



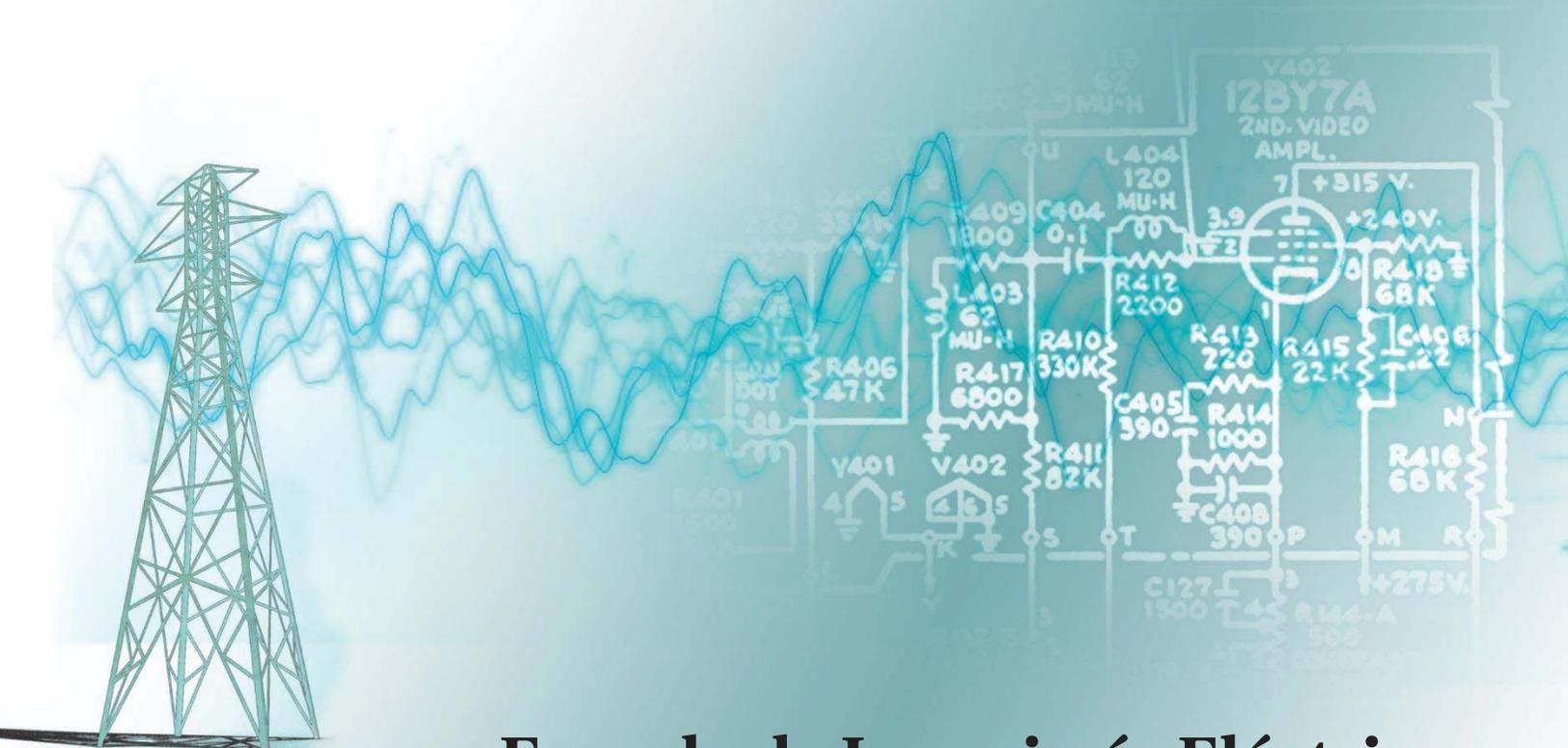
PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO



Nelson Gabriel Cataldo López

Estudio y Diseño del Internet Industrial de las Cosas en un Proceso Productivo

Informe Proyecto de Título de Ingeniero Electrónico



Escuela de Ingeniería Eléctrica



Estudio y Diseño del Internet Industrial de las Cosas en un Proceso Productivo

Nelson Gabriel Cataldo López

Informe Final para optar al título de Ingeniero Electrónico,
aprobada por la comisión de la
Escuela de Ingeniería Eléctrica de la
Facultad de Ingeniería de la
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
conformada por

Sr. Francisco Alonso Villalobos
Profesor Guía

Sr. Felipe Leighton González
Segundo Revisor

Sr. Sebastián Fingerhuth Massmann
Secretario Académico

Valparaíso, 12 de septiembre de 2016

A mis padres, Alejandro y Mónica,

a mis hermanos, José, Viviana, Christian y Alejandro.

