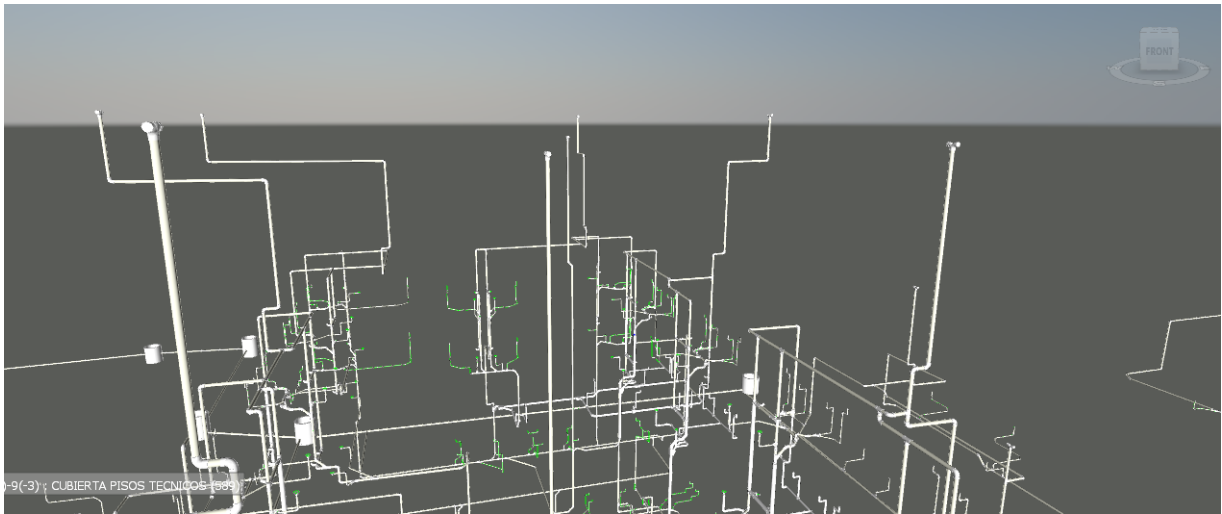


Figura A.31: Sistema de ventilación de la red de alcantarillado. Fuente: Ministerio de Obras Públicas

#### A.D.5.1. Sensores

- Caudalímetro de gases: se debe instalar un flujómetro o caudalímetro de aire en cada salida de gases de la red de alcantarillo. Esto se debe hacer para poder tener un control que cada tubería se encuentra en funcionamiento y no existen obstrucciones en la ventilación.

#### A.D.6. Dren zanja para aguas lluvias

Corresponden a zanjas en el suelo rellenas con material drenante adecuadamente y compactada. En el interior de cada zanja existen filtros que permiten retener sustancia para que el agua ingrese al subsuelo de la forma más pura posible.

A continuación, en la figura A.32 se muestra un zoom de la figura A.26, en la cual podemos ver que los dren zanjas (volumenes blancos en la base del modelo) se encuentran modelados en Navisworks 3D, por lo tanto también es importantes considerarlas dentro de las zonas que se pueden estar visualizando en tiempo real.

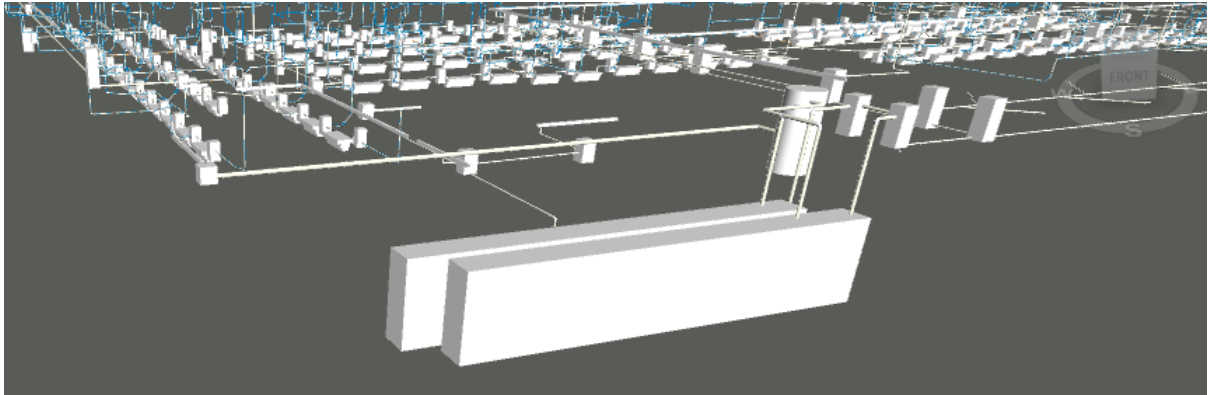


Figura A.32: Dren zana red de aguas lluvias. Fuente: Ministerio de Obras Públicas

#### **A.D.6.1. Sensores**

En una zanja dren es importante llevar la contabilidad de el caudal que ingresa a las zanjas mediante tuberías de desagües, para verificar que las tuberías se encuentran funcionando con normalidad. También importante para poder llevar un estimativo de la vida útil de las zanjas de drenaje, se debe contar con la ubicación por GPS de las zanjas y en el modelo para futuros mantenimientos.

