

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA**

**“DISEÑO DE LA LÓGICA BIM PARA EL MANTENIMIENTO” APLICADO EN
ÁREA DIGESTORES CELULOSA ARAUCO-PLANTA LICANCEL**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Ingeniero Ejecución Mecánico de Procesos
y Mantenimiento Industrial.

Alumna:
Karina Romero Figueroa

Profesor Guía:
William Rebolledo

2019

DEDICATORIA

En primer lugar, a mis padres, que han hecho hasta lo imposible para poder ayudar a cumplir mi primer gran sueño. Agradezco cada esfuerzo e incondicionalidad, pero por, sobre todo, agradezco la confianza que siempre han puesto en mí.

A mi hermano pequeño, que con su inocencia me alegra el alma y que gracias a cada dibujo que me regalaba cuando viajaba a verlo, hacía de mi solitaria habitación en Conce, un lugar más grato.

A mis amigos, que se han convertido en mi familia durante mi estadía lejos de casa, gracias por el cariño y apoyo en cada momento de dificultad, por las alegrías y el buen ambiente.

A aquellas personas que no están presentes y que siempre confiaron en mí.

A los funcionarios que me ayudaron cada vez que lo necesité y a aquellos que me daban un buen consejo. También, agradezco a aquellos docentes que más que términos académicos me han otorgado experiencia y buenos valores a través de su sabiduría.

A Joe Namath (Deportista). Días antes de tener que escoger sobre mi futuro académico, en la incertidumbre y con miedos, leí por ahí una de sus frases "Si no vas hasta el final ¿por qué empezar?" analicé dicha frase, pasaron los días y con mi maleta llena de sueños emprendí el rumbo y llegué a Conce, siempre con la frente en alto y la convicción de que sin importar las dificultades lograría ser una ingeniera.

Por último, a todas aquellas personas que con su bondad y buenas intenciones siempre han alegrado mi vida.

RESUMEN

En el negocio industrial y en cualquier negocio lo primordial para obtener buenos resultados es la gestión, si esta se logra fortalecer y actualizar se obtendrán variadas mejoras.

Es por esto que se recurre al BIM¹, si bien es un sistema utilizado y creado para la edificación, este trae una base que es gestión y tecnología la cual se puede homologar a procesos que se estime conveniente.

En este caso se habla de cómo podría interferir el BIM en el mantenimiento industrial tomando como ejemplo una planta de celulosa y especificando sobre el digestor, un equipo critico en la obtención de celulosa. Se profundizará en el proceso de dicho equipo, el mantenimiento que se le realiza, por qué es tan crítico y a la vez se habla del BIM, sus beneficios, como aplicarlo y los costos asociados todo esto relacionado a la construcción y homologado al mantenimiento. De esa forma, llegar a entrelazar dicho sistema de gestión con el mantenimiento actual.

Se enfatiza en que BIM va más allá de un modelamiento 3D mediante el uso de software paramétricos, se trata de un proceso de generación y gestión de información, por lo tanto, es indispensable requerir de personal idóneo para lograr buenos resultados en la implementación.

¹ Building Information Modeling

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
Objetivo general:	2
Objetivos específicos:	2
CAPÍTULO I: ARAUCO Y EL DIGESTOR	3
1 ARAUCO EN EL MUNDO.	4
1.1 ARAUCO EN CHILE.....	5
1.1.1 Visión	5
1.1.2 Valores Corporativos:	5
1.3 PROCESO GENERAL.	6
1.3.1 Fibra.....	6
1.3.2 Digestores	7
1.3.3 Lavado.....	7
1.3.4 Secado y línea final	8
1.3.5 Recuperación y energía	8
1.4 CONOCIENDO EL DIGESTOR	11
1.4.1 Antecedentes	12
1.4.2 Propiedades mecánicas.....	12
1.4.3 Elementos contenidos.....	13
1.4.4 Componentes	13
1.4.5 Paso a paso.....	14
1.4.6 Cr	15
1.4.7 Decreto supremo N°10.....	16
1.4.8 Plan de mantenimiento actual Arauco	17
1.4.9 Análisis del problema	26
CAPÍTULO II: EL BIM Y SUS BENEFICIOS.....	27
2.1 Definiciones	28
2.2 Inicios.....	28
2.3 Implantación del BIM	29
2.3.1 En el mundo.....	29
2.3.2 En Chile	30

2.4	Aplicaciones	30
2.4.1	Construcción	30
2.4.2	Instalaciones	32
2.5	Beneficios con BIM.....	33
2.5.1	Trabajo colaborativo.....	34
2.5.1	Información respaldada	34
2.5.1	Facilidad de acceso e interpretación de la información	34
2.5.2	Interoperabilidad	34
2.5.3	Restricciones entre usuarios	35
2.5.4	Nube de puntos	36
CAPÍTULO III: BIM, IMPLEMENTACIÓN Y MEJORAS.....		39
3.1	adopción del BIM en una organización	40
3.1.1	La definición de estándares y protocolos de trabajo es el principal factor determinante del éxito (y de los costos) de la adopción BIM	41
3.1.2	La formación de competencias BIM abarca más allá del dominio de software	42
3.2	Madurez BIM.....	42
3.2.1	Instrumentos de evaluación	43
3.3	Ejemplo de mejoras con BIM.....	45
3.3.1	Ahorro de tiempo	45
3.3.2	Optimizar toma de decisiones	45
3.3.3	Mejorar intercambio de información	46
3.3.4	Problemas de comunicación	46
3.3.5	Rápida obtención de costes	46
3.4	Caso Arauco	47
3.4.1	Retrasos	47
3.4.2	Gastos mantenimiento.....	48
3.4.3	Repercusión del BIM.....	50
3.4	Costos de implementación	51
3.4	Consideraciones	51
CONCLUSIONES		53
BIBLIOGRAFÍA.....		54

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1 Proceso general celulosa.....	6
Ilustración 1-2 Parámetros de trabajo.....	7
Ilustración 1-3 Proceso fibra y recuperación de calor.....	10
Ilustración 1-4 Proceso de un digestor.....	12
Ilustración 1-5 Componentes del digestor.....	14
Ilustración 1-6 Extracto DS N°10.....	16
Ilustración 1-7 Diagrama mantenimiento actual.....	17
Ilustración 1-8 Planificación parada de planta digestor 1- 2019.....	19
Ilustración 1-9 Esquema puntos de medición.....	20
Ilustración 1-10 Datos obtenidos por medición.....	21
Ilustración 1-11 Datos obtenidos por medición.....	22
Ilustración 1-12 Ruta de trabajo crítico.....	23
Ilustración 1-13 Tramo de línea cambiada.....	24
Ilustración 1-14 Evidencia de rotura en harneros.....	24
Ilustración 1-15 Plano digitalizado Arauco Licancel.....	25
Ilustración 1-16 Diagrama de Ishikawa.....	26
Ilustración 2-1 Diferencias visibles entre 2D, 3D y BIM.....	29
Ilustración 2-2 Mapa implantación BIM.....	29
Ilustración 2-3 Aplicación en construcción.....	31
Ilustración 2-4 Contraste BIM construcción y planificación.....	31
Ilustración 2-5 Aplicación en instalaciones.....	32
Ilustración 2-6 Captura Navisworks.....	33
Ilustración 2-7 Interoperabilidad.....	35
Ilustración 2-8 Modelo según especialidad.....	35
Ilustración 2-9 Ejemplo nube de puntos.....	37
Ilustración 2-10 Proyecto realizado mediante nube de puntos.....	38
Ilustración 3-1 Evidencia de obtención de costos.....	47
Ilustración 3-2 Diagrama de paletas de bloqueo.....	48
Ilustración 3-3 Gráfica costos PGP.....	49
Ilustración 3-4 Gráfica de tiempos.....	50
Ilustración 3-1 Tabla de costos relacionados a implementación BIM.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1Tipos de calidad permitida 10

Tabla 1-2 Calidad en producción de celulosa 10

Tabla 1-3 Características de construcción 12

Tabla 1-4 Condiciones de trabajo..... 13

Tabla 2-1 Beneficios nube de puntos 36

Tabla 3-1 Instrumentos de evaluación de madurez BIM 43

Tabla 3-2 Matriz de madurez BIM Succar 44

SIGLA

- 2D: Un cuerpo que se proyecta en 2 dimensiones, a lo largo y ancho
- 3D: Un cuerpo que se proyecta en 3 dimensiones, largo, ancho y profundidad
- AIA: American institute of architects.
- ASTM: Del inglés "American Society for Testing and Materials". organización científica y técnica para el establecimiento y la difusión de normas relativas a las características y prestaciones de materiales, productos, sistemas y servicios
- BIM: Building Information Modeling al español, modelación de la información edificada
- CAD: diseño asistido por computadora
- CORFO: Corporación de fomento de la producción
- ENDS: ensayos del tipo no destructivo
- FMAT: falta material de repuesto
- FODA: análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas
- MOP: Ministerio de obras públicas
- MS Project: Software de administración de proyectos
- NBS: National Bim standar
- OT: orden de trabajo
- PC: computadora personal
- PGP: Parada general de planta

SIMBOLOGÍA

- Adt: toneladas de celulosa
- m2: metro cuadrado
- mm: milímetros
- mm2: milímetro cuadrado
- UF: unidad de fomento
- %: porcentaje
- >: mayor que
- <: menor que
- °C: grados centígrados
- N°: número

INTRODUCCIÓN

En la industria, constantemente se producen cambios debido al avance de la tecnología e investigación, por lo que el rubro de la ingeniería debe permanecer en constante actualización y aprendizaje. Es por eso que en esta investigación se desea plantear un nuevo sistema de gestión que en los últimos años ha avanzado de gran manera en los países más desarrollados como lo son: España, Inglaterra, EE. UU, Suiza entre otros. Se han obtenido resultados concretos en la mejora de proyectos, dicho sistema de gestión se denomina BIM (por sus siglas en inglés) "Building Information Modeling", que traducidas al español se define como "Información Modelada de la Edificación"

BIM es un método de trabajo colaborativo mediante un software que transforma la gestión de modelado y edificación 2D que se venía implementando, y que de hecho se implementa aún. Este nuevo método supone la evolución de los tradicionales sistemas de diseño que se basan en el plano, ya que incorporan información geométrica (el 3D que se conoce), relaciona tiempos (4D), ve los costos (5D), y se enfoca también en la sostenibilidad y eficiencia energética.

En palabras simples esta metodología imita el proceso real de construcción obteniendo como beneficios mejorar desperfectos evitando grandes errores que pueden afectar al proyecto, ya sea en su economía, seguridad, tiempos y óptimos resultados. Dicho sistema está revolucionando la gestión en el mundo y muchos países han adoptado implementarlo como ley para sus construcciones fiscales y/o privadas. por lo anterior mencionado se decide homologar dicho sistema de gestión al área de mantenimiento en las industrias, ya que es el proceso en el cuál más dinero y tiempo son invertidos.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Utilizar lógica BIM aplicada al mantenimiento realizado en área de digestores, celulosa Arauco-Planta Licancel.

Objetivos específicos:

- Describir y comprender método "Construcción de edificación modelada (BIM)"
- Plantear una optimización en el mantenimiento vigente
- Innovar gestión del mantenimiento actual

CAPÍTULO I:
ARAUCO Y EL DIGESTOR

1 ARAUCO EN EL MUNDO.

Arauco es una compañía forestal de gran envergadura a nivel mundial, posee plantas de celulosa en Brasil, Uruguay, Argentina y el mercado es hacia EE. UU, Canadá, Latinoamérica y Europa, de ese modo se ha ganado el título de mayor proveedor de celulosa en el mundo. Además, Arauco posee plantas de paneles y maderas (aserraderos) sectores que también lidera en el comercio.

En el año 1967, se crean los estatutos y se celebra la primera sesión de directorio de Industrias de Celulosa Arauco S.A., las operaciones de la planta de celulosa en Arauco comienzan en enero del año 1972. Paralelamente en el protocolo firmado en diciembre del año 1968 y aprobado por el consejo de la Corporación de Fomento, se estableció la creación de la sociedad Celulosa Constitución con el objetivo de construir y explotar una planta de celulosa en esta ciudad. Esta planta en Constitución comienza a operar en septiembre del año 1976 (ARAUCO, 2013). A fines de la década del setenta, Compañía de Petróleos de Chile, Copec S.A. adquiere Industrias de Celulosa Arauco S.A. y Celulosa Constitución S.A. estableciéndose el cambio de nombre de la sociedad por Celulosa Arauco y Constitución S.A. el año 1979. En el año 1987, se aprobó el proyecto de construcción de una segunda línea de producción de celulosa en, Arauco, denominado Proyecto Arauco II. En el año 1991 se da inicio a la puesta en marcha. En el año 1989 se decide transformar las empresas forestales en sociedades anónimas, Forestal Arauco S.A. se constituyó como holding de las filiales forestales, y se definieron cuatro empresas forestales que operarían en las distintas zonas: Forestal Celco S.A., en Constitución; Forestal Chile S.A., en Concepción, Chillán y Collipulli; Bosques Arauco S.A., en la zona de Arauco y; Forestal Valdivia S.A. en Valdivia y Temuco. En el año 1990 se crea la empresa de Investigaciones Forestales Bioforest S.A. En abril del año 1993 se crea la empresa Aserraderos Arauco SA, iniciando sus operaciones el 1 de julio, mediante el traspaso de los aserraderos pertenecientes en esos momentos a Bosques Arauco, Forestal Chile y Forestal Celco. El año siguiente se constituyó la filial Arauco Generación S.A., con el objeto de producir y comercializar energía eléctrica dentro de las plantas de celulosa Arauco y Constitución, lográndose en corto tiempo el autoabastecimiento e incluso aportar sus excedentes al sistema interconectado central. En el año 1995 se creó la filial Paneles Arauco S.A. para la producción de paneles terciados. La planta, ubicada en el complejo Horcones, entró en operaciones el año 1998. En el año 1999 se adquirió la planta de Celulosa Licancel a la empresa suiza Attizhold Holding. El 18 de noviembre del año 2001 se inició la construcción de la planta de Valdivia, en la localidad de San José de la Mariquina, iniciándose sus operaciones el 18 de enero del año 2004. En el año 2003 se inició la construcción del Complejo Forestal e Industrial Nueva Aldea. El año siguiente inició sus operaciones la planta de paneles terciados Nueva Aldea. En el año 2005 inició sus operaciones el aserradero de Nueva Aldea, el cual es actualmente el más moderno y con mayor capacidad de producción mientras que en agosto del año 2006 inició sus operaciones la planta de celulosa Nueva Aldea. Pasados más de cuarenta años, Arauco se ha convertido en un referente mundial en la elaboración de productos forestales, con presencia productiva en Chile, Argentina, Brasil, Uruguay y Estados Unidos y con una visión de expansión hacia el futuro. (Celulosa Arauco, 2016)

1.1 ARAUCO EN CHILE

1.1.1 Visión

“Ser un referente mundial en el desarrollo de productos sustentables forestales”. Negocio: “Maximizar el valor de nuestros bosques de manera sustentable, integrando producción forestal de excelencia con transformación industrial eficiente en productos de valor agregado para su comercialización en el mercado mundial de acuerdo con las necesidades de nuestros clientes”.

1.1.2 Valores Corporativos:

1.1.2.1 La seguridad, ante todo

Ponemos la seguridad de las personas como prioridad en todas nuestras decisiones. Sólo de esta forma consideramos que un trabajo está bien hecho. Nuestra meta es tener cero accidentes. (Celulosa Arauco, 2016)

1.1.2.2 El compromiso es trabajar con pasión

Asumimos desafíos y trabajamos con pasión y esfuerzo para cumplirlos. En ARAUCO somos gente esforzada y honesta, que cumple su palabra (Celulosa Arauco, 2016).

1.1.2.3 Para ser los mejores, se trabaja en excelencia e innovación

Somos líderes en lo que emprendemos, porque desafiamos nuestras capacidades. Debemos ser exigentes con nuestras metas, eficientes e innovadores en la forma de conseguirlas. (Celulosa Arauco, 2016)

1.1.2.4 Trabajo en equipo

Respetamos a las personas, valoramos el aporte de cada uno y sabemos que al trabajar en equipo avanzamos más rápido y llegamos más alto. Reconocemos nuestras limitaciones y pedimos ayuda. (Celulosa Arauco, 2016)

1.1.2.5 Respeto a la ciudadanía

Actuamos con una mirada de largo plazo. Nuestro trabajo aporta al bienestar social, respeta a nuestros vecinos y al medio ambiente. En el país la empresa posee gran parte del rubro maderero con varios aserraderos y 5 plantas de celulosa, estas llamadas “Arauco, Nueva aldea, Valdivia, Constitución y Licancel”, en esta última se profundizará a lo largo de esta memoria, con planos de equipos, registros, análisis y mantenimiento que allí se utilizan. (Celulosa Arauco, 2016)

1.3 **PROCESO GENERAL.**

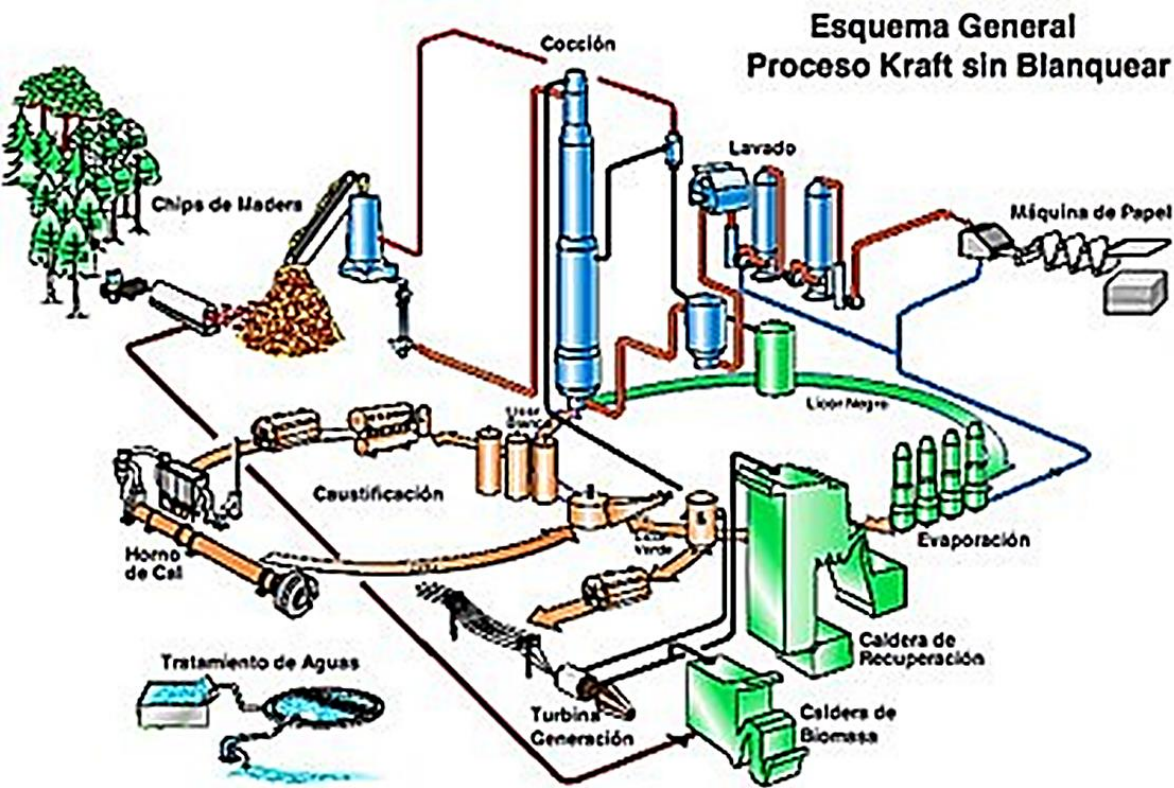


Ilustración 1-1 Proceso general Celulosa

Fuente: (Celulosa Arauco, 2016)

1.3.1 **Fibra**

1.3.1.1 **Cultivo de árboles y tala de estos**

Arauco posee sus propios cultivos que abastecen la planta para la obtención de celulosa, esto se complementa con cultivo de pequeños emprendedores que deben contar con ciertos requisitos de calidad de la empresa que consta en tipo de árbol (pino radiata), tamaño y masa.