A mi polola Karina, gracias por ser parte en esta etapa de mi vida,

y a mi hijo Bastián Emilio, todo esto es para ti.

Agradecimientos

Agradezco a mi familia, mis padres Alejandro y Mónica, por darme la oportunidad de ser un profesional, por poner su confianza en mí al igual que todos mis hermanos, José, Viviana, Christian y Alejandro. Gracias a todos por ser parte de esta etapa, por apoyarme de alguna u otra manera, agradezco su alegría y esfuerzo que cada uno puso, para darme lo que necesitaba, e impulsarme todos los días para conseguir este objetivo.

A mi polola Karina agradezco todos los días compartidos, las etapas que vamos recorriendo juntos y en especial lo que hemos formado como familia. Ser padre es el premio mayor que puedo recibir y agradezco que sea este año que también culmina mi etapa universitaria. Agradezco a mi hijo, Bastián, prometo que cada uno de mis esfuerzos serán para ti y tu madre.

Finalmente quiero agradecer a todos mis amigos y compañeros que fueron parte de este largo camino académico, todas las experiencias quedarán en el corazón, gracias a todos y éxito a cada uno de ustedes.

Resumen

El siguiente proyecto tiene por objetivo dar a conocer el Internet Industrial de las Cosas, definir conceptos claves y aplicarlo a un proceso productivo. Para esto, primero se realiza la definición y diferenciación del Internet de las Cosas y el Internet Industrial de las Cosas. Luego se hace el estudio del marco de referencia del Internet Industrial, que es la base en que se sustenta el Internet Industrial de las Cosas y es entregado por el Consorcio del Internet Industrial. Es necesario comprender definiciones claves como lo son *viewpoint*, *stakeholders* y *concerns* que permitirán entender de mejor manera esta arquitectura de referencia. Este marco o arquitectura de referencia permite acercar cualquier proceso productivo o industrial al Internet de las Cosas, gracias al patrón de arquitectura de tres niveles y al marco de conectividad de dos capas.

Más adelante se realiza la elección del proceso, que en este caso es el proceso de flotación primaria o Rougher, en Codelco División Andina. Se elige este proceso ya que tiene instrumentación adecuada, además de datos que requieren mayor atención para optimizar el sistema. Luego de obtener el proceso, se realiza la aplicación del marco de referencia a éste, es decir, se toma el proceso y se lleva al marco de arquitectura y al patrón de tres niveles del Internet Industrial de las Cosas.

Finalmente se hace un estudio técnico-económico de las soluciones propuestas las cuales hacen referencia al monto que inicialmente la empresa debería invertir. Además se realiza el análisis VAN, TIR y PRI, los cuales permiten decidir si se quiere implementar el Internet Industrial de las Cosas en el proceso de flotación. Este estudio técnico se hace en base a supuestos y estimaciones, y muestra que, cualquiera de las dos soluciones propuestas se puede implementar, dependiendo del presupuesto que la empresa tenga. Cabe destacar que la propuesta como solución dentro de la empresa solo requiere inversión inicial, y la segunda propuesta que necesita contratar los servicios de una empresa externa, requiere una inversión inicial más un gasto mensual o quizás anual, dependiendo de la naturaleza del contrato realizado.

Palabras claves: internet industrial de las cosas, marco de referencia, proceso productivo.

Abstract

The following project aims to deliver and publicize the Industrial Internet of Things, define key concepts and apply it to a productive process. For this, first is made the definition and differentiation of the Internet of Things and the Industrial Internet of Things. Then the study of the frame of reference of the Industrial Internet is carried out, which is the basis on which the Industrial Internet of Things is based and is delivered by the Industrial Internet Consortium. It is necessary to understand key definitions such as viewpoint, stakeholders and concerns that will allow a better understanding of this reference architecture. This framework or reference architecture allows you to bring any productive or industrial process closer to the Internet of Things, thanks to the three-tier architectural pattern and the two-layer connectivity framework.

Later, the process is chosen, which in this case is the primary flotation process or Rougher, in Codelco Andina Division. This process is chosen because it has adequate instrumentation, in addition to data that require more attention to optimize the system. After obtaining the process, the application of the frame of reference is carried out, i.e., the process is taken and taken to the architectural framework and the three-tiered pattern of the Industrial Internet.