## A.5. Red contra incendios

**Fuente:** criterios de diseño de especialidad Red contra incendio de hospitales (2020) y de los planos y modelos de diseños del Hospital del Salvador e Intituto Nacional de Geriatria (2017).

**Normativa:** la red de incendio tiene la prioridad de emergencia llamada “defensa en sitio”, esto significa que no se requerirá la evacuación del edificio en casos de emergencias de incendio. Todos los componentes deben estar en base a la normativa internacional NFPA 101 cuyas siglas significan en español Asociación Nacional de Protección Contra el Fuego.

La siguiente red de sensores tiene el objetivo de detectar una situación de incendio en su etapa más incipiente, anunciando un estado de alarma para alertar a los ocupantes del lugar, permitiendo el inicio de los planes de emergencia preestablecidos y respuestas adecuadas a tales señales y también la actuación de los sistemas de supresión automática considerados, de este modo se evita la propagación del incendio y se minimizan las consecuencias y riesgos asociados; todo de acuerdo con los estándares y normas aplicables.

El sistema deberá contar con energía de emergencia por lo que debe considerarse dentro del circuito crítico del complejo, alimentado por el grupo de generadores de emergencia en caso de falta de suministro de energía eléctrica normal.

En caso de que llegase a fallar la fuente primaria, deberá entrar en operación de forma automática una alimentación secundaria. La fuente secundaria debe ser capaz de respaldar el sistema en condiciones de no alarma (stand-by) por un mínimo de 24 horas.

A continuación, en la figura A.33 se muestra un modelo completo en Navisworks 3D de la red contra incendios del Hospital del Salvador e Instituto Nacional de Geriatria. Este tipo de modelo permite detectar de forma visual la alerta de incendio identificando de manera instantánea el foco de fuego.

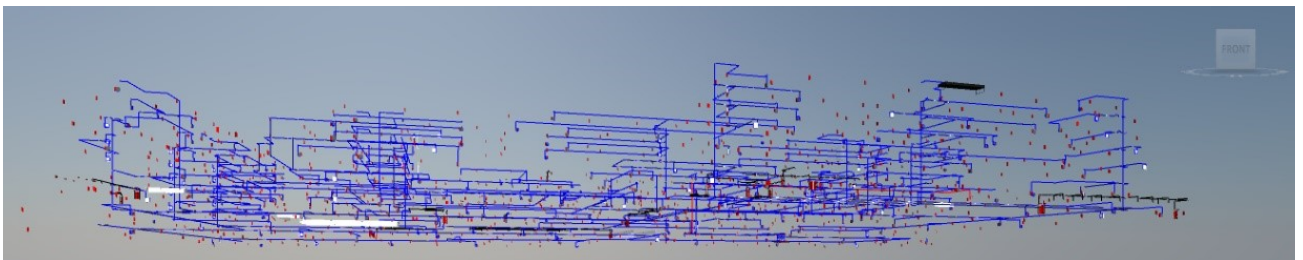


Figura A.33: Red completa de instalaciones contra incendio. Fuente: Ministerio de Obras Públicas

## A.E.1. Detectores de humo y temperatura fotoeléctricos

Encargados de detectar presencia de humo en el aire en caso de incendio. Los detectores deben emitir una señal acústica de alerta y otra que especifique el área afectada en pantalla. Cobertura máxima de cada cobertor es equivalente a  $9.1[m] \times 9.1 [m] = 84 [m^2]$ .

Los detectores de temperatura deben ser del tipo combinado con temperatura fija y termovelocimétrico, si la temperatura de la zona supera cierto umbral de manera brusca se debe generar una señal de alerta. Los detectores de humo y temperatura deben contar con ubicación GPS y ubicación exacta en el plano para facilitar las labores de mantenimiento.

A continuación, la figura A.34 corresponde a un zoom de la figura A.33, se puede apreciar claramente que se encuentra dibujados todos los detectores de humo y temperatura en todo el proyecto hospitalario, los cuales corresponden a los puntos blancos que se aprecian en toda la imagen.