1.3.1.2 **Transporte de la madera a la planta de celulosa**

Una vez realizada la tala de árboles se transportan los troncos en camiones a la planta, en donde se masan para llevar un registro de cuanta madera entra y luego de esto los troncos son depositados en el patio de acopio.

1.3.1.3 **Descortezado de troncos**

Los troncos son tomados y llevados a la línea de descortezado, en donde el tronco desnudo es dirigido hacia el chipper (trozadora) y los restos de corteza son procesados y utilizados como combustible para la caldera.

1.3.1.4 **Chipper**

Los troncos dimensionados se llevan al chipper donde son trozados en pequeñas astillas, estas se depositan en una pila y desde allí pasan al harnero de astillas en donde se clasifican en; aceptado que se transporta mediante correas hacia el área de digestores; sobredimensionado el cual pasa a una chipeadora más pequeña la cual vuelve a trozar y enviar al harnero; baja dimensión que es transportado a zona de descortezado para ser utilizado como alimentación de la caldera.

Parámetro		Unidad	Rango [%]
Granulometría Astillas Pulpables			
Sobre tamaño	> 45 mm	%	< 4
Sobre espesor	> 8 mm	%	< 9
Aceptado		%	> 87
Pinchip	< 7 mm	%	< 6
Finos	< 3 mm	%	< 1
Porcentaje Corteza		%	< 1.0

Ilustración 1-2 Parámetros de trabajo

Fuente: (Celulosa Arauco, 2016)

1.3.2 Digestores

1.3.2.1 Cocción

En los digestores se realiza la cocción de la madera, hay 5 digestores que son alimentados con las astillas y licor blanco (producto a base de soda caustica y sulfuro de sodio) la alta temperatura, la presión que se produce dentro del digestor y la mezcla de las astillas con el licor blanco; compuesto formado por hidróxido de sodio y sulfuro de sodio, a temperaturas y presión de 155°C y 900 kPa respectivamente, estos producen la separación de la lignina(componente de la pared de celulosa) y la celulosa (componente de la madera) este proceso hace que a la salida se obtengan 2 productos, licor negro(mezcla de licor blanco con lignina) por un lado y la celulosa por el otro.

1.3.2.2 Estanque de soplado

En este estanque se deposita la pasta de celulosa proveniente de los digestores en donde se busca disminuir la presión y temperatura de dicha pasta n donde se busca disminuir la presión y temperatura de la mezcla (además de diluirla) y por lo tanto va a existir una gran liberación de gases los cuales son conducidos hacia un sistema de tratamiento de gases.

1.3.2.3 Desanudador

El equipo Knotter realiza la separación de los nudos en la celulosa producto de una mala cocción, en donde a la salida de este si se acepta la celulosa se deriva a los filtros lavadores, y la que es rechazada (aún presenta nudos) es redirigida a la pila de astillado en donde vuelve a repetir el proceso de cocción y desanudado.

1.3.3 Lavado

1.3.3.1 Filtros lavadores

Existen 5 filtros lavadores, los cuales se encargan de retirar el licor negro y limpiar la celulosa, están conectados en serie desde el 1-5.

1.3.3.2 Licor negro

Del proceso realizado en los filtros lavadores, se extrae dicho licor el cual es redirigido a un estanque en donde se utiliza para generar vapor (en los

evaporadores) el cual es utilizado en la caldera recuperadora de la cual sale licor verde clarificado.

1.3.3.3 Diversos lavados

La pasta pasa por diversos sistemas de lavado y filtrado (harneros, espesador, lavador), esto para lograr una mejor textura, homogeneidad y color de la pasta

1.3.4 Secado y línea final

Tras pasar por la máquina Fourdrinier, encargada de formar la hoja de celulosa, y, además, pasar por una serie de etapas de prensado para extraerle el máximo de agua posible, la hoja pasa a la etapa de secado, donde seca por insuflación de aire caliente mediante ventiladores.

Terminada la etapa de secado, se pasa a la máquina cortadora y formadora de fardos, lo que posteriormente pasarán a la línea de embalaje, con su correspondiente prensado, cubierto con tapas de celulosa, amarrado e identificado, para finalmente ser almacenado en la bodega de productos terminados.

1.3.5 Recuperación y energía

1.3.5.1 Área desmineralizado

Esta área tiene como función de almacenar, producir y distribuir agua con la pureza requerida para cada proceso, es decir, eliminar todas las impurezas que aún puede venir desde la planta de agua, además de extraer los elementos metálicos, principalmente, calcio y magnesio; además, los elementos no metálicos como óxidos de fierro y sílice, los cuales se encuentran en forma de sales.

1.3.5.2 Área evaporadores

Su función es extraer el agua presente en el licor negro débil (LND) proveniente del proceso de lavado en el área de pulpa. El proceso se lleva a cabo mediante la aplicación de calor a través de la inyección de vapor al sistema. A medida que se va evaporando el agua, el licor va concentrándose, pasando de un licor negro débil (16 a 19% de sólidos), licor intermedio (27 a 37% de sólidos), para luego pasar, finalmente, al 1º efecto; el cual consiste en una serie de concentradores de película descendente que operan en serie para entregar el porcentaje de sólidos necesarios para producir la combustión en la caldera.

1.3.5.3 Área caustificación

En este proceso se realiza la recuperación del sodio (Na) presente el licor verde como carbonato de sodio (Na_2CO_3), mediante la adición de cal viva u óxido de calcio (CaO). En esta área se produce el licor blanco (LB), que es utilizado en el proceso de obtención de pulpa de celulosa en los digestores.

1.3.5.4 Área horno de cal

En el horno de cal se realiza la disociación del lodo de carbonato procedente de la planta de caustificación, esta disociación se realiza bajo altas temperaturas con el fin de producir Cal y CO_2 . Este Horno es un equipo importante en el circuito de

recuperación de reactivo en la planta de celulosa. Además de generar la disociación del lodo de carbonato, el horno de cal quema los gases incondensables (TRS) provenientes las distintas áreas de la planta Licancel.

1.3.5.5 Área planta de agua

Planta de agua "Laguna de agua cruda" es la encargada de recibir el agua captada desde el río Mataquito, distante a 13 kilómetros de la planta. El agua una vez almacenada es sometida a tratamientos con reactivos químicos, con el objeto de eliminar impurezas propias de la extracción.

1.3.5.6 Área caldera de poder

La caldera poder tiene como función principal solo la generación de vapor. Dicho vapor se genera por el calor generado tras la combustión de la mezcla de material orgánico (corteza) y lodos provenientes de la planta de tratamiento de efluentes.

1.3.5.7 Área caldera recuperadora

Dicha área es la encargada de dos procesos

- Recuperación química: Tras la quema de los materiales orgánicos presentes en el licor negro, se realiza, al mismo tiempo, la reducción de las sales de sodio las que son drenadas como fundido en la parte inferior del hogar. Las sales drenadas como fundido se mezclan con licor blanco débil para dar origen al licor verde, el cual es bombeado al área de caustificación para su procesamiento.
- Generación de vapor: Se produce debido al calor generado mediante la combustión de la materia orgánica presente en el licor negro concentrado. Este calor es transferido al agua a través del contacto entre los tubos que la contienen y los gases de combustión, generando finalmente vapor de alta.

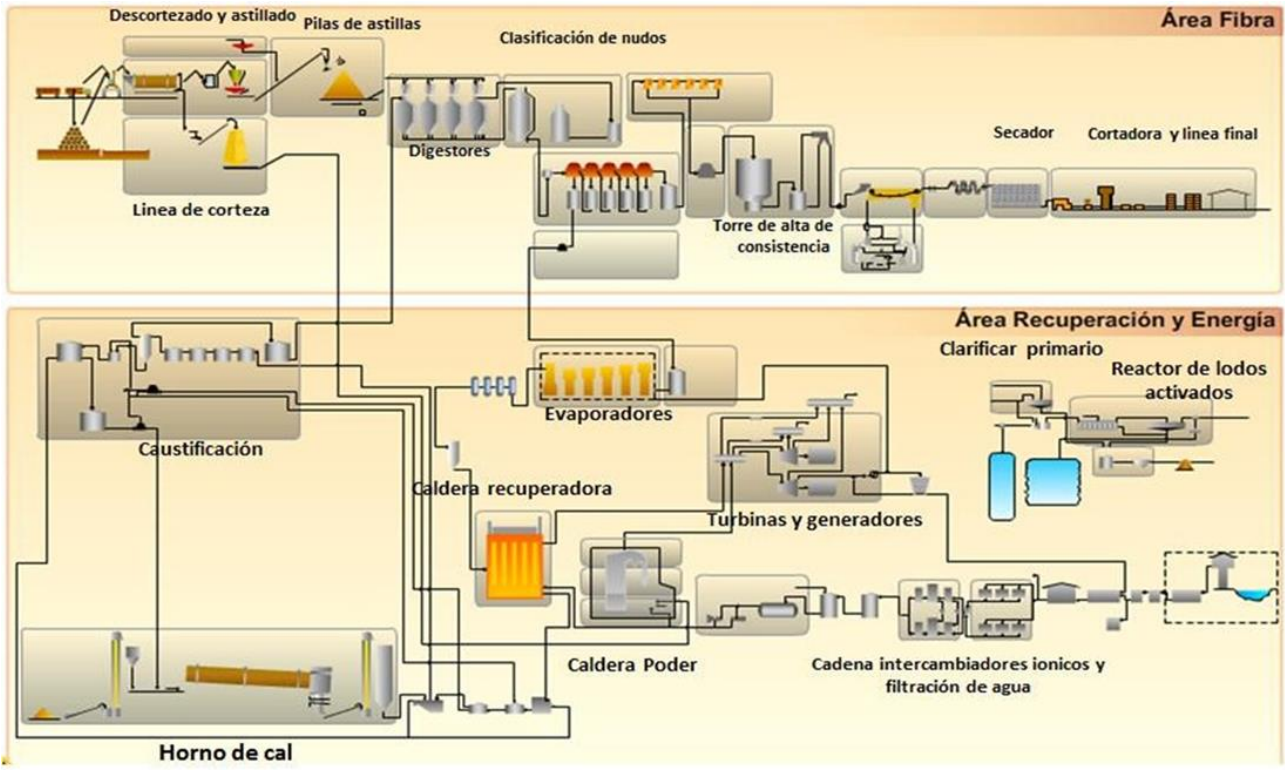


Ilustración 1-3 Proceso fibra y recuperación de calor

Fuente: (Celulosa Arauco, 2016)

1.3.5.8 Área generación de energía

Esta área está constituida por 2 turbogeneradores que utilizan el vapor generado tanto por la caldera de poder, como también, la caldera recuperadora para generar energía eléctrica. Además, entrega vapor de mediana y baja presión para las diferentes áreas de la planta.

1.3.5.9 Producción

En cuanto a la producción diaria, planta Licancel cuenta con una meta de Celulosa café de 485 adt.

Tabla 1-1Tipos de calidad permitida

Calidad	Kappa (Nº)	Luminosidad (%)	Pintas (mm²/m²)	Seco Absoluto (%)
L PRIME	25-32	≥ 63.5	< 112	≥ 83.5
X PRIME	33-44	≥ 63.5	< 112	≥ 83.5

Fuente: (Celulosa Arauco, 2016)

Para el caso de producción de celulosa café No Conforme se debe mantener la calidad de la tabla anterior (L y X) y sólo se debe asignar una letra única de lote, al código alfanumérico para especificar el tipo de no prime, como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 1-2-Calidad en producción de celulosa

Calidad	Kappa (Nº) < 25	Kappa (Nº) >44	Pintas (mm²/m²) >112	Seco (%) <83.5	Luminosida d <63.5	Otras Impurezas
L NO PRIME	O	----	R	U	----	X
X NO PRIME	----	Q	T	W	P	Z

Fuente: (Celulosa Arauco, 2016)

Con los datos de la tabla anterior se identifica el código que se le designa a cada lote, en donde primero va un Número que es correlativo, seguido por una letra que designa si es L, X o si no cumple y por último va la fecha. (Celulosa Arauco, 2016)

1.4 CONOCIENDO EL DIGESTOR

Para dar a conocer la lógica BIM en el mantenimiento se escoge un proceso en específico de la planta, esto para agilizar el entendimiento y explicar, basándose en detalle en una micro-área la cual es el desarrollo de esta investigación. Pulpa es dicha área seleccionada, específicamente el proceso de cocción que se realiza en un digestor de celulosa, dicho equipo es seleccionado por la gran envergadura y criticidad que posee, ya que es donde ingresa la madera y se obtiene la pasta de celulosa.

Cabe mencionar que realicé la práctica profesional en el área de madera y pulpa, por lo que el proceso es familiarizado y de gran conocimiento.

En palabras simples, un digestor es una olla a presión a gran escala en el cual a alta presión y temperatura se cocina la celulosa, esto ingresando los chips de madera y licor blanco (mezcla de soda cáustica y sulfuro de sodio) por la parte superior y obteniendo pasta de celulosa y licor negro por su base.

Existen dos tipos de digestores, el discontinuo y el continuo. El primero se caracteriza por realizar el proceso de cocción de manera más simple y demorando más tiempo, mientras tanto el otro es un proceso cíclico que si bien es más complejo (debido a que se compone de más equipos) demora menos tiempo y es más autónomo, este último es el tipo de digestores que posee Arauco.

En el digestor continuo las astillas o chips son sometidas a vapor de agua con el objetivo de eliminar su contenido de aire, para una completa penetración del licor blanco en los chips, de no lograr una eliminación correcta el nivel de cocción de la pasta sería inferior.

A continuación, ingresan a un vaso impregnador de alta presión en el cual se agrega el licor blanco, esta mezcla ingresa al digestor continuo.

Una vez dentro del digestor comienza la etapa de cocción entre las astillas y el licor blanco a altas temperaturas y presiones, las temperaturas son alcanzadas por medio de vaporización directa para alcanzar una temperatura de entre 160°C y 180°C. Durante la etapa de cocción se produce la liberación de las fibras de celulosa mediante la disolución de la lignina, que es el cemento que mantiene unidas a las fibras.

A medida que la mezcla va descendiendo en el digestor las astillas se van transformando en una pasta la cual es nada más que lignina y licor de cocción. En esta parte del proceso un gran porcentaje de la lignina se disuelve en el líquido de cocción, llamado licor negro, que es básicamente la mezcla entre la lignina disuelta y el licor blanco. Al término de la cocción la pulpa es sometida a un lavado a alta temperatura, en el cual el flujo de agua es el encargado de eliminar el licor negro. Una de sus ventajas es que se adapta a la cocción cualquier especie

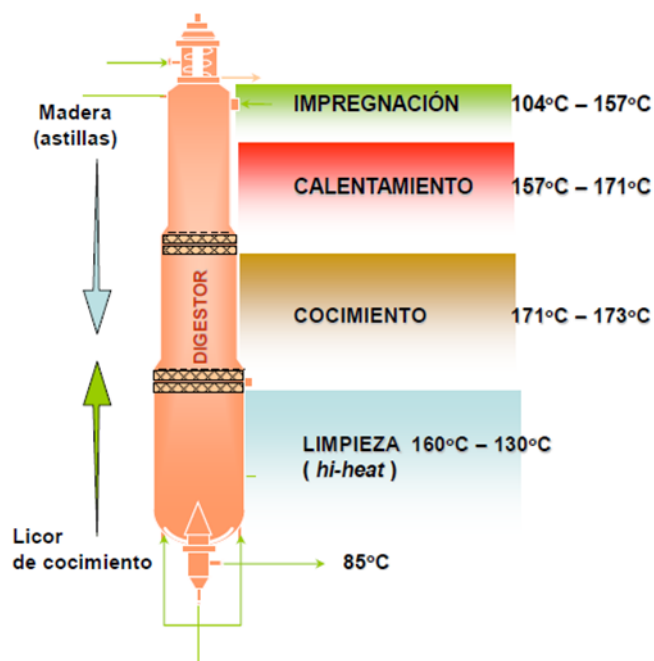


Ilustración 1-4 Proceso de un digestor

Fuente: (Celulosa Arauco, 2016)

Arauco posee 5 digestores en planta LICANCEL, el proceso de cocción que se lleva a cabo en estos digestores es de suma importancia y criticidad, ya que por un lado sale la celulosa que se trata y comercializa, y por otro se obtiene licor negro que abastece la caldera recuperadora, y pasa por un proceso que lo vuelve a transformar en licor blanco. (Celulosa Arauco, 2016)

A continuación, se describirá uno de los equipos que se tiene en planta

1.4.1 Antecedentes

Digestor BATCH TAG 621-001

Tabla 1-3- Características de construcción

Geometría	Cilíndrica-Cónica con casquete semiesférico
Diámetro parte cilíndrica	4000 mm
Altura total	16846 mm
Espesores	38 mm
Tipo de material	Manto: Acero al carbono ASTM A516 grado 70 Harneros: Acero inox. AISI 304

Fuente: (CESMEC, 1995)

Cabe recalcar que según la ASTM el acero al carbono A516 grado 70, posee las siguientes características:

1.4.2 Propiedades mecánicas

- Última resistencia a la tracción: 485 - 620 MPa
- Resistencia a la tracción en rendimiento: 260 MPa
- Alargamiento a la rotura: 17% en 200 mm ó 21% en 50mm

- Módulo de elasticidad: 200 GPa Acero al carbono
- Módulo de bulk: 160 GPa
- Coeficiente de Poissons: 0.29
- Módulo de cizalle: 80.0 GPa

1.4.3 Elementos contenidos

- Carbono, C 0.31%, puede variar con el espesor de la placa
- Hierro, Fe 98.315%
- Manganeso, Mn 0.85 - 1.2%
- Fósforo, P 0.035%
- Silicio, Si 0.15 - 0.40%
- Azufre, S 0.040%

Tabla 1-4-Condiciones de trabajo

Tipo de fluido		Licor y astillas
Temperatura	de	175 °C
trabajo		
Presión de trabajo		8 kg/cm ² máximo
PH		Básico (aprox. 11)

Fuente: (CESMEC, 1995)

1.4.4 Componentes

Para el óptimo funcionamiento de un reactor químico se requieren variados equipos y componentes de trabajo en serie, estos son:

- Válvula capping: Ubicada en la parte superior del digestor y es la encargada de permitir el ingreso a los chips de madera.
- Ventilador: Encargado de evacuar el aire en la carga de chips, trabaja en conjunto con una válvula de evacuación de aire.
- Válvula compactación vapor: Permite el ingreso de vapor a 3,5 Kg/cm2.
- Bomba licor blanco: Inyecta licor al sistema.
- Bomba licor negro: Extrae el licor del sistema.
- Válvula de llenado: Permite el paso de licor blanco al interior del digestor.
- Bomba recirculación de licor: Encargada de dirigir el licor blanco que sale por la parte inferior del digestor a que ingrese nuevamente por la parte superior de esa forma se logra impregnar la totalidad de chips con dicho licor.
- Válvula de desgase: Permite controlar la presión y dirigir los gases presentes en la cocción a la línea de desgase, luego dichos gases se combustionan.
- Válvulas de vapor: permiten el ingreso de vapor de 3,5 Kg/cm2 y 10,5 Kg/cm2.
- Válvula soplado superior: Dirige la pasta de celulosa al tanque de soplado.
- TK soplado: recibe la pasta proveniente de los 5 digestores mediante una línea en común que se llama “Top Blow”, en dicho tanque lo que se busca es disminuir la presión y temperatura de la pasta.