Finally, a technical-economic study of the proposed solutions is made, which refers to the amount that the company should initially invest. In addition, the VAN, TIR and PRI analyzes are carried out, which allow us to decide if we want to implement the Industrial Internet of Things in the flotation process. This technical study is based on assumptions and estimates, and shows that any of the two proposed solutions can be implemented, depending on the budget that the company has. It should be noted that the proposal as a solution within the company only requires initial investment, and the second proposal that needs to hire the services of an external company, requires an initial investment plus a monthly or perhaps annual expense, depending on the nature of the contract made.

Key words: industrial internet of things, reference architecture, productive process

Índice general

Introducción.....	1
1 Antecedentes Generales.....	3
1.1 La Nueva Revolución 4.0	3
1.2 Descripción del Proyecto	3
1.2.1 Objetivos Generales	4
1.2.2 Objetivos Secundarios	4
1.3 Introducción al Internet Industrial de las Cosas.....	4
1.3.1 Internet de las Cosas (IoT)	4
1.3.2 Consorcio del Internet de las Cosas.....	5
1.3.3 Internet Industrial de las Cosas.....	5
1.3.4 Consorcio del Internet Industrial.....	6
1.4 Diferencia entre IoT e IIoT	6
1.4.1 ¿Cuál es la diferencia entre el IIoT y M2M?.....	7
1.4.2 El IoT Industrial está más avanzado que el IoT del Consumidor.....	8
1.5 Problemática	8
1.6 Solución Propuesta	8
1.7 Conclusión del Capítulo.....	9
2 Internet Industrial de las Cosas.....	10
2.1 Arquitectura de Referencia del Internet Industrial.....	10
2.2 Puntos de Vista del Internet Industrial	11
2.2.1 Seguridad a través de los Puntos de Vista	13
2.3 Sistemas de Control Industrial	13
2.4 Arquitectura de Referencia del Internet Industrial y Modelo OSI.....	14
2.4.1 Modelo de Referencia OSI	14
2.4.2 Modelo TCP/IP	15
2.4.3 Comparación Modelo IIRA, Modelo OSI y Modelo TCP/IP	17
2.5 Conclusión del Capítulo.....	17
3 Elección del Proceso.....	19
3.1 Planta Flotación Primaria División Andina, Codelco Chile	19

3.1.1 Flotación Primaria o Rougher	19
3.2 Problemática del proceso	20
3.3 Mejora del proceso	21
3.4 Sobre la elección del proceso	22
3.5 Instrumentación Aplicada al Proceso de Flotación estudiado	23
3.5.1 Características Técnicas de Instrumentación utilizada	23
3.5.2 Sensor de Flujo Másico Mass Probar 3095MFA	24
3.5.3 Cámaras IP68 Metso Minerals	25
3.6 Conclusiones del Capítulo	27
4 Arquitectura de Referencia del IIoT aplicado al Proceso	28
4.1 Definición y comparación de conceptos	28
4.1.1 Punto de Vista de Gestión	28
4.1.2 Punto de Vista de Utilización	29
4.1.3 Puntos de Vista de Operación e Implementación	30
4.2 Definición Stakeholders asociados al Proceso según los Puntos de Vista	31
4.3 Conclusiones del Capítulo	33
5 Instrumentación Aplicada al IIoT & Solución Propuesta	34
5.1 Pilares Tecnológicos del IIoT	34
5.1.1 Sensores	34
5.1.2 Tecnologías de la Información y las Comunicaciones	35
5.2 De la Prevención a la Predicción	36
5.2.1 <i>Smart Services</i>	37
5.3 Soluciones y Aplicaciones IIoT Existentes	37
5.3.1 Big Data & Data Analytics: Minería Digital Codelco	37
5.3.2 Camiones Autónomos División Gabriela Mistral	38
5.4 Decisión sobre la Instrumentación	38
5.4.1 Solución dentro de la Empresa	39
5.4.2 Solución Fuera de la Empresa	41
5.5 Conclusiones del Capítulo	41
6 Análisis Técnico Económico	43
6.1 Analisis Económico Solución Propuesta Dentro de la Empresa, Proceso Flotación, Codelco División Andina	43
6.2 Analisis Económico Solución Propuesta Fuera de la Empresa Proceso Flotación, Codelco División Andina	44
6.3 Situación Económica Actual de Codelco	46
6.4 Análisis Económico Comparación Inversión Inicial vs Disminición Costos de Mantenimiento	46
6.5 Análisis VAN, TIR y PRI	49
6.5.1 Flujo de Caja Esperado del Proyecto	50
6.5.2 Análisis VAN	51
2.3.2 Análisis TIR	52

6.5.3 Período de Recuperación de la Inversión (PRI)	53
6.6 Conclusiones del Capítulo	53
Discusión y Conclusiones.....	55
Bibliografía	57

Introducción

En la actualidad, no existe espacio ni lugar que se encuentre sin acceso al Internet. Ya sea que se utilice de modo empresarial, industrial, personal, para redes sociales, o para el fin que cada quien crea conveniente. La inclusión de internet marca un antes y un después en la era moderna. Esto gracias a que la conectividad es un servicio casi universal, la mayoría de las personas en los países desarrollados se encuentran conectadas, y la gran novedad es que empiezan a conectarse también las cosas u objetos, tendencia conocida como Internet de las Cosas.