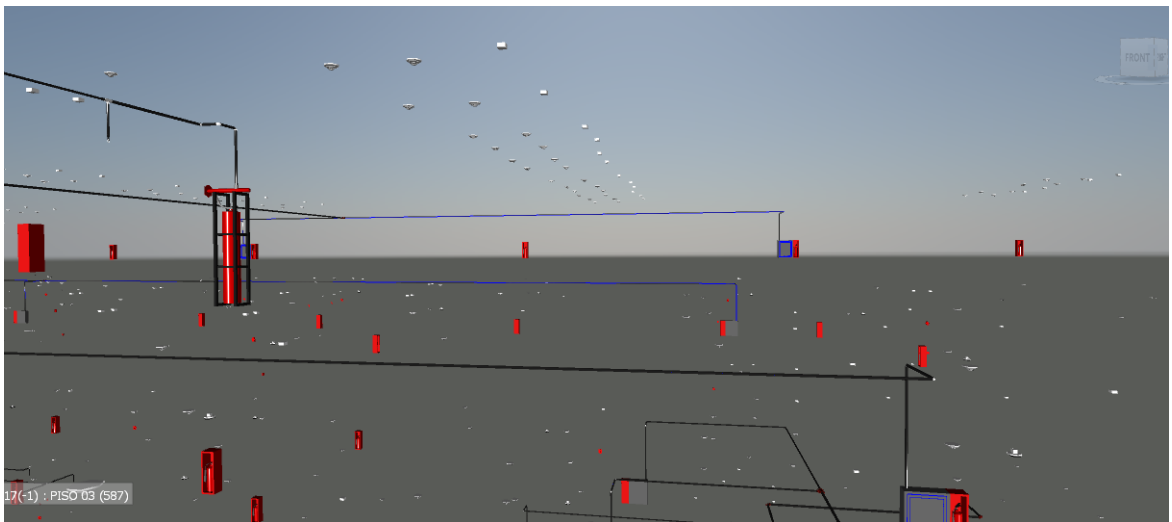


Figura A.34: Detectores de humo modelados en la red contra incendios.  
Fuente: Ministerio de Obras Públicas

### A.E.1.1. Sensores

- Sensor de humo: encargado de detectar presencia de humo mediante la ionización del aire al interior del detector.
- Sensor de temperatura o sensor térmico: dispositivo encargado de enviar una señal de alerta cuando la energía térmica supere umbrales establecidos de manera muy rápida.



Figura A.35: Detector de humo y temperatura SALVA KNX BASIC.  
Fuente:www.vendomotica.com

## A.E.2. Extintores manuales y carro extintor

Contar con un buen estado de todos los extintores de la red mejora considerablemente una respuesta eficiente frente a un incendio, debido a esto es importante conocer el estado y posición de cada extintor en el plano, además cada extintor deberá contener un manómetro digital con sensor inalámbrico que envíe su estado y entregue señal de alerta si este debe ser rellenado.

A continuación, en la figura A.36 y A.37 se muestra un zoom del de la figura A.33 donde se pueden ver claramente que el modelo 3D cuenta con todos los extintores dibujados, esto puede ayudar de forma visual para saber que extintor debe ser rellenado o reemplazado porque presenta problemas

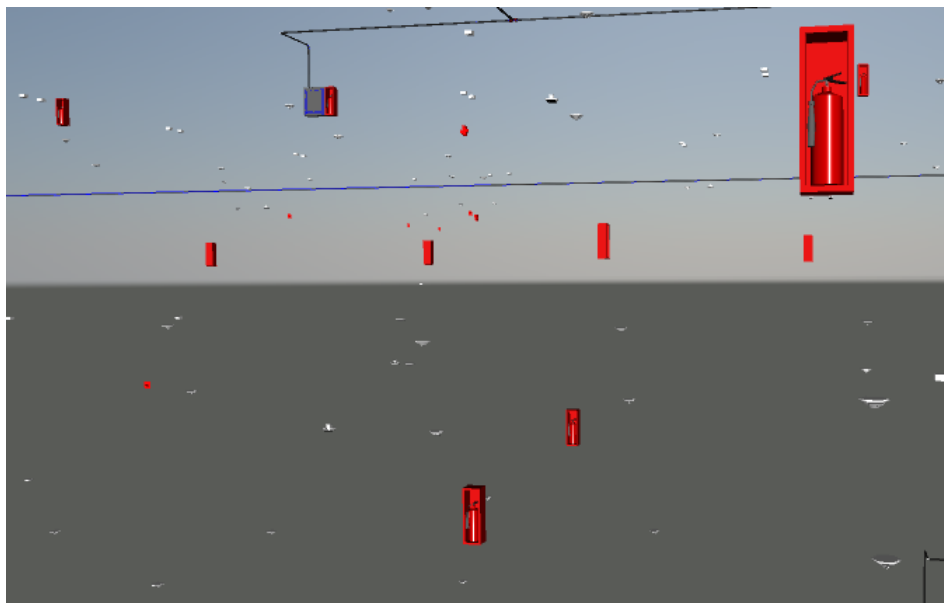


Figura A.36: Extintores manuales modelados en la red de incendio.  
Fuente: Ministerio de Obras Públicas