1.4.5 Paso a paso

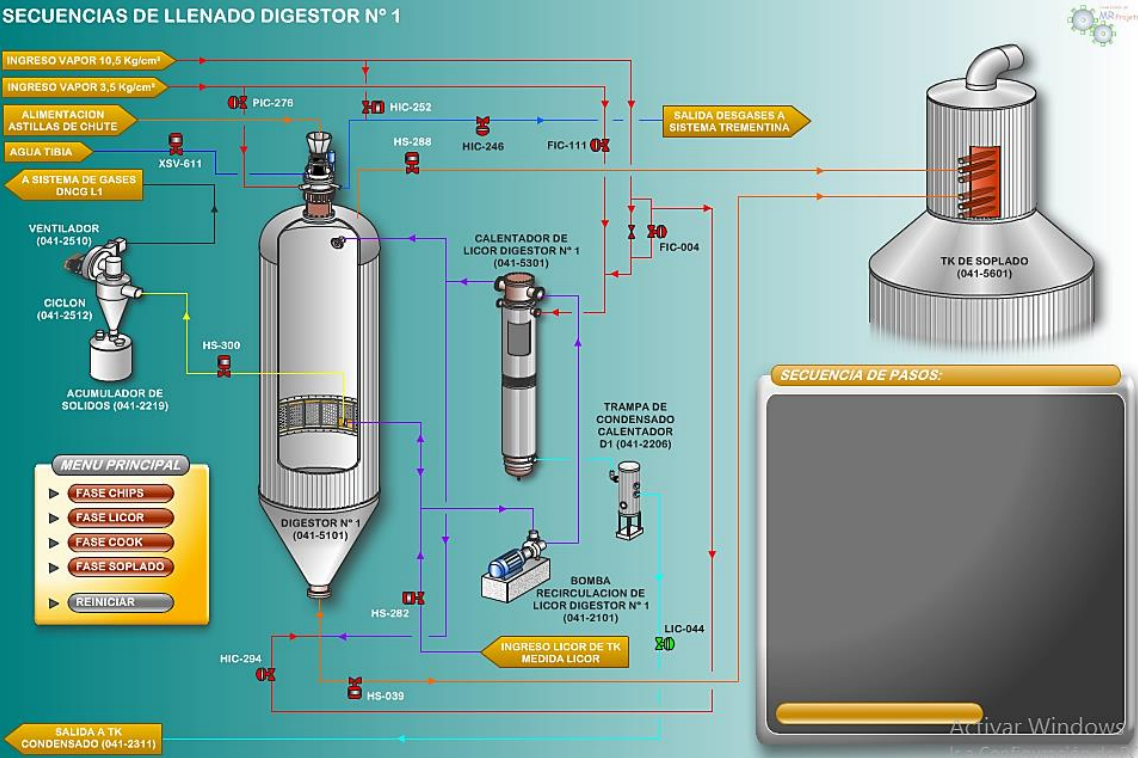


Ilustración 1-5 Componentes del digestor

Fuente: (Celulosa Arauco, 2016)

En la imagen se muestra cada componente que aporta al funcionamiento óptimo del reactor químico. A continuación, se dará un detalle del paso a paso de lo que ocurre al interior de dicho reactor. (Celulosa Arauco, 2016)

1.4.5.1 Fase Chips

Inicialmente se abre la válvula capping para dejar libre la entrada de chips, luego se pone en funcionamiento el ventilador y se abre la válvula de recirculación de aire, hecho esto, mediante las correas transportadoras de chips se hace el ingreso de estos al cuerpo. Se abre la válvula de compactación de vapor cuando el digestor está cargado al 30%-50% de chips.

Cuando se llena el Target (nivel seteado) se detiene automáticamente el sistema de alimentación de astillas. En ese instante entran también en cierre las válvulas de compactación de vapor, de capping y evacuación de aire respectivamente.

Esta fase tiene una duración promedio de 25-30 min. (Celulosa Arauco, 2016)

1.4.5.2 Fase licor

Primeramente, se ponen en funcionamiento las bombas de licor blanco y licor negro, luego se abre la válvula de llenado de licor blanco y en paralelo se abre la válvula de desgasificación superior. Seguidamente cuando se llega al 70% del volumen del licor de carga es cuando entra en funcionamiento la bomba de recirculación de licor. Cuando el volumen de licor está al 100, automáticamente se cierra la válvula de llenado de licor y las bombas de licor blanco y negro se detienen.

Todo este proceso tarde unos 15 min. (Celulosa Arauco, 2016)

1.4.5.3 Fase de cocción

Se abre la válvula de vapor de 3,5 Kg/cm², hecho esto se procede a la apertura de válvula de desgases al 35% de apertura los primeros 40 min iniciada la cocción, luego durante alrededor de 100 min se debe mantener dicha válvula abierta a un 20 %, de ese modo se logra un control óptimo de la presión.

Cuando la temperatura de cocción llega a 130° C (cerca de 50 min de cocción), de forma automática se abre la válvula de vapor de 10,5 Kg/cm² y se da cierre a la válvula de vapor de 3,5 Kg/cm². Una vez alcanzada una temperatura de 170 °C en la cocción se procede a dar cierre a la válvula de vapor de 10,5 Kg/cm².

Para dar término a esta fase se debe verificar el estado de la válvula de desgase, ya que se debe mantener la presión controlada a 7,2 Kg/cm².

El tiempo total de la fase de cocción es alrededor de 190 min, esto incluye un lapsus de reposo. (Celulosa Arauco, 2016)

1.4.5.4 Fase de soplado

Se da detención a la bomba de recirculación la cual había sido abierta en la fase de licor. Seguido de esto, se abre la válvula de vapor directo con un tiempo de abertura de 2 min, posterior a esto dicha válvula se cierra y automáticamente se abre la válvula de soplado superior, luego, cuando la presión del digestor llega a los 5 Kg/cm², la válvula de soplado superior se cierra y de forma automática se abre la válvula de soplado inferior. Esto tarda alrededor de 10 min para el soplado superior y 15 min para el soplado inferior. (Celulosa Arauco, 2016)

1.4.6 Cr

En el proceso general de la planta, el área de mayor criticidad y por ende la que requiere mayor enfoque es la cocción por lo que el digestor es uno de los equipos más importantes y primordiales junto con las calderas que la empresa posee, esto debido a que trabajan a alta presión, por ende, el riesgo hacia el personal de trabajo si es que llega a fallar un equipo de esta envergadura es sumamente alto. Además, cabe recalcar que el digestor determina todos los procesos siguientes a ejecutar, ya que, por un lado, se obtiene la pasta que irá a línea final obteniendo como producto la plancha de celulosa, y por otro sale el licor negro, el cual se deriva a la caldera recuperadora y pasa por varios procesos que lo convierten en licor blanco.

Debido a que el digestor es un equipo que trabaja a alta presión, este debe regir con la legislación chilena, que en su decreto supremo N° 10 determina los parámetros de trabajo del equipo, alcances y certificación, que es obligatoria en periodos de 3 años, por lo que Licancel posee sus 5 digestores con certificaciones diferidas.

Debido a esta certificación y en post de cumplir con la norma y mantener la seguridad de los operarios y el alrededor, se realizan inspecciones y reparaciones, dichas inspecciones son del tipo ENDS en donde lo primordial es una inspección visual, líquidos penetrantes a soldaduras y medición de espesores en el manto y soldaduras mediante equipos ultrasónicos.

1.4.7 Decreto supremo N°10

Dicho decreto regido por la ley chilena interpone las condiciones y requisitos de seguridad que deben cumplir las calderas, autoclaves y equipos que utilizan vapor de agua. Su objetivo es resguardar un seguro funcionamiento y por sobre todo evitar daños a la salud de las personas. Un digestor al ser un equipo de alta presión entra en la clasificación de "Caldera de fluidos térmicos: caldera que utiliza un fluido distinto al agua, destinado a la transferencia de calor, en fase líquida a altas temperaturas y que fluye por un circuito cerrado" (Legislación Chilena) es por ello que debe regir con esta norma y cumplir con lo siguiente:

- Toda caldera y autoclave deberá estar incorporado a un registro que lleva la secretaría regional ministerial de salud correspondiente, previo al inicio de su operación y funcionamiento. Este registro le asignará un número con validez nacional que permita identificarlos, el que será comunicado al propietario. Para solicitar dicho registro, el propietario deberá proporcionar la siguiente información según corresponda

información, según corresponda:

- a. Nombre del propietario, Rut, dirección.
- b. Nombre del representante legal, Rut, dirección, en su caso.
- c. Dirección de la instalación del equipo.
- d. Nombre del fabricante.
- e. Número de fabricación y año.
- f. Superficie de calefacción.
- g. Presión máxima de trabajo en kg/cm².
- h. Producción de vapor en kg/hr.
- i. Tipo(s) de combustible(s) empleado(s) y consumo por kg/hr.
- j. Tipo de aislación térmica del equipo y red de distribución de vapor y agua caliente.
- k. Volumen en litros o metros cúbicos.
- l. Informe técnico emitido por un profesional facultado, que dé cuenta del cumplimiento por una caldera o autoclave de las exigencias de este reglamento.
- m. Identificación del profesional facultado que efectúa el informe técnico.
- n. Certificado de prueba hidráulica al término de la fabricación, respecto de calderas, autoclaves y equipos que utilizan vapor de agua, nuevos y sin uso.
- o. Copia del manual de operación del equipo en español.
- p. Sistema de tratamiento de agua de alimentación.
- q. Catálogo de la caldera o autoclave.
- r. Plano general de planta a escala, de la instalación y de la sala de caldera. En ambos casos se deberá indicar la ubicación y dirección de la red de fluido, puntos de consumo identificando el tipo de equipo, depósito de combustible, estanque de alimentación de agua, purgas y accesorios.
- s. Inscripción de la declaración en la Superintendencia de Electricidad y Combustibles SEC, de la instalación eléctrica y suministro de combustibles líquidos y gaseosos.
- t. Resolución de Calificación Ambiental, cuando corresponda.
- u. Indicar norma de diseño y normas técnicas de construcción de la caldera y autoclave.
- v. Libro de vida de la caldera y autoclave, foliado, tamaño oficio.
- w. Copia de documento que acredita el registro del equipo, cuando se trate de aquellos que han sido trasladados o transferidos.

La modificación o cambio de alguno de los antecedentes presentados para su incorporación al registro, debe contar con autorización previa de la autoridad sanitaria.

Ilustración 1-6 Extracto DS N°10

Fuente: (Legislación Chilena, 2014)

- Toda caldera deberá tener un libro de vida durante toda su vida útil. Su propietario está obligado a mantenerlo y conservarlo en buen estado y a disposición de la autoridad sanitaria cuando esta lo solicite. Dicho libro contendrá una memoria explicativa en español con las especificaciones técnicas y cálculos de diseño de la caldera, con indicación de las normas nacionales o extranjeras empleadas, además se anotarán en él, por orden de fechas todos los datos y observaciones acerca de su funcionamiento, mantención, reparación, traslados y accidentes sufridos, así como las inspecciones, revisiones y pruebas efectuadas, muestreo de emisiones, incluyendo la certificación técnica.
- Toda caldera tendrá adosado a su cuerpo principal una placa metálica que indique en forma visible e indeleble, el nombre del fabricante, número de

fábrica, año de fabricación, número de registro asignado por la autoridad sanitaria y la presión máxima de trabajo para la cual fue diseñada.

Se encuentra un mayor detalle al respecto directamente en la biblioteca del congreso nacional de chile decreto 10 (Legislación Chilena, 2014)

1.4.8 Plan de mantenimiento actual Arauco

El mantenimiento en planta consta de rutas de inspección combinadas con un mantenimiento a la falla, el cual es llamado “Correctivo programado” a continuación se enseña un diagrama de flujo desarrollado durante la práctica profesional en la empresa.



Ilustración 1-7 Diagrama mantenimiento actual

Fuente: (Celulosa Arauco, 2016)

1.4.8.1 Mantenimiento al digestor

Existen grandes consideraciones a la hora de cuidar y mantener un equipo de esta envergadura, desde la limpieza básica, chequeos periódicos, reparaciones y ENDS.

A grandes rasgos el mantenimiento que se hace a cada digestor consiste en:

- Limpieza de líneas de flujo (vapor de alta, licor blanco, licor negro, desgase soplado, entre otras)
- Verificación del estado de cada válvula en todas las líneas
- Inspección visual en capota, líneas, equipos complementarios
- Pruebas hidrostáticas en digestor, intercambiador de calor y tanque de soplado.
- Inspección de ultrasonido al manto para determinar espesores.
- Ensayo de partículas magnéticas a uniones soldadas.
- Líquidos penetrantes a soldaduras según inspección visual
- Reparación de soldaduras en uniones de planchas de la capota y relleno con soldadura en manto con bajo espesor.

En las siguientes imágenes se detalla un extracto de la planificación de mantenimiento en parada general de planta 2019, realizado en MS Project para el digestor N°1

	Nombre de tarea	Duración	Comienzo
1	▲ CE04-MANTENCION/CERTIFICACION DIGESTOR 1	175,42 hrs	lun 25-02-19 13:02
2	▲ MANTENCION DIGESTOR 1	175,42 hrs	lun 25-02-19 13:02
3	▲ ACTIVIDADES PREVIAS	0 hrs	lun 25-02-19 13:02
6	REVISION CHECK LIST BLOQUEO	0 hrs	lun 25-02-19 13:02
10	TRASLADO DE HERRAMIENTAS Y MANIOBRAS	0 hrs	lun 25-02-19 13:02
11	CARRO REVERSA 431-140 EN POSICION	0 hrs	lun 25-02-19 13:02
12	PREPARAR PALETAS/EMPAQUES PARA INDEPENDIZACION	0 hrs	lun 25-02-19 13:02
17	PRUEBAS DE CARGA PARA ANDAMIO PARAGUA	0 hrs	lun 25-02-19 13:02
34	▲ MANTENCION INTERIOR DIGESTOR #1	169,42 hrs	lun 25-02-19 19:02
35	▲ INDEPENDIZAR DIGESTOR 1	5 hrs	lun 25-02-19 19:02
37	▲ PALETAS CRITICAS	3 hrs	lun 25-02-19 19:02
38	INSTALACION DE PALETA LINEA DE DESGASE SUPERIOR	1,5 hrs	lun 25-02-19 20:32
39	INSTALACION DE PALETA LINEA TOP BLOW	1,5 hrs	lun 25-02-19 19:02
40	INSTALACION DE PALETA EN LINEA SOPLADO	2 hrs	lun 25-02-19 19:02
41	INSTALACION DE PALETA EN LINEA DE DESGASE LATERAL	1,5 hrs	lun 25-02-19 19:02
42	INSTALACION DE PALETA LINEA ALIMENTACION DE LICOR (SIN ALIMENT LICOR A DIGESTORES)	1,5 hrs	lun 25-02-19 20:32
43	INSTALACION DE PALETA LINEA VMP POR EL FONDO	1 hr	lun 25-02-19 19:02
44	DESMONTAR CARRETILLA E INSTALAR FLANGE CIEGO EN LINEA VBP POR EL FONDO	1 hr	lun 25-02-19 20:02
45	▲ PALETAS E/S	2 hrs	lun 25-02-19 22:02
46	INSTALACION DE PALETA LINEA COMPACTACION SUPERIOR	1 hr	lun 25-02-19 22:02
47	INSTALACION DE PALETA EN LINEA AGUA DE MUESTRERO	30 m	lun 25-02-19 23:02
48	INSTALACION DE PALETA EN LINEA VAPOR DE MUESTRERO	30 m	lun 25-02-19 23:32
49	▲ INSPECCION Y REPARACION	124,5 hrs	mar 26-02-19 0:02
54	▲ APERTURA DIGESTOR 1	20 hrs	mar 26-02-19 0:02