Internet de las Cosas trata de converger un gran número de tecnologías, sólo limitadas por la imaginación de los usuarios. Es decir, los límites de la conectividad de personas y objetos son determinados según requerimientos de los mismos usuarios, ya que la tecnología sigue en evolución y permite mayor velocidad, robustez y seguridad en la conexión entre equipos y dispositivos. Algunos expertos señalan el Internet de las Cosas como una nueva revolución, con tanto potencial como la que supuso Internet de las personas. [1]

Cabe destacar que para que el Internet de las Cosas sea una revolución como se pretende, debe ser respaldado por un gran aumento de los objetos conectados a internet y sus funciones. Entre estos objetos se encuentran sensores, cada vez más pequeños y que captan nuevos aspectos de la realidad; *hardware* que facilitan la conectividad, a muy bajo precio y con unas necesidades energéticas muy bajas, como por ejemplo: tarjetas de adquisición de datos, sistemas de análisis de datos que son capaces de analizar grandes cantidades de datos, ayudando a la toma de decisiones en tiempo real, nuevas redes que facilitan la conectividad, que permiten el acceso simultáneo de gran cantidad de dispositivos y que acercan la nube a cualquier rincón del planeta, como ejemplo, la tecnología 5G y Wireless Hart.

El símil del Internet de las Cosas a nivel empresarial o industrial es el Internet Industrial de las Cosas o IIoT por sus siglas en inglés, esta nueva corriente tecnológica se puede definir como una amplia cantidad de sistemas o procesos industriales conectados que se comunican y coordinan sus análisis de datos y sus acciones para mejorar el desempeño industrial. Es decir aprovechan de mejor manera los datos obtenidos del sistema, en tiempo real, para tomar las mejores decisiones de producción, mantención y disminución de costos, entre otros.

Además del aumento del hardware que permite la interconexión de procesos y sistemas, también se requiere un gran análisis de datos, también llamado Big Data, esto quiere decir, se

están conectando cada vez más objetos y sistemas a internet, entonces lo que se hace ahora con cada uno de esos objetos que envían de forma continua una gran cantidad de datos, adquiere una importancia mayor. No se trata sólo de obtener y almacenar los datos, se requiere realizar un análisis exhaustivo de los datos y transformarlos en información, para así mejorar la toma de decisiones respecto a los objetos y/o procesos involucrados. [2]

De este modo, con la inclusión del Internet Industrial de las Cosas, las empresas se transformarán en un espacio inteligente con capacidad de planificar los mantenimientos de maquinaria y equipos de forma óptima, de predecir los errores, e incluso de reaccionar de manera automática ante los problemas sin que sea necesaria la intervención humana. Esta inteligencia no se quedará en el interior de las fábricas o de las instalaciones en las que se desarrolla la actividad, sino que también los servicios podrán ser inteligentes y serán capaces de captar información del entorno, conectarse automáticamente con otros servicios y adaptarse al contexto de los usuarios. Empresas que venden productos, también proporcionarán servicios complementarios a sus productos, cómo instalación y mantención de los mismos, y todo esto se realizará gracias a la interacción de cliente y empresa, donde la empresa reconoce las necesidades y el cliente solicita servicios dependiendo de sus requerimientos.

El Internet Industrial de las Cosas se trata, por tanto de una revolución que afectará transversalmente la economía, proporcionando a las empresas de inteligencia que permite cubrir de mejor manera las necesidades de los clientes, aumentará a su vez los puestos de trabajo con la inclusión de analistas de sistemas o de analistas de datos, disminuirá costos y tiempo dedicado a la mantención de los equipos y procesos, además de permitir un aumento en la producción y mejora de los procesos gracias al análisis en tiempo real de datos que se reciben del mismo. Y además proporcionará a los clientes una manera más sencilla y amable de conseguir productos y servicios según sus propios requerimientos, al realizar un análisis más detallado de la información de cada uno por separado, si así fuese necesario.