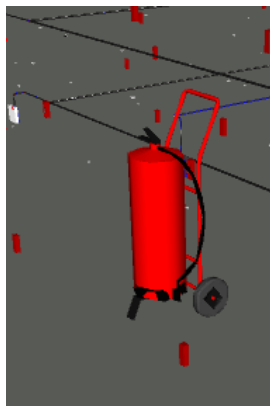


Figura A.37: Carro extintor modelado en Navisworks 3D. Fuente: Ministerio de Obras Públicas

### A.E.2.1. Sensores

Es importante que cada extintor cuente con manómetro digital con la posibilidad de transmitir la información de forma inalámbrica al servidor que cuente con el control de la red, ya que de esta manera se puede manejar la información de mejor manera para el mantenimiento de extintores.

Por ejemplo en la figura A.38 se muestra que la línea de manómetros Emerson cuenta con sincronización inalámbrica (IoT), permitiendo obtener visión en tiempo real de los datos tomados por el dispositivo.



Figura A.38: Manómetro de conexión inalámbrica. Fuente: [www.emerson.com](http://www.emerson.com)



### A.E.3. Rociadores de agua y tanque de espumas

Son los dispositivos encargados de eliminar llamas en caso de incendio generando la aislación de la llama, es importante conocer la posición y el funcionamiento de cada equipo para facilitar las labores de mantenimiento.

Los rociadores se deben encontrar en cada pasillo del edificio y las zonas más importantes, mientras que los estanques de espuma se encuentran en la zona superior de la estructura .

A continuación, en la figura A.39 se pueden ver claramente cilindros blancos en las cimas de las escaleras, los cuales corresponden a los estanques de espuma en el modelo Navisworks 3D y además cuentan con sus dimensiones, características y ubicación en el plano.

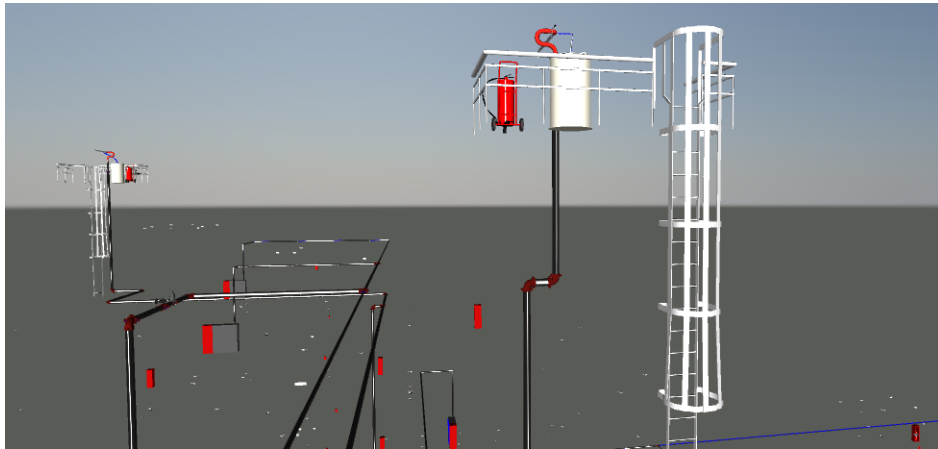


Figura A.39: Estanques de espuma modelados en Navisworks 3D. Fuente: [www.emerson.com](http://www.emerson.com)

#### A.E.3.1. Sensores

Cada rociador de agua y espuma debe contar con tecnología que permita su autoevaluación y además que estos entreguen señales de alerta en caso de una anomalía. Los estanque de espuma deberán contar con un sensor boya que indique que cada estanque se encuentra lleno o notificar mediante una alerta visual en pantalla que el estanque debe ser rellenado.

A continuación, en la figura A.40 se presenta un presostato, el cual es diseñado para la detección de flujo de agua en sistemas automáticos de rociadores de incendio de tuberías húmedas con válvulas de control de alarma. El dispositivo esta creado para detectar presiones muy bajas, lo que ayuda a indicar si existen fugas de agua en caso de que no existan incendios.



Figura A.40: Presostato para detección de flujo. Fuente: [www.planafabrega.com](http://www.planafabrega.com)

#### **A.E.4. Bomba de llenado de estanque y red de incendio**

El estanque de agua para la red de incendio debe contar siempre con agua por lo tanto la bomba debe funcionar de manera automática cada vez que el estanque baje su nivel de agua, la cual será medida con un sensor boya o sensor de nivel.