	Nombre de tarea	Duración	Comienzo
54	▲ APERTURA DIGESTOR 1	20 hrs	mar 26-02-19 0:02
55	DESMONTAJE DE CHUTE CAPPING	1 hr	mar 26-02-19 0:02
56	INSTALACION DE MANIOBRAS	1 hr	mar 26-02-19 1:02
58	DESACOPLAR CAPPING Y DESMONTAJE CON IZAJE Y MANIOBRAS	4 hrs	mar 26-02-19 2:32
59	RETIRO DE CARRETILLA, MALLA Y COMPACTADOR	3 hrs	mar 26-02-19 6:32
60	MONTAJE VIGAS PARA PARAGUAS	3 hrs	mar 26-02-19 9:32
61	DESMONTAR TEE INFERIOR	3 hrs	mar 26-02-19 12:32
62	INSTALACION DE TIRFOR+ TECLE ELECTRICO + CUERDAS DE VIDA	2 hrs	mar 26-02-19 15:32
63	INSTALACION DE ANDAMIO PARAGUA	2 hrs	mar 26-02-19 17:32
64	MEDICION DE GASES DPR	30 m	mar 26-02-19 19:32
65	▲ INSPECCION, REPARACION DE HARNERO Y CERTIFICACION DIGESTOR 1	104,5 hrs	mar 26-02-19 20:02
66	DESCENSO CON ANDAMIO PARAGUA E INSPECCION	30 m	mar 26-02-19 20:02
68	DESMONTAJE Y RETIRO DE MALLA HARNEROS	10 hrs	mar 26-02-19 20:32
76	▲ REPARACION SEGUN INSPECCION	40 hrs	mié 27-02-19 18:32
79	REPARACION HALLAZGOS EN REPARACION	5 hrs	vie 01-03-19 5:32
80	V°B° REPARACION	0 hrs	vie 01-03-19 10:32
81	INSTALACION DE HARNEROS	40 hrs	vie 01-03-19 10:32
83	V°B° HARNEROS	0 hrs	dom 03-03-19 4:32
84	▲ PH DIGESTOR 1	20,92 hrs	dom 03-03-19 4:32
85	▲ PREPARATIVOS PH DIGESTOR 1	10,5 hrs	dom 03-03-19 4:32
86	RETIRO DE ANDAMIO PARAGUA	2 hrs	dom 03-03-19 4:32
87	MONTAJE TEE INFERIOR / TORQUE	4 hrs	dom 03-03-19 6:32
95	INSTALAR TAPA PH CARRETILLA SUPERIOR	2 hrs	dom 03-03-19 19:02
96	INFORMAR A AUTORIDAD DE EJECUCION PH	10 m	dom 03-03-19 21:02
97	INSTALAR BBA DE ALTA PRESION	40 m	dom 03-03-19 21:12

	Nombre de tarea ▼	Duración ▼	Comienzo ▼
97	INSTALAR BBA DE ALTA PRESION	40 m	dom 03-03-19 21:12
98	SUBIR PRES. 1.5 VECES PRES. TRAB. (P. T. 8 Kg/Cm2)	2 hrs	dom 03-03-19 21:52
100	MANTENER PRESION POR UN MINIMO DE 15 M	15 m	lun 04-03-19 0:12
101	DESPRESURIZAR Y VACIAR DIGESTOR	1 hr	lun 04-03-19 0:27
102	▲ CIERRE DIGESTOR 1	15 hrs	lun 04-03-19 1:27
103	DESMONTAJE DE CUERDAS DE VIDA+ TIRFOR + TECLE ELECTRICO	2 hrs	lun 04-03-19 1:27
104	DESMONTAJE DE VIGAS PARAGUA	3 hrs	lun 04-03-19 3:27
105	MONTAJE PLETINA/COMPACTADOR + CARRETILLA + MALLA / TORQUE	3 hrs	lun 04-03-19 6:27
106	MONTAJE CAPPING / TORQUE	4,5 hrs	lun 04-03-19 9:27
107	RETIRO DE MANIOBRAS	1 hr	lun 04-03-19 13:57
108	MONTAJE DE CHUTE CAPPING	1 hr	lun 04-03-19 14:57
110	▲ NORMALIZAR DIGESTOR 1	4 hrs	lun 04-03-19 16:27
111	▲ PALETAS E/S	1 hr	lun 04-03-19 16:27
112	RETIRO DE PALETA Y NORMALIZAR LINEA COMPACTACION SUPERIOR	1 hr	lun 04-03-19 16:27
113	RETIRO DE PALETA Y NORMALIZAR EN LINEA VAPOR DE MUESTRERO	30 m	lun 04-03-19 16:27
114	RETIRO DE PALETA Y NORMALIZAR EN LINEA AGUA DE MUESTRERO	30 m	lun 04-03-19 16:57
115	RETIRO DE PALETA Y NORMALIZAR EN VAPOR POR EL FONDO	1 hr	lun 04-03-19 16:27
118	▲ PALETAS CRITICAS	3 hrs	lun 04-03-19 17:27
119	RETIRO DE PALETA CIEGA Y NORMALIZAR LINEA DESAGASE LATERAL (SIN CARGA DE ASTILLA)	1 hr	lun 04-03-19 17:27
120	RETIRO DE PALETA Y NORMALIZAR LINEA DE LICOR (SIN CARGA DE LICOR)	1 hr	lun 04-03-19 18:27
121	RETIRO Y NORMALIZAR PALETA EN LINEA SOPLADO	2 hrs	lun 04-03-19 18:27
122	RETIRO Y NORMALIZAR PALETA LINEA TOP BLOW	1,5 hrs	lun 04-03-19 18:27
123	RETIRO Y NORMALIZAR PALETA LINEA DE DESGASE SUPERIOR	1 hr	lun 04-03-19 17:27

Ilustración 1-8 Planificación parada de planta digestor 1-2019

Fuente: (Celulosa Arauco planta Licancel, 2019)

A continuación, se muestra una comparativa de informes realizado por IQS, empresa contratista que presta servicios a Arauco en los años 2016 y 2019 al digestor 621-001

En el croquis se muestra los puntos de medición a analizar, los cuales serán comparados por Rango de espesores.

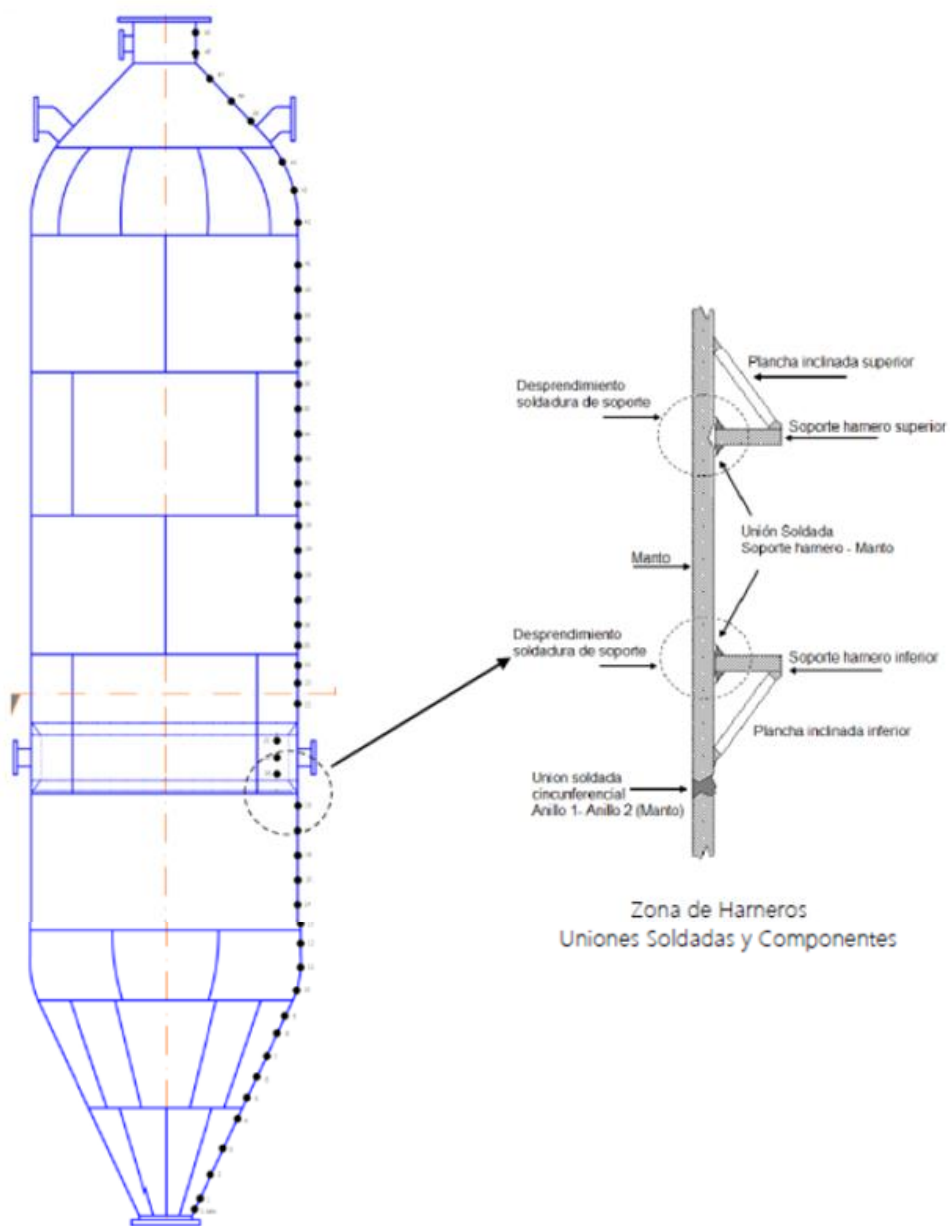


Ilustración 1-9 Esquema puntos de medición

Fuente: (IQS)

- Informe realizado en parada de planta, febrero 2019

Medición de espesores al interior del Digestor

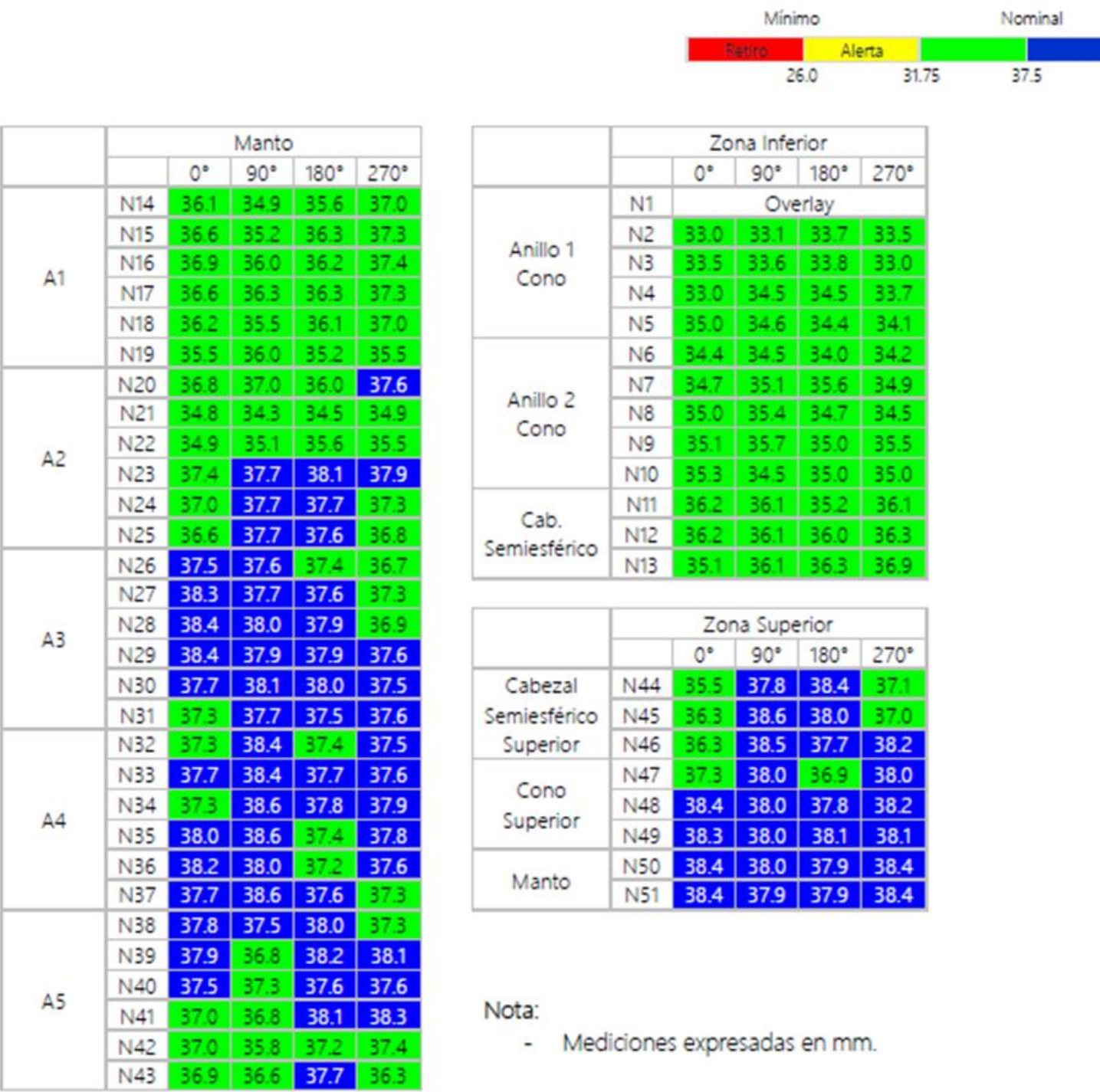
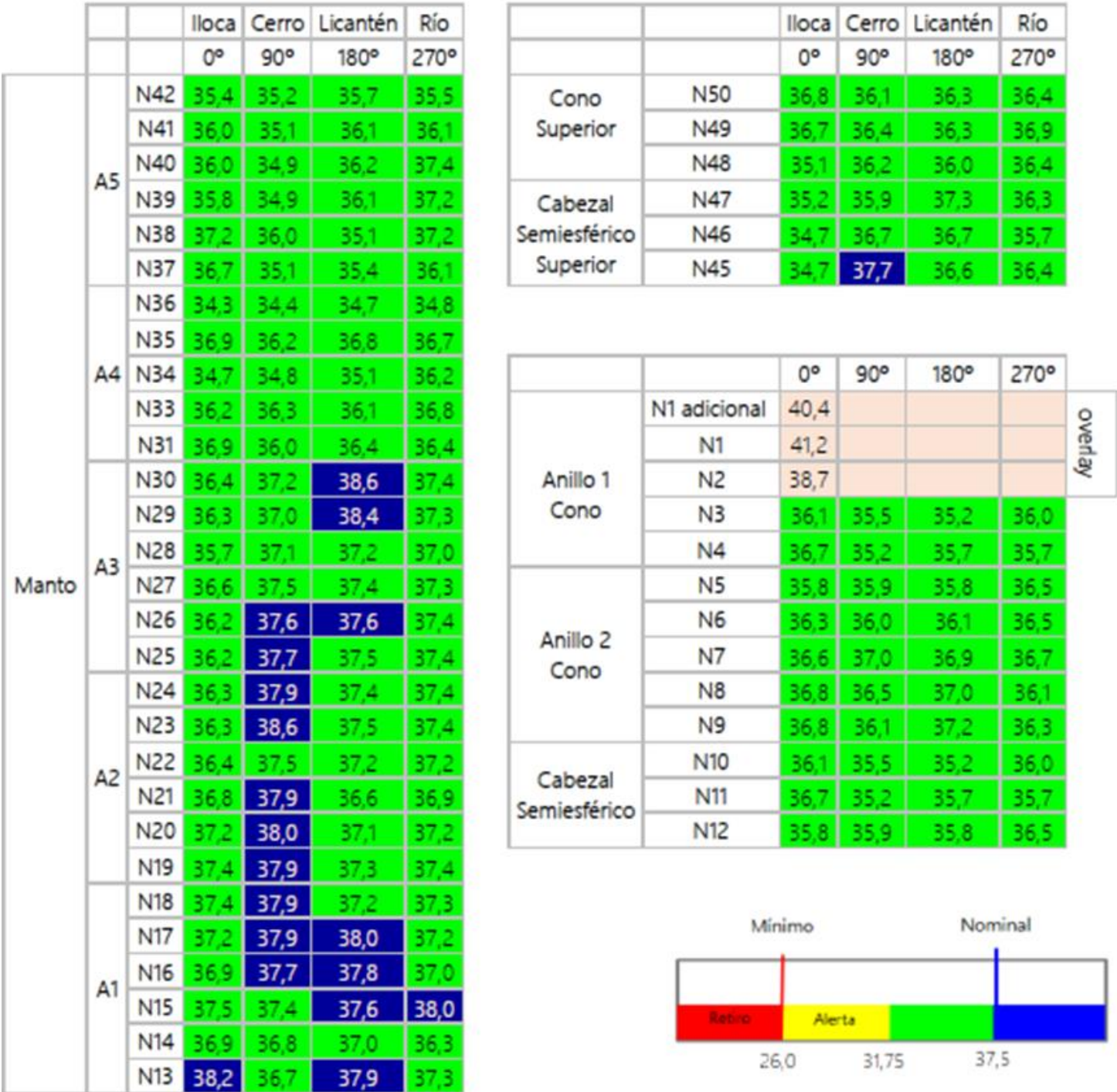


Ilustración 1-10 Datos obtenidos por medición

Fuente: (IQS)

- Informe realizado en parada de planta, julio 2016

4.1 MEDICIÓN DE ESPESORES EN CONO INFERIOR, MANO Y CABEZAL SUPERIOR



- Valores expresados en mm.