##### **A.E.4.1. Sensores**

Las bombas para el flujo de agua a través de la red de incendio funcionan de la misma manera que cualquier sistema de bombas descrito en los puntos anteriores, las cuales deben funcionar con un controlador lógico programable (PLC), el cual sea capaz de automatizar todos los procesos de la red. La red de incendio a su vez debe estar compuesta por electroválvulas, manómetros, presostatos, caudalímetros los cuales tomen datos de su funcionamiento en todo momento.

#### **A.E.5. Sensores en puertas de vías de evacuación y grifos**

Cada vía de evacuación debera contar con un sensor que indique que la puerta se encuentra abierta o cerrada, también es necesario que cada puerta de las vías de evacuación cuenten con ubicación GPS en el modelo de manera de poder identificar rápidamente en el plano si se encuentran abiertas o cerradas.

Todos los grifos deben contar con su ubicación GPS, ya que estos se encuentran dibujados en el plano y deben tener un sensor que indique si el grifo se encuentra con agua disponible para emergencias de la misma manera que para los extintores.

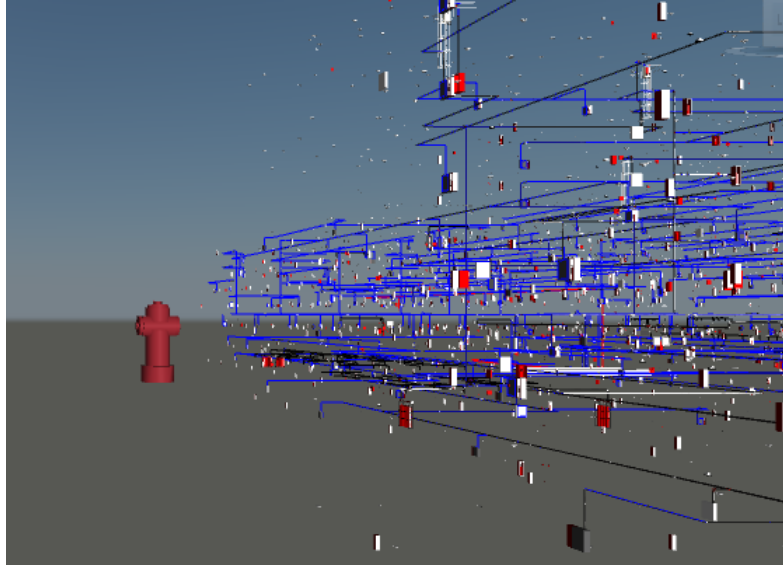


Figura A.41: Grifos modelados en la red contra incendios. Fuente: Ministerio de Obras Públicas

### **A.E.6. Sensores**

Aplicar el concepto de Internet de las Cosas (IoT) para cada uno de los puntos mencionados es fundamental para lograr que la red pueda estar en comunicación y mantener integrado cada dispositivos a través de un software de operación.

# Anexo B

## Análisis de los niveles de detalle en los modelos Navisworks

El Estándar BIM Para Proyectos Públicos 2019 [Carolina Soto 2019] contiene toda la información necesaria para estandarizar los modelos BIM de distintos proyectos públicos en Chile. A continuación se presentan dos tablas extraídas del Estandar BIM, las cuales definen los tipos de información que existen y el nivel de detalle que se requiere según la fase del ciclo de vida del proyecto.

La figura B.1 corresponde a los Tipos de Información (TDI). Son quince grupos de datos que pueden estar contenidos en las entidades de los modelos. Estos datos están organizados según la utilización que se le puede dar a la información durante el ciclo de vida del proyecto, mientras que la figura B.2 y B.3 muestran los niveles de información que se requieren según su estado de avance.

El Estándar BIM 2019 en Chile indica que el análisis del Nivel de detalle de los modelos no debe ser por conjuntos de familias<sup>1</sup>, si no se debe analizar el nivel de detalle por familias, por ejemplo puertas, ventanas, pilares, etc.

Debido a que los modelos Navisworks del Hospital del Salvador e Instituto Nacional de Geriátrica del proyecto corresponden al modelo federado, esto implica que los modelos cuentan con la coordinación de la arquitectura, estructura e instalaciones listas. Cada uno de estos, por ejemplo la arquitectura contiene familia de elementos con geometría, ubicación, coordinación conocida, por lo tanto se puede decir que la mayoría de las familias del modelo de arquitectura cumple con el nivel de detalle mencionado en la figura B.3 (NDI-3 a NDI-4), para las familias de las estructuras e instalaciones se cumplen las mismas condiciones.

<sup>1</sup> Familia: entidades con la que trabaja el programa Revit y corresponden a una agrupación de elementos con parámetros comunes.

