Ilustración 1-11 Datos obtenidos por medición

Fuente: (IQS)

Con respecto a la ruta crítica, a continuación, se detalla una planilla Excel con las inspecciones semanales a realizar en área de digestores

1	Ruta Critica 12065, R19		Chequear Ruidos / temperatura	Revisar condiciones de Seguridad	Revision de estado Base/Anclaje	Verificar Sist.Transmisión y/o acoplamiento	Verificar estado Estructuras/Bateas	Verificar Nivel Aceite / Grasa	Revisar polines de carga, retorno, vela	Inspeccion de empalmes y estado de cinta	revision de guarderas y raspadores	chequeo de estado superficial tambores	Chequeo estatus alabes	chequeo estado de canoa	Condiciones Sello Mecánico/prensa estopa/Filtraciones	Chequeo de angulo de ataque	Chequeo de seguros en candados eslabones	Área DIGESTORES	
2	ZPP																	Jefe área :	
3	Texto: Ruta Inspección Crítica Mecánica																	Supervisor:	
4	Área: 621																	Fecha inspección : / /	
5	Responsable:																	Realizado por :	
6	Recurso: 1,5 HH																		
7	Frecuencia: 1 Semanas																	Firma :	
8	Pto. Maestro: 394520																		
9																			
10		Texto breve Operación	GENERAL			CINTAS			TORNILLOS	ROTATORIOS	TRASPORTADORES	Observaciones							
11	1	BBA CIRCULACION DIGESTOR N°5																	
12	2	BBA CIRCULACION DIGESTOR N°1																	
13	3	BBA CIRCULACION DIGESTOR N°2																	
14	4	BBA CIRCULACION DIGESTOR N°3																	
15	5	BBA CIRCULACION DIGESTOR N°4																	
16	6	EXTRACTOR DE GASES CICLON																	
17	7	BBA LICOR BLANCO-NEGRO A DIGESTORES																	
18	8	BBA 02 LICOR BLANCO-NEGRO A DIGESTORES																	
19	9	DIGESTOR N° 5																	
20	10	DIGESTOR N° 1																	
21	11	DIGESTOR N° 2																	
22	12	DIGESTOR N° 3																	
23	13	DIGESTOR N° 4																	
24	14	MUESTRERO DIGESTOR N° 5																	
25	15	MUESTRERO DIGESTOR N° 1																	
26	16	MUESTRERO DIGESTOR N° 2																	
27	17	MUESTRERO DIGESTOR N° 3																	
28	18	MUESTRERO DIGESTOR N° 4																	
29	24	BBA RECIRCULAC.AGUA CALIENTE																	
30	25	BBA H2O CALIEN.CONTAM. TK COND																	
31	26	BBA TRANSFER.AGUA CALIENTE CON																	
32	27	BBA AGUA TIBIA A INTERCAMBIAD.																	
33	28	BBA AGUA SELLO-BBAS.CIRC.DIG																	
34	29	BBA AGUA DILUCION REGADERAS																	
35	30	BBA AGUA TIBIA																	
36	31	BBA AGUA CALIENTE BLANQUEO																	
37	32	BBA AGUA CALIENTE A SECADO																	
38	33	INTERCAMBIADOR DE CALOR AGUA CALIENTE																	
39	34	INTERCAMB.RECUPERAC.CALOR N°1																	
40	35	INTERCAMB.RECUPERAC.CALOR N°2																	
41	36	INTERCAMB. RECUPERAC.CALOR N°3																	
42	37	TK ACUM.AGUA CALIENTE CONTAMIN																	
43	38	TK AGUA CALIENTE																	
44	39	CONDENSADOR CONTACTO DIRECTO																	

Ilustración 1-12 Ruta de trabajo crítico

Fuente: (Celulosa Arauco, 2016)

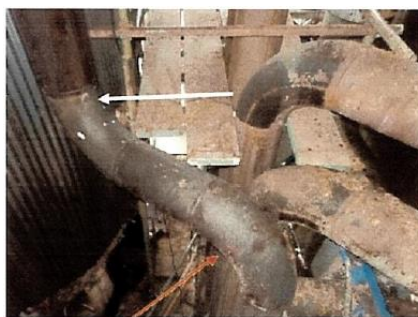
¿Qué pasa si el mantenimiento no queda bien?

Si no cumple con los estándares mínimos se detienen todos los equipos no certificados y por ende la producción de la planta ya que se sabe que es aquí donde se obtiene la pasta de celulosa por lo tanto dichos informes son primordiales para la acreditación de los equipos y la economía de la planta.

1.4.8.2 Fallas frecuentes

Analizando los informes y recopilando información de planta, se tiene que las fallas que se repiten en los digestores son en su gran mayoría:

- Suciedad extrema debido al mismo proceso de cocción y separación lignina/celulosa
- desgaste de material en capota, las que se combaten con relleno de soldadura.
- Rotura de líneas, las que son repuestas por el tramo necesario.



Curva N° 15 Marcada con flecha de color blanco
Línea de Recirculación Cambiada Durante la PGP

Ilustración 1-13 Tramo de línea cambiada

Fuente: (Celulosa Arauco, 2016)

- Obstrucción en líneas de fluido debido a acumulación de material, por lo que a estas se les realiza lavado.
- Fallo de válvulas, las que se reparan o si es necesario se cambian dependiendo la vida útil y su estado.
- Rotura en uniones soldadas, las cuales se vuelven a soldar o rellenar.
- Daño de harneros lo que implica pérdidas de refuerzo o soldadura esto debido a una corrosión o erosión.



Ilustración 1-14 Evidencia de rotura en harneros

Fuente: (Celulosa Arauco, 2016)

1.4.8.3 Debilidades de herramientas utilizadas

En la actualidad, Arauco para su proceso de detección, traspaso y respaldo de información utiliza:

- Tablas de datos: las que muchas veces no son actualizadas o no son compartidas entre los ingenieros a cargo, por lo que es una información centralizada.
- Informes: Los cuales son archivados en carpetas que se encuentran en una nube en común que conecta a todos los ingenieros de área y encargados, si bien es un método de conexión viable no es el más favorable ya que dentro de esa nube no existe un orden óptimo de los archivos debido a que cada ingeniero posee una subcarpeta con su nombre en la cual ordena y nombra cada archivo como el estime conveniente, lo cual muchas veces no es la forma correcta respecto a lo que conlleva un favorable orden de dicha información.

- PROJECT INFORMATION**

PROJECT NO.	21-24
DATE	10/1/64
DESIGNED BY	J. H. HARRIS
CHECKED BY	J. H. HARRIS
APPROVED BY	J. H. HARRIS

LEGEND

1	1000 GAL. TANK
2	2000 GAL. TANK
3	3000 GAL. TANK
4	4000 GAL. TANK
5	5000 GAL. TANK
6	6000 GAL. TANK
7	7000 GAL. TANK
8	8000 GAL. TANK
9	9000 GAL. TANK
10	10000 GAL. TANK

SCALE

1" = 10'

NOTES

 - ALL TANKS TO BE CONSTRUCTED OF STEEL.
 - ALL TANKS TO BE INSULATED.
 - ALL TANKS TO BE PAINTED.
 - ALL TANKS TO BE CLEANED.
 - ALL TANKS TO BE TESTED.
 - ALL TANKS TO BE OPERATED.
 - ALL TANKS TO BE MAINTAINED.
 - ALL TANKS TO BE REPAIRED.
 - ALL TANKS TO BE REPLACED.
 - ALL TANKS TO BE REMOVED.

Fuente: (Celulosa Arauco, 2016)

- 25

- Planificación: Para la planificación de PGP se le pide a cada planificador de las áreas que son 4(madera y pulpa; recuperación química y caustificación; calderas y evaporadores; lavado y secado) realizar una carta Gantt en MS Project de las tareas a realizar, pero también por otro lado se le pide a cada encargado de subáreas que realice su propia planificación ya sea lavado de alta presión, electro control, entre otros. Esto produce que exista una repetición de tareas lo cual conllevaría pérdidas de tiempo, mano de obra y monetaria y por otro lado existe una no contemplación de tareas lo que significa la no reparación de avería que a futuro podría afectar a la productividad e incluso a la seguridad del personal.

1.4.9 Análisis del problema

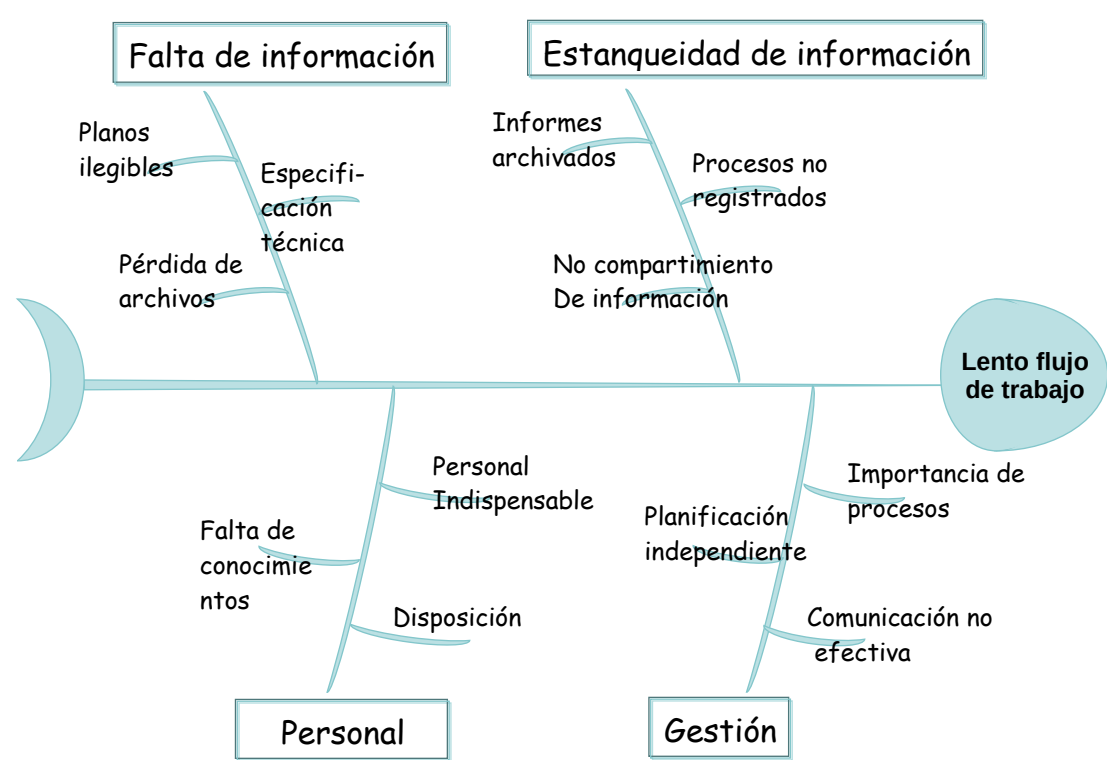


Ilustración 1-16 Diagrama de Ishikawa
Fuente: (Romero, 2019)

Debido a lo mencionado y a las gestiones realizadas surgen algunas interrogantes:

- ¿Por qué no se actualizan las herramientas de análisis del mantenimiento para un equipo tan crítico?
- ¿No se le debería dar otro tipo de importancia a este tipo de proceso?
- ¿Qué se puede realizar o utilizar en la industria para mitigar este tipo de sucesos?

Es allí donde surge la propuesta de utilizar la lógica BIM en post a una mejora continua.

CAPÍTULO II:
EL BIM Y SUS BENEFICIOS

2.1 Definiciones

La AIA define BIM como una representación digital de las características físicas y funcionales de un proyecto. El término "Model" puede describir uno o varios modelos utilizados en el conjunto. BIM se refiere al proceso y tecnología usados para crear el modelo. (American institute of architects, 2015)

La NBS indica que BIM es una representación de las características físicas y funcionales de una infraestructura. Un modelo BIM es una fuente compartida de información acerca de la infraestructura, formando una base confiable para decisiones durante su ciclo de vida, desde la concepción más temprana hasta su demolición. (National BIM standards, 2015)

Autodesk, la reconocida compañía norteamericana, indica que BIM es un proceso basado en modelo inteligente que proporciona una visión para ayudar a planificar, diseñar, construir y gestionar edificios e infraestructuras. (Autodesk, 2015)

Respecto a dichas definiciones y englobando, el BIM consigue que toda la información de un proyecto se mantenga integrada y conectada en un modelo único, de manera que cuando se realice algún cambio o modificación en dicho proyecto se ejecute de manera global, lo cual garantiza la integridad y la actualización de todos los datos. Esto permite trabajar en el mismo proyecto e incluso de manera simultánea distintas empresas y/o profesionales.

2.2 Inicios

Para entender un poco más este sistema de gestión que está revolucionando al mundo en la última década, se debe entender de dónde surgió y el camino a recorrer para ser el sólido BIM que hoy se conoce, siendo los registros más importantes en:

- 1963: Iván Sutherland desarrolla el primer sistema de CAD denominado "Sketchpad"
- 1974: El arquitecto Charles Eastman realiza una crítica a la falta de coherencia en la información arquitectónica al no estar de tallada en un único modelo, por lo que desarrolla BDS (sistema de descripción en edificación) el cual aborda el problema de proyecto desde una base de datos en la cual se unifica toda la información.
- 1982: Nace el software AutoCAD de la reconocida empresa AutoDesk.
- 1984: George Nemetschek crea el que es considerado el segundo software de BIM llamado "Allplan"
- 1993: Graphisoft crea la primera versión de ArchiCAD para sistema Windows.
- 2002: AutoDesk Compra a la empresa Revit, la cual no genera grandes cambios en su plataforma hasta el año 2009.
- 2010: Revit realiza un gran cambio en su interface la que lo ha consagrado como el software más importante de BIM hasta el día de hoy.

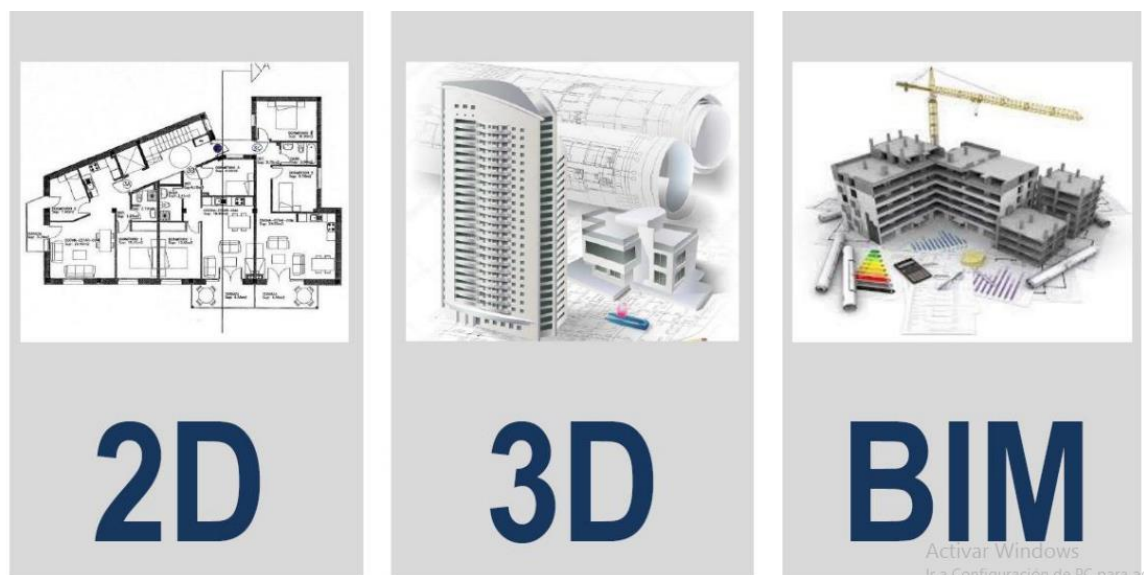


Ilustración 2-1 Diferencias visibles entre 2D, 3D y BIM

Fuente: (MOP-Plan BIM)

2.3 Implantación del BIM

2.3.1 En el mundo

Los softwares consolidados con BIM son: ArchiCAD, Revit o Allplan (entre otros), los cuales trabajan con este tipo de metodología que se ha convertido en la herramienta que hoy en día se impone y se está implantando cada vez en más países. EEUU y Europa lideran el desarrollo y la aplicación de este método. Una comparativa realizada por la comunidad BIM denota que en 2009 el 49% de las empresas americanas ya migraban al BIM, por otro lado, Europa liderada principalmente por Francia había alcanzado un 36% de la migración, este último además adoptó una ley que obliga a que todos los proyectos de más de 20 millones de euros deben registrarse en base al BIM. Por su parte, el Reino Unido obliga a utilizar el BIM para proyectos gubernamentales, esto desde 2016. Rusia obliga desde este año a todos los proyectos de construcción a registrarse bajo este método de gestión.

En cuanto a los países más orientales. Desde 2013, los proyectos de Dubai son BIM de manera obligatoria. Singapur tiene una ruta de guía BIM que pretende estandarizar la industria a partir del 2015, que estipula el uso BIM para proyectos de más de 5000 m². China también ha desarrollado una Guía BIM en un Plan Nacional y en 2014 ya desarrollaron una estrategia de implantación BIM, donde se espera que en 2019 un 30% de los proyectos se realicen bajo este estándar. Hong Kong y Taiwán lideran la migración BIM.

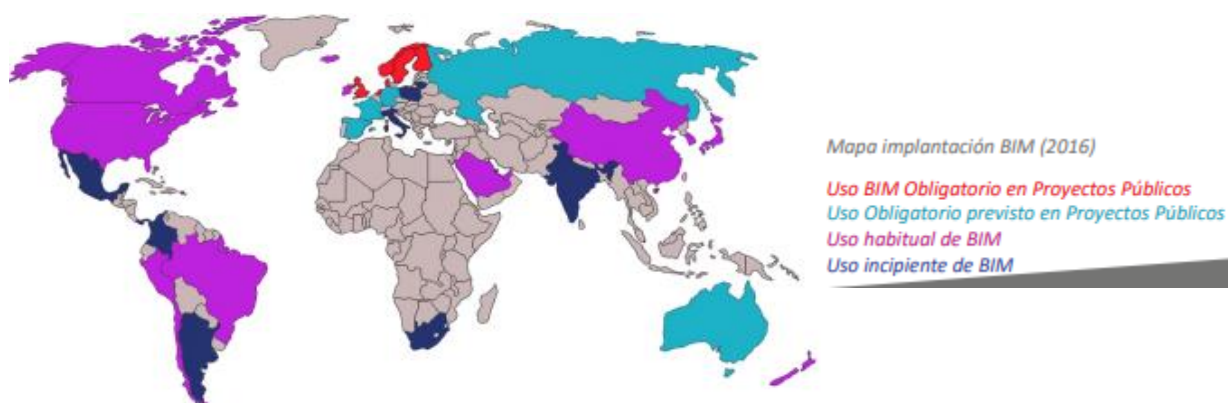


Ilustración 2-2 Mapa implantación BIM

Fuente: (building SMART)

2.3.2 En Chile

El gobierno de Chile mediante la iniciativa de CORFO y el apoyo del MOP están desarrollando "Plan BIM" desde 2016 que como lo dice en su sitio web "tiene como una de sus metas la utilización de la metodología BIM para el desarrollo y operación de proyectos de edificación e infraestructura pública al año 2020. El Plan tiene como objetivo incrementar la productividad y sustentabilidad-social, económica y ambiental de la industria de la construcción mediante la incorporación de procesos, metodologías de trabajo y tecnologías de información y comunicaciones que promuevan su modernización a lo largo de todo el ciclo de vida de las obras"

Plan BIM ha resumido según sus términos y estudios los beneficios de este:

- Mejorar la información de datos e información compleja de proyectos.
- Los modelos 3D facilitan la comprensión de un proyecto y un mejor manejo de las expectativas de los clientes.
- Facilita la comunicación, trazabilidad y transparencia de la información optimizando los flujos de trabajo.
- Facilita la integración, actualización y coordinación de toda la información generada por los diferentes actores en un proyecto, fomentando el trabajo colaborativo e interdisciplinario.
- Permite simular y planificar medidas de seguridad y prevención de riesgos.
- Facilita el uso de componentes constructivos prefabricados, haciendo más eficiente la construcción.
- Permite mejorar la calidad de los proyectos.
- Permite reducir la generación de residuos.
- Permite reducir los plazos de entrega y costos de proyectos.
- Permite el desarrollo de diseños más eficientes y sustentables, disminuyendo el consumo de energía y emisiones.

A nivel nacional el proveedor de softwares del ámbito BIM que se ha consolidado es AutoDesk debido a su ya instauración en otros softwares de 2D y 3D.

2.4 **Aplicaciones**

El BIM posee su mayor fuerte en edificación, pero hay diversas aplicaciones en la que poco a poco se va utilizando debido a sus grandes beneficios.

2.4.1 Construcción

Como ya se ha especificado, a nivel mundial el BIM llega a cambiar la metodología tradicional que se basa en la construcción mediante planos 2D e información segmentada, queda en evidencia que dicho método es lento y difícil de interpretar, claro ejemplo es la construcción fallida del puente Cau-Cau.

Es por eso que el BIM llega a quedarse y transformarse en norma de la construcción en un gran número de países.



Ilustración 2-3 Aplicación en construcción

Fuente: (BIM en el mundo)



Ilustración 2-4 Contraste BIM construcción y planificación

Fuente: (BIM en el mundo)

2.4.2 Instalaciones

En cuanto a instalaciones, existe BIM MEP específicamente para aplicación en esto, ya sea red eléctrica, red informática, piping y otros.

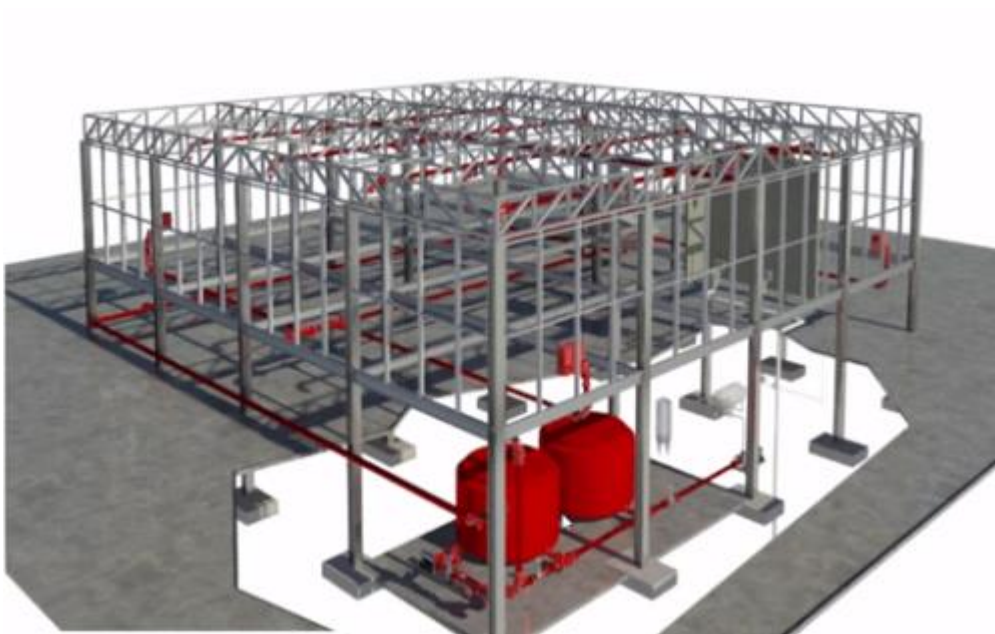


Ilustración 2-5 Aplicación en Instalaciones

Fuente: (BIM en el mundo)

2.5 Beneficios con BIM

El principal beneficio es la rápida y directa obtención de la información, a continuación, se muestra una serie de capturas realizadas al programa Navisworks de AutoDesk donde se observa de manera concreta la obtención eficaz de la información

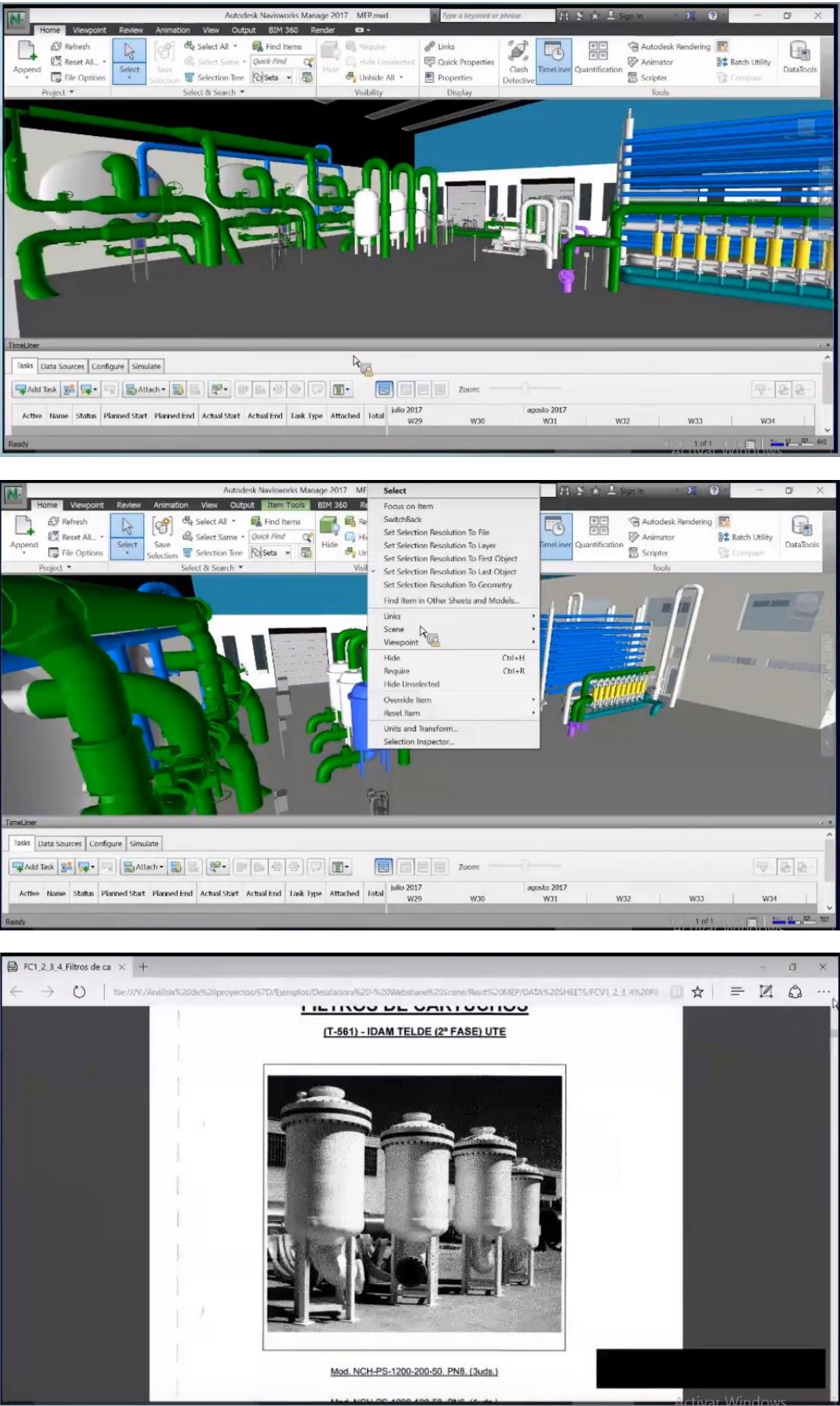


Ilustración 2-6 Captura Información Navisworks

Fuente: (Jimenez, 2017)

2.5.1 Trabajo colaborativo

Una de las grandes fallas en las empresas es que cada participante realiza su trabajo de forma independiente, con BIM se intenta evitar esto, trabajar en equipo no en grupo.

2.5.1 Información respaldada

En el proyecto, el modelado virtual puede contener toda la información que se quiera, ya sea mediante metadatos o adjuntando enlaces de documentos externos (sitios web del fabricante, catálogos digitales, documentos en la nube de datos). Dicha información puede contener datos que van desde los planos del objeto, tipo de material, fabricante, rangos de trabajo, eficiencia, tiempos de ejecución, procedimientos del mantenimiento, tabla de costos, catálogos de cotizaciones, paso a paso de trabajos de mantenimiento y un sinnúmero de datos que se quieran adjuntar y sean favorables para el proyecto. Debido a esta digitalización de la información y el fácil acceso e interconexión de esta se disminuye considerablemente el tiempo de trabajo al momento de requerir de dicha información para ejecutar cierta labor, además se posee un respaldo de toda ella.

2.5.1 Facilidad de acceso e interpretación de la información

Una vez implementado el BIM, acceder a la base de datos donde se encuentra la información es sencillo, bastan un par de clicks para ver el historial de mantenimiento, manuales, rangos de trabajo, tipo de materiales. Esto ayudado de la visualización en 3D del equipo o área al cual se le realizará el mantenimiento

2.5.2 Interoperabilidad

La interoperabilidad es uno de los mayores beneficios y revolución del BIM, ya que posee la capacidad de intercambiar datos entre diferentes softwares BIM, esto se realiza a través de un conjunto común de formatos de intercambio, para leer y escribir los mismos formatos de archivo y para poder utilizar los mismos protocolos.

La interoperabilidad dentro del BIM permite uniformar el flujo de trabajo y facilita la automatización de los distintos procesos que conlleva el proyecto.

¿Cómo se utiliza?

Existen diferentes formatos para importar y exportar modelos BIM, aunque se debe tener en consideración que unos son más permisivos que otros. Obviamente si se están relacionando programas de una misma empresa todo resulta más favorecido, por otro lado, al relacionar programas de empresas diferentes aún no se ha desarrollado lo suficiente para obtener el intercambio de manera satisfactoria.

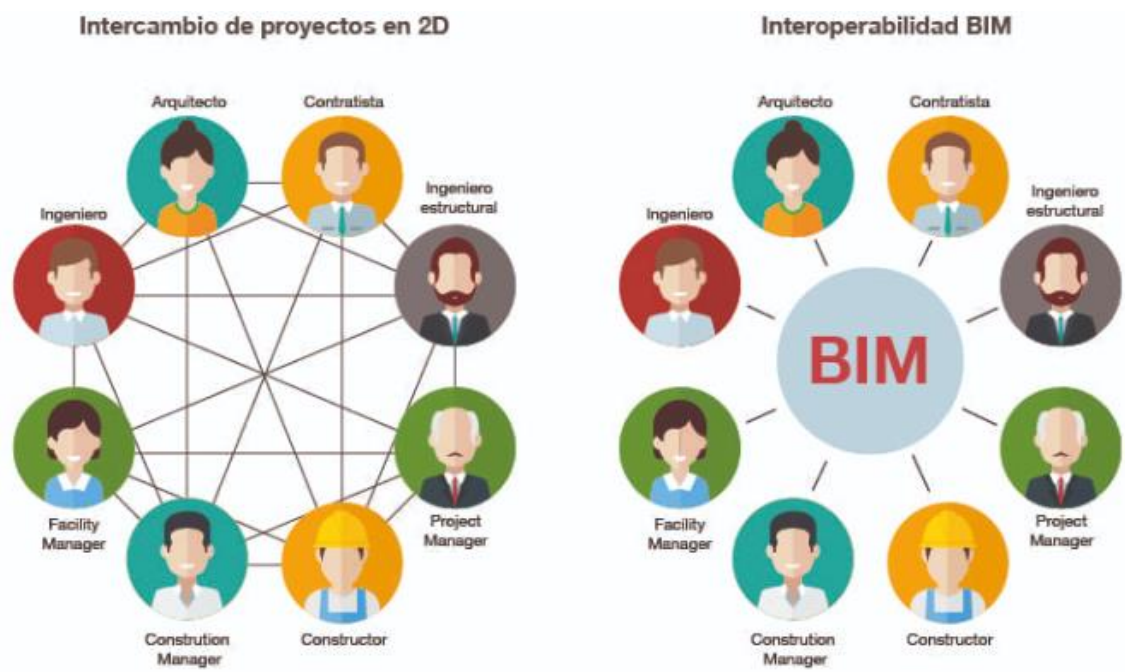


Ilustración 2-7 Interoperabilidad

Fuente: (building SMART)

Autodesk posee “BIM 360 DESIGN”, es su plataforma en la nube de trabajo colaborativo. Esto permite un óptimo compartimiento de información incluso estando los ingenieros colaboradores en otro continente, ya que mediante un servidor se conectan a un único proyecto central.

2.5.3 Restricciones entre usuarios

Dentro de la edición de datos se pueden aplicar ciertas restricciones para los usuarios del proyecto, por ejemplo para un proyecto que consta infraestructura cañerías y líneas eléctricas se puede aplicar la restricción para que el/los ingeniero/s civil, el/los arquitecto/s, ingeniero/s eléctrico/s e ingeniero/s mecánico/ puedan editar cada uno su propia área o trabajo otorgado, pero que a la vez puedan visualizar lo que el otro ingeniero desarrolla en su área sin poder editarlo a menos que este le otorgue dicho permiso de edición y colaboración.

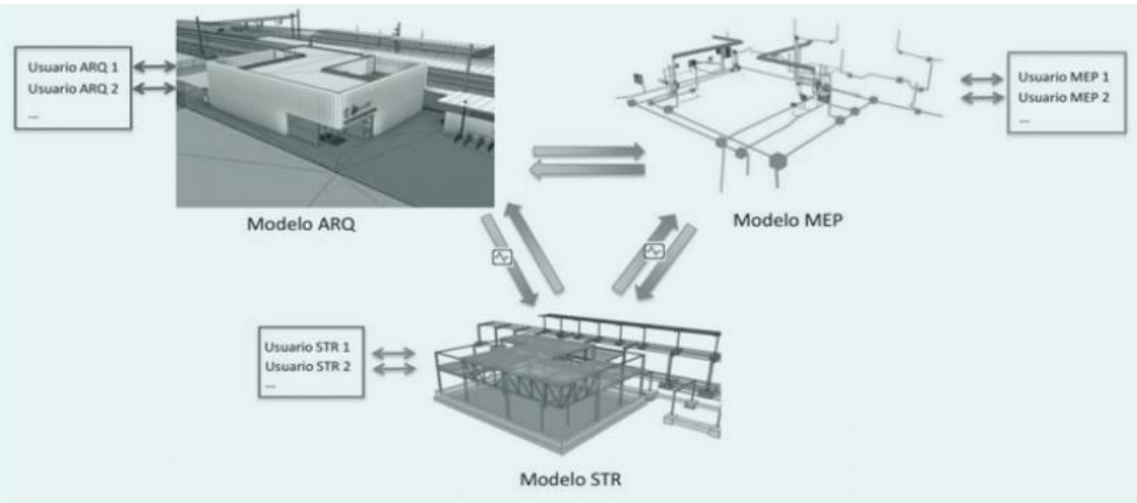


Ilustración 2-8 modelo según especialidad

Fuente: (EspacioBIM, 2019)

2.5.4 Nube de puntos

Se ha dado a conocer que la metodología BIM se basa en la construcción de proyectos desde su inicio, sin embargo, se puede llevar a edificaciones que ya están construidas. Uno de los métodos que se utiliza desde los inicios de la homologación del BIM al mantenimiento industrial es realizar un levantamiento de los equipos y componentes y modelarlos en un software 3D, acción que significa mucho tiempo y mano de obra invertidos, es por esto que, en post de una mejora continua y optimización del proceso, ha nacido una nueva tecnología llamada “Nube de puntos” que revoluciona el levantamiento de edificaciones.

¿Qué es?, “Se trata de un conjunto de datos de puntos ubicados en un sistema de coordenadas tridimensional, estos puntos son definidos por coordenadas X, Y y Z, y finalmente están destinados a representar la superficie externa de un objeto. Las nubes de puntos son creadas por escáneres 3D, que miden un gran número de puntos en la superficie de un objeto y producen un archivo de datos que representa el conjunto de puntos que ha medido el dispositivo. Este archivo contiene toda la información métrica de las superficies escaneadas, así como la relativa a su color y reflectividad del material, y por tanto tiene toda la información que puede ser de interés para el análisis y el estudio del elemento.” (Idea Ingeniería, 2019)

En el sector industrial dicho scanner se utiliza para:

- control dimensional de fabricación de componentes que requieren tolerancias muy estrictas.
- Modificación de diseño en instalaciones existentes.
- Actualización de documentación existente (2D y 3D).
- Control de deformaciones y roturas por fatiga.
- Calibración de tanques, depósitos a presión y tuberías.
- Verificar, comparar y emitir informes dimensionales más completos que los tradicionales, al añadir una visión global de las desviaciones de la pieza.
- Verificar estado de los equipos

Un estudio realizado por la empresa española “Idea ingeniería” líder en tecnología, data lo siguiente:

Tabla 2-1 Beneficios nube de puntos

Beneficios	Descripción	%ahorro
Ahorro toma de datos	Disponer de la instalación en 3D a corto plazo	Hasta 60%
Ahorro en modelado de plantas existentes	Disponer de imágenes 3D para minimizar visitas innecesarias en obra	Hasta 40%
Ahorro económico	Importante reducción de costos en la captura de datos y análisis de elementos industriales	Hasta 20%
Minimizar errores	Eliminación o minimización de errores geométricos de posición y de forma de los elementos	Hasta 25%

Fuente: (Idea Ingeniería, 2019)

A continuación, se presentan una serie de proyectos realizados mediante nube de puntos.