Tipos de Información (TDI)		Usos BIM
TDI_A	Información general del proyecto	
TDI_B	Propiedades físicas y geométricas	
TDI_C	Propiedades geográficas y de localización espacial	
TDI_D	Requerimientos específicos de información para el fabricante y/o constructor	
TDI_E	Especificaciones técnicas	
TDI_F	Requerimientos y estimación de costos	
TDI_G	Requerimientos energéticos	
TDI_H	Estándar sostenible	
TDI_H	Estándar sostenible	
TDI_I	Condiciones del sitio y medioambientales	
TDI_J	Validación de cumplimiento de programa	
TDI_K	Cumplimiento normativo	
TDI_L	Requerimientos de fases, secuencia de tiempo y calendarización	
TDI_M	Logística y secuencia de construcción	
TDI_N	Entrega para la operación	
TDI_O	Gestión de activos	

Figura B.1: Tipos de información (TDI). Fuente: Estandar BIM 2019

**Tabla 10. Niveles de Información por Estados de Avance de la Información de los Modelos**

En la siguiente tabla se muestran los Niveles de Información mínimos que pueden tener las Entidades BIM para cada Estado de Avance de la Información de los Modelos.

EAIM	Entidades de Modelos	Ejes (IfcGrid)	Terreno (IfcSite)	Elementos Civiles (IfcCivilElement)	Elementos Geográficos (IfcGeographicElement)	Fundaciones (IfcFooting)	Zonas/Espacios (IfcSpace-IfcZone)	Columnas (IfcColumn)	Vigas (IfcBeam)	Losas/Radler (IfcSlab)

Información de construcción	CC Coordinación de Construcción	NDI-3	NDI-3	NDI-4	NDI-3	NDI-3	NDI-4	NDI-3	NDI-3	NDI-4
	CM Construcción, Manufactura y Montaje	NDI-3	NDI-3	NDI-5	NDI-4	NDI-4	NDI-5	NDI-4	NDI-4	NDI-4
Información de operación	AB As-Built	NDI-3	NDI-3	NDI-5	NDI-4	NDI-4	NDI-5	NDI-4	NDI-4	NDI-5
	PM Puesta en Marcha	NDI-3	NDI-3	NDI-5	NDI-4	NDI-4	NDI-5	NDI-4	NDI-4	NDI-5
Información de operación	GM Gestión y Mantenimiento del Activo	NDI-3	NDI-3	NDI-6	NDI-4	NDI-4	NDI-6	NDI-4	NDI-4	NDI-5

Figura B.2: Niveles de información (NDI), según estado de avance.

Fuente: Estandar BIM 2019

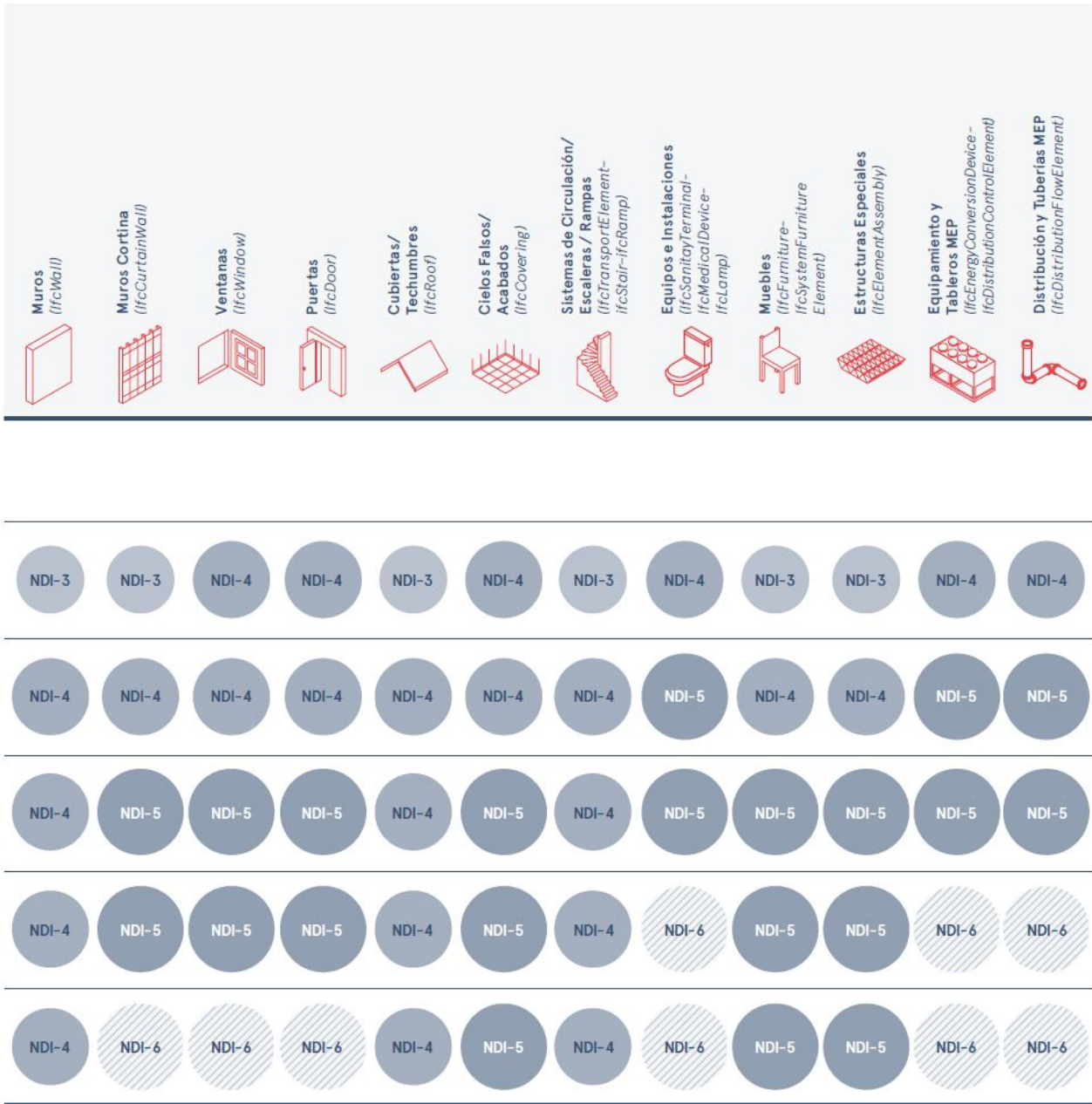


Figura B.3: Niveles de información (NDI), según estado de avance.  
Fuente: Estandar BIM 2019

# Anexo C

## Integración Revit - Archibus

A continuación se muestra la forma de trabajo entre Revit y Archibus Extension Smart Client. Ambos programas comparten información de forma bidireccional, permitiendo el acceso rápido a información por parte de los usuarios. En la figura C.1 se ve un resumen de la figura C.2 del estudio [Walid ThabetaJ 2019].

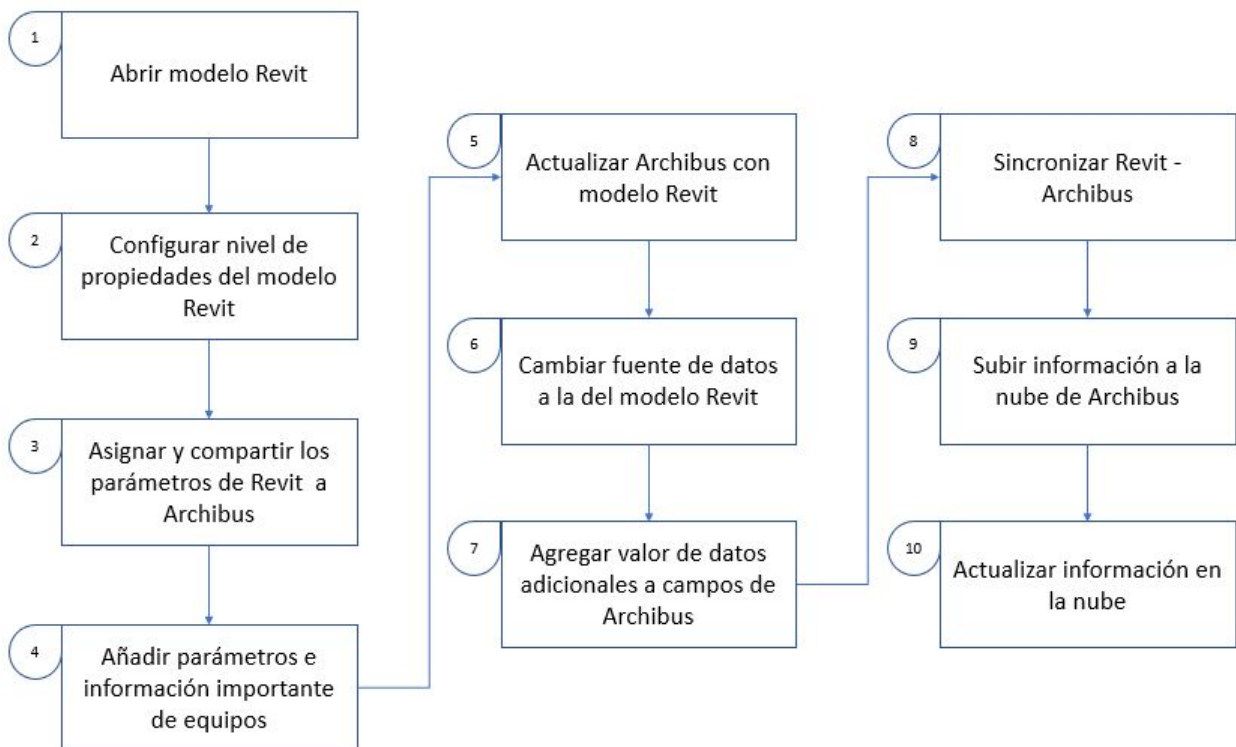
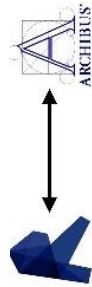
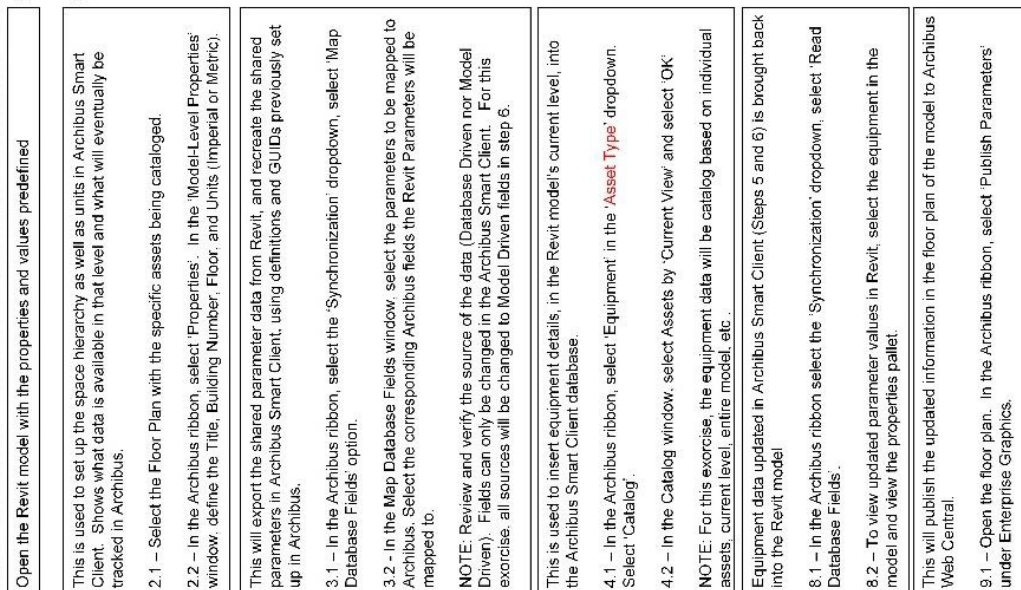