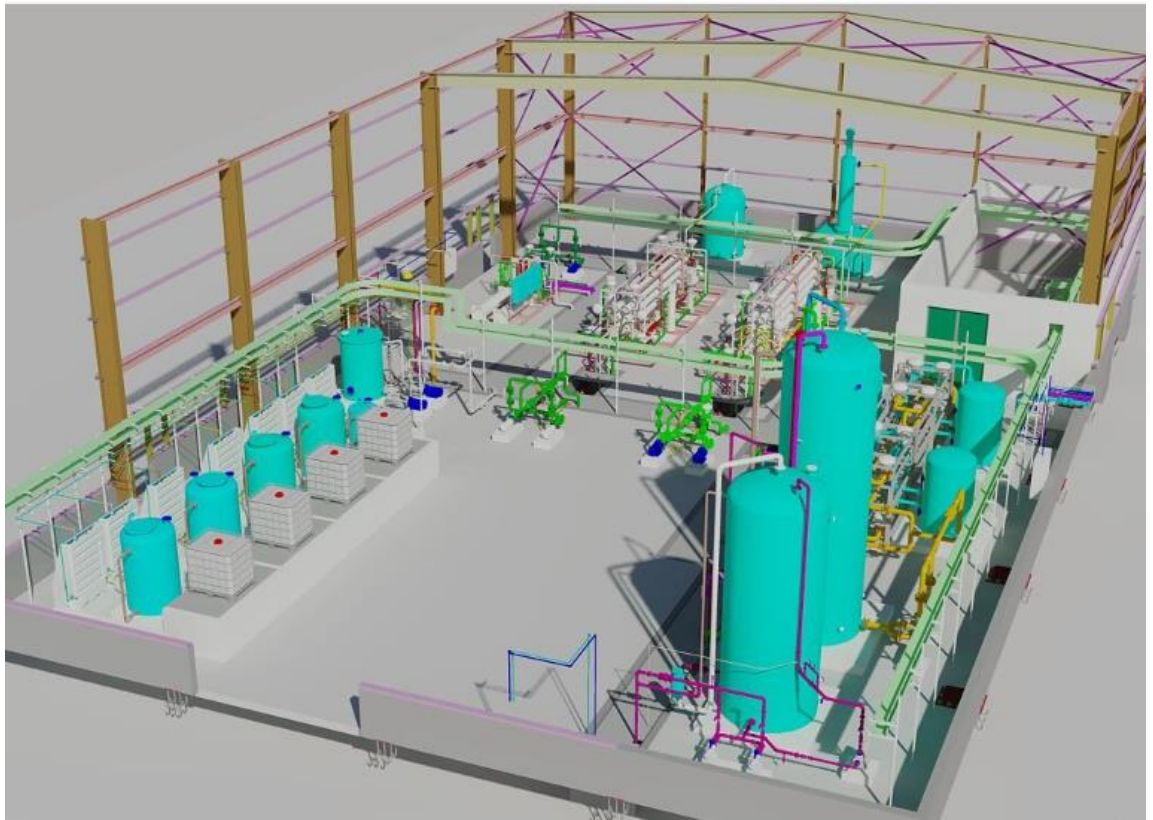


Ilustración 2-9 Ejemplos nube de puntos

Fuente: (MINICONSTRUCCIONES, 2019)



Ilustración 2-10 Proyecto realizado mediante nube de puntos
Fuente: (MINICONSTRUCCIONES, 2019)

¿Qué beneficios trae la nube de puntos?

Al utilizar esta metodología de modelado se ahorra gran cantidad de tiempo a la hora de modelar el área requerida de la planta, además de encontrar fallas de estructura debido a que al ser un escáner se puede determinar los puntos de mayor temperatura y sectores con evidente rotura o falta de material.

Entendido lo que es el BIM, donde se aplica y la adaptación que trae el mundo y el país al respecto. Se desea tomar este sistema de gestión y llevarlo al mantenimiento del digestor.

CAPÍTULO III:
BIM, IMPLEMENTACIÓN Y MEJORAS

3.1 adopción del BIM en una organización

Se denomina "Adopción BIM" a este proceso o camino total por el cual una organización transita desde el punto inicial previo a BIM hasta los estados más avanzados de total integración. La "madurez BIM" corresponde al estado dentro del proceso de adopción en que una organización se encuentra en un momento determinado. Un nivel superior de madurez BIM está asociado a mayores capacidades de este, y es sinónimo de mayor profundidad, calidad, consistencia y previsibilidad en las prestaciones y servicios BIM ofrecidos. (Terán, 2018)

El BIM pese a todos sus buenos beneficios y utilidades es un sistema complejo de implementar, ya sea por falta de interés, recursos, entendimiento o desorganización. Es sensible a muchos factores, ya sean internos o externos. Si bien la metodología a seguir y sus beneficios tienen un estándar global depende de la organización y sector en el que se aplique, ya que en ninguna organización existen los mismos problemas, poseen las mismas capacidades en cuanto a trabajadores y presupuesto por lo que obviamente se obtienen los beneficios de una forma diferente. En síntesis, la enorme variabilidad en cuanto a la forma de adoptar el BIM, los múltiples obstáculos a los que se puede enfrentar y la complejidad a la hora de tomar decisiones son las amenazas que dicho sistema de gestión posee. Aun así, es posible distinguir en todos los modelos de implementación una progresión en cuanto a la organización ya que al estar implementando el BIM primeramente se ven las debilidades de la gestión realizada y al encontrar dichas debilidades de una forma u otra estas serán mejoradas. En cuanto a la implementación es recomendable iniciarla en un pequeño proyecto, proceso o equipo de la empresa ya que de esa forma se obtiene una retroalimentación de dicha implementación y optimiza el proceso en una futura labor de mayor envergadura.

Para adoptar el BIM existe una fase inicial a la cual la gestión de Arauco pertenece. En un comienzo la empresa va a ingresar en un estado de "pre-BIM", que puede ser sin ningún uso de tecnología o un uso precario de esta (documentación en papel y procedimientos manuales). Es por eso, que en algún momento y por razones que pueden ir desde la exigencia de un directivo o hasta la propia iniciativa en busca de un objetivo específico que se decide recurrir al BIM. El proceso de implementación puede ser muy organizado y planificado, por ejemplo, asistido por empresas consultoras que actualizan la infraestructura tecnológica y capacitan al personal o puede ser totalmente orgánico con una implementación sobre la marcha en base a ensayo y error. Típicamente, los primeros beneficios que se obtienen derivan de la representación 3D en un software BIM consiguiendo una mejor visualización del modelo y generación de documentación sin inconsistencias.

Como ocurre en toda transformación organizacional motivada por una innovación tecnológica, para lograr avanzar en el proceso de adopción BIM y transitar de forma correcta y efectiva desde el estado "pre-BIM" a un estado de madurez BIM más avanzado, es necesario que exista progreso en tres dimensiones de gestión.

- Tecnología: corresponde a la infraestructura de software necesaria para realizar un trabajo BIM. Típicamente, esta es la dimensión donde es más sencillo avanzar, ya que en gran medida las tecnologías necesarias están

disponibles y su implementación solo depende del presupuesto con el que se cuenta. No obstante, una de las principales barreras donde sí se requiere mayor desarrollo es la falta de estándares informáticos para la interoperabilidad de archivos entre herramientas BIM distintas.

- Procesos: Se refiere a los procedimientos que regulan la generación y manejo de un proyecto BIM. Por ejemplo, esquemas organizacionales, definición de roles, protocolos de trabajo, criterios de modelado, convenciones formales, etc. Esta es la dimensión que más esfuerzo requiere para su avance, pues, en el fondo trata de resolver el reconocido problema de desorganización en la gestión.
- Personas: Esta dimensión comprende las características del equipo humano involucrado en la realización del trabajo BIM. Se debe dejar en claro que esto no solo comprende el nivel de capacidades técnicas en el manejo de algún software relacionado, sino que también su comportamiento preferencias y actitudes que adopta la persona a la hora de realizar el trabajo, esto está ligado a diferentes contextos socioculturales (corporativos, disciplinares, nacionales).

En base a un estudio realizado por la universidad de Chile, se ha definido que las organizaciones transitan de manera diferente a lo largo del proceso de adopción BIM. Por ejemplo, algunas avanzan rápidamente en la implementación De software, pero no en la definición de proceso de trabajo, y, por lo tanto, permanecen en un nivel de madurez bajo a pesar de su sostificación tecnológica. Otras logran avanzar en cuanto a procesos, pero lo hacen por caminos diferentes, dejando inconsistencias a la hora de desarrollar el BIM.

3.1.1 La definición de estándares y protocolos de trabajo es el principal factor determinante del éxito (y de los costos) de la adopción BIM

Los aspectos procedimentales de la adopción BIM son, a juzgar según estudio, los más determinantes del éxito de la implementación de la tecnología, y donde se encuentran los más importantes costos del proceso de implementación, muy por encima de los costos de tecnología y de personas. Es más, en algunos casos el desarrollo de estándares y protocolos de trabajo es de tal nivel de importancia que se considera un prerrequisito para la adopción BIM.

Uno de los aspectos más desafiantes de la implementación efectiva de BIM es la necesidad de contar con procesos y procedimientos de trabajo claramente definidos, tan detallados y precisos como sea posible. Saber con certeza quién hace qué, de qué forma y en qué momento es una condición indispensable para alcanzar el objetivo de trabajo colaborativo e integrado que defiende el BIM. Este es, precisamente, uno de los principales valores agregados del uso de la tecnología: se obliga a explicar claramente procesos de trabajo que normalmente son tácticos y se asumen conocidos en la industria, pero que finalmente demuestran ser ambiguos o desconocidos. Es la falta de explicitación en los procesos de trabajo lo que causa una gran parte de los conflictos y descoordinaciones que son tan comunes en toda industria.

3.1.2 La formación de competencias BIM abarca más allá del dominio de software

Es muy común errar con respecto a este tema, cuando a alguien se le pregunta que se imagina en una capacitación BIM, inmediatamente se le viene a la cabeza aprender a utilizar un software de modelado. Los programas de formación de competencias BIM, incluyen primordialmente en mejorar la toma de decisión y los procesos de trabajo basado en información digital. A mayor nivel de madurez de las empresas más desarrollada es su visión de formación de competencias distantes del software y más enfocada en procesos de trabajo colaborativo y gestión de información. No se trata de software, si no de trabajo colaborativo y un buen manejo de la información.

3.2 Madurez BIM

Para determinar las influencias del BIM y el nivel de madurez que se ha alcanzado al respecto, se requiere necesariamente, analizar la forma en la que la empresa ha enfrentado y avanzado en cada una de las tres dimensiones de gestión ya mencionadas, teniendo en consideración el punto exacto de inicio al BIM.

Para realizar este análisis existen modelos o estudios al respecto, pero desafortunadamente no existe un consenso entre dichos modelos, ya que dependiendo del tipo de estudio es el enfoque que se le realiza al avance BIM. Por ejemplo, algunos modelos están enfocados en examinar los productos (modelos BIM 3D) versus otros que están enfocados en examinar las organizaciones y su metodología. Algunos estudios están diseñados para ser una herramienta auto administrada, como por ejemplo un cuestionario web el cual proporciona una autoevaluación a las propias organizaciones que proveen servicios de BIM, versus otros que se requiere de una persona que realice la evaluación en terreno. La gran mayoría mide la madurez interna BIM, pero algunos van más allá y esta medición interna la comparan a nivel nacional o mundial.

3.2.1 Instrumentos de evaluación

Tabla 3-1 Instrumentos de evaluación de madurez BIM

Instrumento	Factores o Categorías
BIM QuickScan (Sebastian y Van Berlo, 2010)	Organización y administración Mentalidad y cultura Estructura y flujo de información Herramientas y aplicaciones
BIM Maturity Matrix (Succar, 2009)	Tecnología (Software, Hardware y Redes) Procesos (Liderazgo, Infraestructura, Personas, Productos y Servicios) Políticas (Contractual, Preparatoria, Regulatoria)
BIM Cloud Score (BMCS) (Du et al., 2014)	Productividad Efectividad Calidad del Modelo Precisión Utilidad Economía
BIM Proficiency Matrix (IU, 2009)	Precisión de modelo Metodologías IPD Mentalidad de cálculo Conciencia de ubicación Creación de contenido Información de construcción Modelado As-Built Riqueza de información FM
BIM CAT (Giel e Issa, 2013)	Estratégico (Documentación, Estándares, Preparación, Objetivos) Operacional (Entregables, Tecnología, Organización, Actitud) Administrativo (Procedimientos, Personal, Políticas)
CIC Research Program's Owner Matrix (State, 2012)	Estrategia Usos Procesos Información Infraestructura Personal
VICO BIM/VDC Scorecard (Kam et al., 2013)	Planificación (Objetivos, Estándar, Preparación) Adopción (Organización, Procesos) Tecnología (Madurez, Cobertura, Integración) Desempeño (Cantidad, Calidad)
Interactive BIM Capability Maturity Model (I-CMM) (NIBS, 2007)	Riqueza de datos Visión de ciclo de vida Roles de disciplinas Administración del cambio Procesos de negocio Tiempo Método de entrega Información gráfica Capacidades espaciales Precisión de información Interoperabilidad

Fuente: (Terán, 2018)

Según el estudio realizado por la universidad de Chile² los dos instrumentos más favorables son “Matriz de madurez BIM Succar” y la herramienta “BIM QuickScan”

Esto, teniendo en consideración los siguientes criterios:

- **Disponibilidad:** que tan accesible era para el equipo investigador
- **Prestigio:** Debía poseer evidencia de reconocimiento académico y/o industrial
- **Simplicidad:** Su aplicación debía ser sencilla y de tiempo acotado
- **Universalidad:** Debía por aplicarse tanto nacional e internacionalmente
- **Enfoque:** se debía enfocar hacia la examinación de la organización más que en el modelado (Terán, 2018)

A continuación, se profundiza en estas 2 herramientas de análisis

3.2.1.1 Matriz de madurez BIM Succar

Es una herramienta de análisis que permite identificar de manera sencilla el nivel de madurez BIM alcanzado. Consiste en una matriz cuyo eje vertical está constituido por diez áreas clave de desempeño BIM organizadas en tres campos y cuyo eje horizontal está constituido por cinco niveles progresivos de madurez. Cada

² El estudio se realizó en organizaciones arquitectónicas y de construcción, pero el Bim y su adopción es universal por lo que se homologa al sector industrial

3.2.1.2 Herramienta BIM QuickScan

Es un instrumento estandarizado de medición del nivel BIM de una organización propuesta en 2011 por la organización de investigación científica aplicada de los países Bajos (TNO, por sus siglas en holandés). Consiste en un cuestionario de 50 preguntas de selección múltiple organizadas en cuatro categorías que representan los aspectos “duros” y “blandos” de BIM las categorías y sus respectivas áreas de análisis son las siguientes:

- **Organización y administración:** Visión y estrategia, distribución de roles y tareas, estructura organizacional, aseguramiento de la calidad, recursos financieros, y alianzas a nivel corporativo y de proyecto.
- **Mentalidad y cultura:** Aceptación de BIM entre trabajadores, motivación individual y grupal, presencia e influencia de coordinadores ABIM, conocimiento y habilidades, gestión del conocimiento y capacitación.
- **Estructura y flujo de la información:** Modelamiento, estándares abiertos, librerías de objetos, flujo interno y externo de información, tipo de intercambio de datos, y tipo de datos por fase de proyecto.
- **Tecnologías y aplicaciones:** Uso de servidores centrales, tipo y capacidad de servidores, herramientas de software, herramientas BIM avanzadas, definiciones de vista de modelo.

3.3 Ejemplo de mejoras con BIM

A continuación, se determinarán las principales ventajas de utilizar la lógica BIM en el mantenimiento actual de Arauco.

3.3.1 Ahorro de tiempo

En la industria lo que más gatilla a pérdidas monetarias es la pérdida de tiempo o el excesivo uso de este en las labores gestión y de reparación.

Ejemplo: En planificación de mantenimiento actual se requiere cambiar línea de cañería de agua de recirculación por desgaste, aprovechando a la vez de disminuir los metros de dicha cañería utilizada debido a una mala disposición de esta, para ello, primeramente, se solicita un croquis de la línea realizado por un mecánico de turno luego se debe ir a terreno y junto con el mecánico de área y con el croquis obtenido analizar la mejor disposición de la nueva ruta, esto conlleva un arduo trabajo en terreno por toma de medidas, planificación interpretación de croquis (que muchas veces no son muy específicos).

Dicho trabajo en una planificación BIM se puede desarrollar de una forma más eficaz, ya que, al detectar la labor a realizar, que en este caso es el cambio de línea de cañería, se identifica cual es dicha línea y de forma inmediata se accede al software de modelado en donde se modifica la ruta de línea y virtualmente se ve la mejor disposición de esta, por lo que se evita errores de cálculo que podrían darse al realizar de forma manual. (Haron, A. T., Marshall-Ponting, A. J., & Aouad, G., 2010)

3.3.2 Optimizar toma de decisiones

Debido a la facilidad de interpretación en un modelado 3D, la toma de decisiones obtiene un beneficio de gran envergadura.

Ejemplo: Siguiendo con el ejemplo del ítem “ahorro de tiempo”. Al tener que interpretar un croquis realizado por un mecánico de área muchas veces no se logra la toma de una correcta decisión para arreglar la avería, esto debido a la difícil interpretación del dibujo que en su gran mayoría son líneas interpretables solo por quien las dibujó.

3.3.3 Mejorar intercambio de información

En el proceso de intercambio de información es donde se tiene un gran déficit en cuanto a la pérdida de tiempo, es común que esta se guarde en carpetas tanto físicas o virtuales que generalmente no poseen el orden correcto y una de las grandes formas de traspasar la información es mediante correos electrónicos los cuales no siempre son la forma más rápida de traspasar archivos, ya que, depende de la disponibilidad de un tercero para obtenerla. Es por eso que la utilización de un software que respalde la información y la contenga de una manera ordenada y de fácil acceso es un gran ahorro de tiempo para los ingenieros, tiempo se vería reflejado y utilizado para otras labores.

3.3.4 Problemas de comunicación

Este problema es de gran complejidad, ya que para que cualquier proyecto la base es una comunicación efectiva en donde el BIM favorece y genera tres procesos claves a la hora de la comunicación, que son controlar aspectos, gestionar la información y coordinar el trabajo.

3.3.4.1 Comunicación interna

En una situación cotidiana, se le pide a cada ingeniero tanto de planificación, de sistemas, de instrumentación, entre otros, que realice una carta Gantt con las labores a realizar en una parada de área, por lo cual cada uno realiza su programa y al momento de efectuarse las labores planificadas existen inconsistencias, por un lado, hay tareas que nadie consideró y por otro hay tareas que fueron consideradas más de una vez.

Con BIM se proyecta a hacer un trabajo colaborativo, de forma que todos los trabajos se realicen de manera efectiva sin sobre cargas de labores y sin obviar otras.

3.3.4.2 Comunicación externa

Los trabajadores al momento de realizar el mantenimiento se encuentran con información que muchas veces es difícil de interpretar, lenta y propensa a errores.

Es por esto que tener un modelado 3D facilita la interpretación de la información en la comunicación externa, es decir entre personal de planta y personal de empresas de servicio.

3.3.5 Rápida obtención de costes

Se sabe que lo primordial en un negocio es la optimización de recursos y tiempo, por lo que realizar presupuestos es una actividad cotidiana para los ingenieros de planificación, esto se ve sumamente favorecido con un software BIM, ya que, simplemente al seleccionar el material o los materiales que se solicita cotizar, calcula el presupuesto por los metros cúbicos requeridos.