Figura C.1: Forma de trabajo de Revit y Archibus. Fuente: Walid Thabeta 2019





## Revit – ARCHIBUS Extension



## ARCHIBUS - Smart Client

Archibus Smart Client requires installation and provides the ability to change a large amount of data in an easy, smooth process.

Based on executing Steps 2, 3, 4 and 5, the current status in Archibus includes: Levels from the Revit model have been identified (Step 2), Parameters/Fields being tracked have been identified (Step 3/4), and Parameter data identified in Revit model has been cataloged into Archibus Smart Client. (Step 5).

5 This will update the data in Archibus Smart Client, based on the data entered in the Revit model.

5.1 - Open Archibus Smart Client. In the Explorer pallet, select the Views ribbon and navigate to the Equipment data fields. Select Equipment. Select Refresh to update the equipment data.

6 This will change whether data for each field will be pulled from the Revit model or the Archibus database.

6.1 - Open Archibus Smart Client. In the Views ribbon of the explorer, open the 'afm\_params' table. Select 'Fields' and double-click the 'Model-Driven or Database-Driven?' field. Select OK and change all of the equipment assets to 'Model-Driven'.

7 Additional Database driven data can be entered in the Archibus Smart Client.

7.1 – In the Equipment data. Sort or Filter the equipment based on the Building Code.

7.2 – Filter the equipment based on the Building Code. Enter data for the missing fields.

7.3 - If property fields are not visible in the Equipment data, select 'Fields' and double-click the Available Fields to move them to Visible Fields. Select 'OK'

7.4 – Once the desired visible fields have been customized and Database field data has been entered, select 'Save'.

## ARCHIBUS - Web Central – Internet Based

Web Central is used to view model with up-to-date information identified in the previous steps, via the internet.

10.1 – Log into Web Central and navigate to the building equipment information. Data can be manipulated similarly to the Archibus Smart Client

Figura C.2: Forma de trabajo de Revit y Archibus. Fuente: Walid Thabeta 2019

# Anexo D

## Leadership in Energy and Environmental Design

A continuación se muestran las categorías que se deben evaluar y calificar con puntos en edificios para poder obtener la certificación LEED:



Figura D.1: Puntos de evaluación LEED. Fuente: [www.eechile.cl](http://www.eechile.cl).



Figura D.2: Categorías LEED. Fuente: [www.eechile.cl](http://www.eechile.cl).