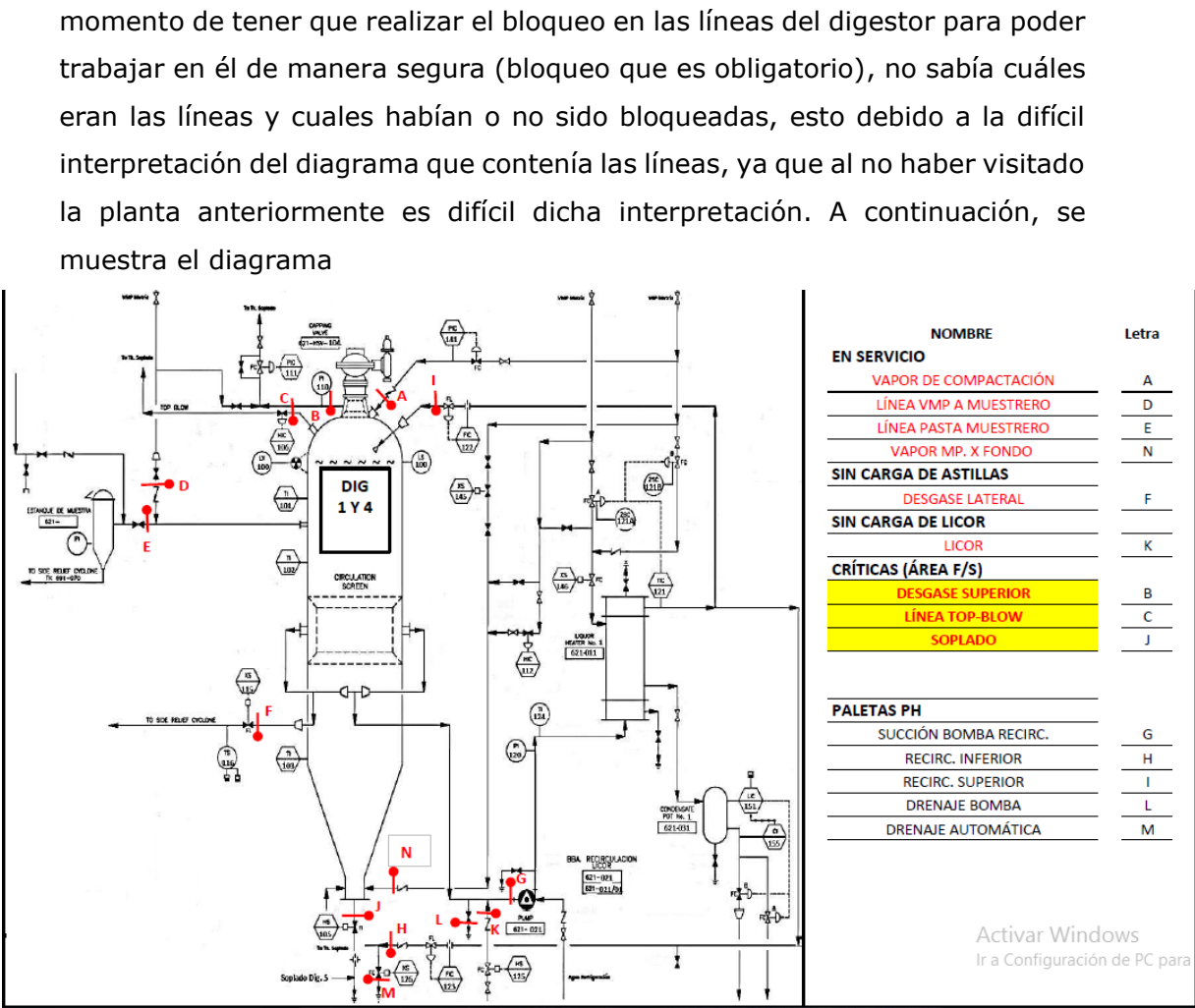


Ilustración 3-2 Diagrama paletas de bloqueo

Fuente: (Celulosa Arauco, 2016)

Si bien en el diagrama se especifica cada línea, al momento de interpretarlo en terreno la visibilidad varía, por lo que en este tipo de trabajos sería óptimo y muy conveniente la visualización mediante un software BIM.

- Descoordinación de trabajos: Debido a que cada área realiza su planificación hay trabajos que no se consideran y que en el momento de parada de planta es necesario realizarlos, pero también hay trabajos que se consideran en más de una planificación.
- Trabajos dependientes: Muchos trabajos dependían de la realización de uno anterior, por lo que si este no se realizaba el otro no podía iniciar. En varios casos hubo trabajos que simplemente no se realizaron y fueron postergados para trabajos de rutina semanal o para trabajos de parada de área.

3.4.2 Gastos mantenimiento

Se sabe que en cualquier empresa se realiza una estimación de costos al momento de planificar un futuro trabajo, a continuación, se muestra una gráfica relacionada a los gastos³.

³ Los costos se muestran en porcentaje debido a la confidencialidad de la información.

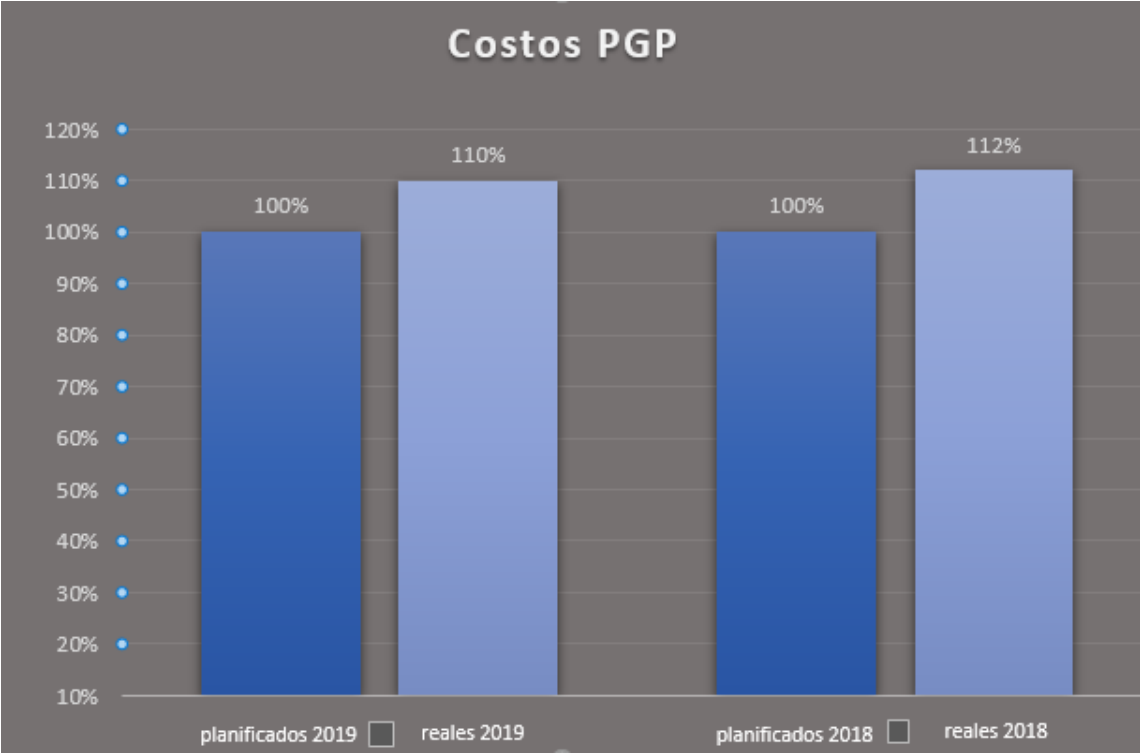


Ilustración 3-3 Gráfica costos PGP

Fuente: (Romero, 2019)

Realizando la interpretación y poniéndose hipotéticamente en la situación que el 100% planificado son 150 millones de pesos, eso quiere decir que hubo 15 millones extra relacionados a costos de materiales y personal de servicio eso sin incluir los costos de pérdida de producción por el tiempo extra que estuvo parada la planta y costos relacionados a personal de planta y de apoyo, ya que si bien el día de trabajo se les debería pagar si o si sin importar el retraso, existen costos asociados a horas extra ya que en dicho periodo se suele trabajar por turnos de 12 horas.

Por otro lado, hay que asociar pérdidas de producción, si bien en el área de pulpa fueron cerca de 2 días extra, en la planta en general fueron cerca de 3-4 días extra los que no se produjo y eso repercute en una pérdida millonaria.

En la siguiente gráfica se muestran los tiempos y porcentajes relacionados al área enfocada en esta investigación

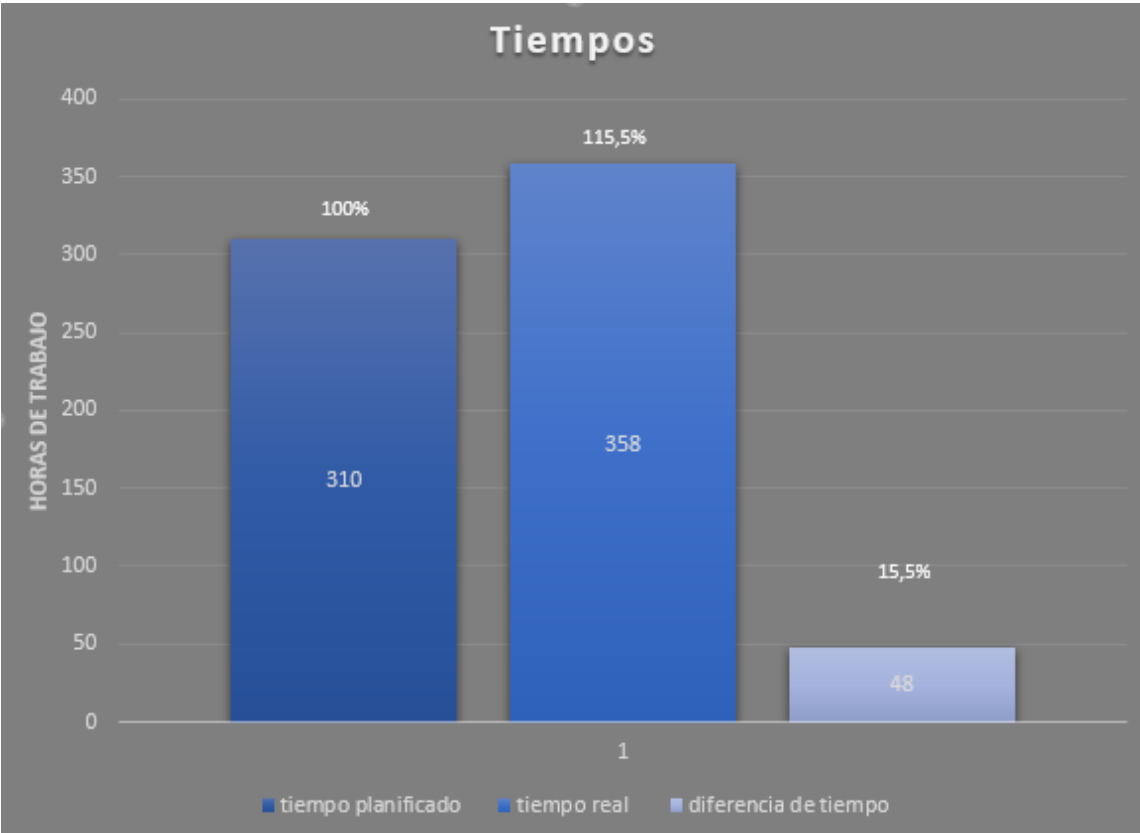


Ilustración 3-4 Gráfica de tiempos

Fuente: (Romero, 2019)

Se puede observar el retraso de un 15,5% en los trabajos medido en horas, dicho retraso repercute a la planificación posterior a parada de planta, ya que se deben postergar trabajos que fueron planificados para realizarse a los días posteriores a PGP, además son repercusiones de una comunicación deficiente.

3.4.3 Repercusión del BIM

Ya explicadas ciertas falencias a la hora de realizar mantenimiento es momento de ver como influenciaría el BIM en este tipo de acciones.

Si existiera la gestión BIM en trabajos así, se podrían disminuir considerablemente los tiempos de pérdida, ya que la planificación y comunicación se harían de forma efectiva además de la comunicación externa (Arauco empresas de servicio) que es donde más falencias se posee.

Mejorando el sistema de gestión, se mejoraría el ambiente laboral y la toma de decisiones debido al mejor flujo de información y al buen entendimiento de esta. (Haron, A. T., Marshall-Ponting, A. J., & Aouad, G., 2010)

3.4 Costos de implementación

Hardware		Software (anualidad)		Capacitación			
				Interna		Externa	
Opción	Precio	Opción	Precio	Opción	Precio	Opción	Precio
Gama baja	53,69	Revit	21,93	15 horas para grupo de 5 a 6 personas	35,18	Nivel Introdutorio 15 a 20 horas, precio por persona	9,26
Gama media	64,80	Archicad	30,15	30 horas para grupo de 5 a 6 personas	61,10	Nivel básico 32 horas, precio por persona	13,33
Gama alta	92,57	Suite AEC / Revit /Auto-cad / Infracad / Civil 3d / Navisworks	60,84	60 horas para grupo de 5 a 6 personas	111,08	Nivel medio avanzado 60 horas, precio por persona	24,07

Los valores se expresaron en UF.

Ilustración 3-1 Tabla de costos relacionados a implementación BIM

Fuente: (Terán, 2018)

Estudios basados en la edificación, han estipulado cuales son los costos⁴ relacionados a la implementación y las tres grandes áreas consideradas, estas son: hardware⁵, software y capacitación.

Se debe tener en consideración que en Arauco se obviaría o sería mínima la inversión en hardware, ya que cuenta con equipos computacionales apropiados.

Siguiendo esta tabla se pueden sacar costos mínimos y máximos.

También se han realizado encuestas a los proyectos nacionales edificados y para la categoría de empresa mayor a 40 personas los costos son entre 1600 UF y 1850 UF (Terán, 2018)

3.4 Consideraciones

Si bien a lo largo de este escrito se han enumerado una gran cantidad de beneficios relacionados al software y técnicos, es muy difícil identificar los beneficios que derivan directamente del uso de las tecnologías BIM, algunos de estos beneficios son evidentes, pues derivan de funciones específicas de las herramientas de software, pero estas son quizás las menos importantes. Los mayores provechos derivan de los cambios organizacionales y nuevos flujos de trabajo que son gatillados por la adopción de la tecnología. Estos beneficios son menos claros, pues no obedecen a una relación casual explícita tecnológica-beneficio.

Por lo anterior mencionado, las medidas tradicionales para evaluar inversiones y recuperación de estas no resultan convenientes. Varias empresas encuestadas con respecto a su inversión y el cálculo de ROI⁶ designan que es inadecuado e inapropiado, pues reiteran que los beneficios son cambios organizacionales.

⁴ Los costos son solo estimados, difieren de gran manera dependiendo el tamaño de la empresa, las fortalezas que ya se posee y la aceptación del personal.

⁵ Conjunto de elementos físicos o materiales que constituyen una computadora o un sistema informático.

⁶ Retorno de la inversión

Resulta evidente que la implementación y adopción de BIM es un esfuerzo considerable que implica un alto compromiso de los dirigentes manifestado en un apoyo suficiente y continuo para asegurar la sustentabilidad de la adopción en el largo plazo.

Claramente, la existencia de estándares BIM nacionales es uno de los principales factores reductores de costos de implementación. Sin embargo, para que sean efectivos, los estándares BIM deben ser entendidos no sólo como convenciones de modelación o de nomenclatura de archivos, sino como definición consensuada de los esquemas y protocolos de trabajo (definición de roles, responsabilidades, etapas de trabajo, métodos de colaboración, y otros aspectos organizacionales, procedimentales, e instrumentales del trabajo en equipo y manejo de información digital).

CONCLUSIONES

- La implementación de BIM implica un cambio organizacional exhaustivo que excede de gran manera la sola utilización de una o varias herramientas específicas de software.
- Resulta evidente que la implementación y adopción del BIM es un gran esfuerzo que implica un Alto compromiso de los dirigentes basado en un apoyo suficiente y continuo para asegurar la sustentabilidad de la adopción enfocándose en un largo plazo.
- No se sugiere aplicar un ROI, ya que los beneficios obtenidos y mejoras de calidad no son cuantificables, considerando que más allá de la inversión que significa la inclusión de estas herramientas de gestión, el mayor desafío es el cambio cultural (pensamiento de los profesionales) en los colaboradores.
- Debido a la inserción y obligación del gobierno chileno a utilizar metodología BIM en sus proyectos públicos (de edificación) desde el 2020 existirá una mayor oferta y demanda de asesoramiento BIM, por lo que existirá también un mayor énfasis en capacitaciones de este estilo.
- Con respecto a los costos de implementación, se ha enfatizado que estos dependen de la situación con la que los trabajadores y dirigentes adopten el BIM y con los recursos computacionales que se cuente, pero según encuestas realizadas al sector nacional en la edificación, para empresas que sobrepasan los 40 trabajadores la inversión va entre 1600 y 1850 UF.
- Si bien el BIM nace para edificación, son muchos los rubros que poco a poco se comienzan a internalizar y enfocar en este tipo de gestión. Se puede homologar perfectamente a cualquier rubro de mantenimiento industrial, ya que como se ha enfatizado a lo largo de esta memoria, los cambios más grandes no son directamente al mantenimiento si no que a la gestión que se realiza para llegar a él, obteniendo como beneficios secundarios una mayor eficacia en el proceso de reparación.
- Basar el método BIM a un equipo tan relevante como los es un digestor de celulosa optimizaría la gestión realizada y con eso vendrían grandes beneficios asociados, principalmente relacionados a la planificación y entendimiento y traspaso de la información.

BIBLIOGRAFÍA

American institute of architects. (2015). *BIM definición*.

Autodesk. (2015). *BIM definición*.

BIM en el mundo. (n.d.). *El BIM y sus aplicaciones*.

building SMART. (n.d.). Retrieved from <https://www.buildingsmart.es>

Celulosa Arauco. (2016). *Información de empresa y proceso*. Curicó.

Celulosa Arauco planta Licancel. (2019). *Planificación PGP*.

CESMEC. (1995). *Evaluación estado de digestor N°1*.

EspacioBIM. (2019). Retrieved from <https://www.espaciobim.com>

Haron, A. T., Marshall-Ponting, A. J., & Aouad, G. (2010). *Building information modelling:.*

Idea Ingeniería. (2019). <https://ideaingenieria.es>.

IQS. (n.d.). *Informe estado digestor para certificación*.

Jimenez, V. (2017). *Diseño en NAVISWORKS*.

Legislación Chilena. (2014). Norma Decreto 10. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

MINICONSTRUCCIONES. (2019). *Nube de puntos*. Retrieved from <https://www.nubedepuntos.cl/>

MOP-Plan BIM. (n.d.). *Evolución del plano CAD al modelo BIM*.

National BIM standars. (2015). *BIM definición*.

Proyecto BIM. (n.d.). *El BIM y su base de datos*.

Romero, K. (2019). *Elaboración propia*. Concepción.

Terán, M. L. (2018). *Estudio de costos relacionados con la implementación de metodologías BIM. Departamento de arquitectura. Universidad de Chile. Santiago*.