1 Antecedentes Generales

En el primer capítulo se hace referencia al por qué se realiza este proyecto, es decir problemáticas existentes, soluciones actuales y posibles soluciones propuestas en este estudio, además se abarca a fondo lo que es el Internet Industrial de las Cosas y el impacto que causa en la industria.

1.1 La Nueva Revolución 4.0

Desde fines del siglo XVIII a la actualidad, la industria ha evolucionado. La primera revolución industrial es considerada al utilizar agua y vapor en la producción mecánica. La segunda revolución industrial se produjo a comienzos del siglo XX con la división del trabajo y la utilización de la electricidad. La tercera revolución industrial, a inicios de los 70's empieza con la inclusión de la electrónica y las tecnologías de información, para dar comienzo a la automatización de la producción. Actualmente, se considera la cuarta revolución industrial con la inclusión del internet y el análisis de Big Data, esta cuarta revolución es también llamada Internet Industrial de las Cosas, y busca la conexión de una gran cantidad de sistemas industriales que comunican y coordinan sus análisis de datos y acciones para mejorar el desempeño industrial.

1.2 Descripción del Proyecto

En este proyecto se pretende estudiar y diseñar el Internet Industrial de las Cosas, en un proceso productivo actual, por lo cual, es necesario entender lo que es el Internet Industrial de las Cosas, comprender sus bases descritas en la arquitectura de referencia propuesta por el Consorcio del Internet Industrial y así poder aplicarlas en el proceso elegido, que en este caso es el sistema de control experto del proceso de flotación Rougher de Codelco Andina.

Además el desarrollo del proyecto busca integrar problemáticas y propuestas del proceso, y a estos, proponer la utilización del Internet Industrial de las Cosas. Será necesario estudiar la problemática, los objetivos, posible solución, además de aspectos técnicos como instrumentación y software que hacen posible este proceso.

1.2.1 Objetivos Generales

El principal objetivo de este proyecto es el estudio y diseño del Internet Industrial de las Cosas en un proceso productivo propuesto por el alumno. Se busca comprender lo que es el Internet Industrial de las Cosas y analizar su arquitectura de referencia, que permitirá obtener las bases necesarias para aplicar el IIoT en cualquier proceso productivo.

1.2.2 Objetivos Secundarios

- Estudiar el internet industrial de las cosas, de manera que se pueda aplicar en un proceso industrial.
- Analizar las actuales aplicaciones industriales del IIoT, tanto en Chile como en el extranjero, y llevarlas a un contexto más local como el proceso estudiado.
- Estudiar y comprender un proceso productivo actual, que permita la aplicación del internet industrial de las cosas, y así, obtener mejores resultados en el mismo.

1.3 Introducción al Internet Industrial de las Cosas

A continuación, se hace una introducción al Internet Industrial de las Cosas, revisando las respectivas organizaciones que permiten agrupar empresas que trabajan en pro del IoT y el IIoT, así, es posible obtener información de casos de estudios que empresas como General Electric, Dell y Siemens, entre muchas más, llevan a cabo e incentivan la utilización del Internet Industrial y entregan pautas para los demás interesados.

También se explica la diferencia entre el Internet de las Cosas y el Internet Industrial de las Cosas, la problemática existente y solución propuesta en este proyecto, el cual es, estudiar y diseñar el Internet Industrial de las Cosas en un proceso productivo.

1.3.1 Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las Cosas (IoT), también referido como el internet de objetos, cambiará todo. Teniendo en cuenta el impacto que el internet ya ha tenido en la educación, la comunicación, los negocios, la ciencia, gobierno, y la humanidad. La figura 1-1 muestra la conectividad del internet de los objetos con las distintas áreas que forman parte de ésta. Claramente el internet es una de las creaciones más importantes y de gran alcance en toda la historia humana.

Se considera que la IoT representa la próxima evolución de internet, dando un gran salto en su capacidad de reunir, analizar y distribuir los datos que se pueden convertir en información, conocimiento, y, en definitiva, sabiduría. En este contexto, el internet de las cosas se vuelve inmensamente importante.

En la actualidad, la IoT se compone de un conjunto diverso de redes dispares, diseñadas para un objetivo. Los automóviles, hoy en día, por ejemplo, tienen múltiples redes para controlar la función del motor, características de seguridad, sistemas de comunicaciones, y así sucesivamente. Los edificios comerciales y residenciales también tienen diversos sistemas de

control de calefacción, ventilación y aire acondicionado, servicio telefónico, seguridad, e iluminación. Como la IoT evoluciona, estas redes, y muchas otras, se conectarán añadiendo capacidades de seguridad, de análisis y de gestión.

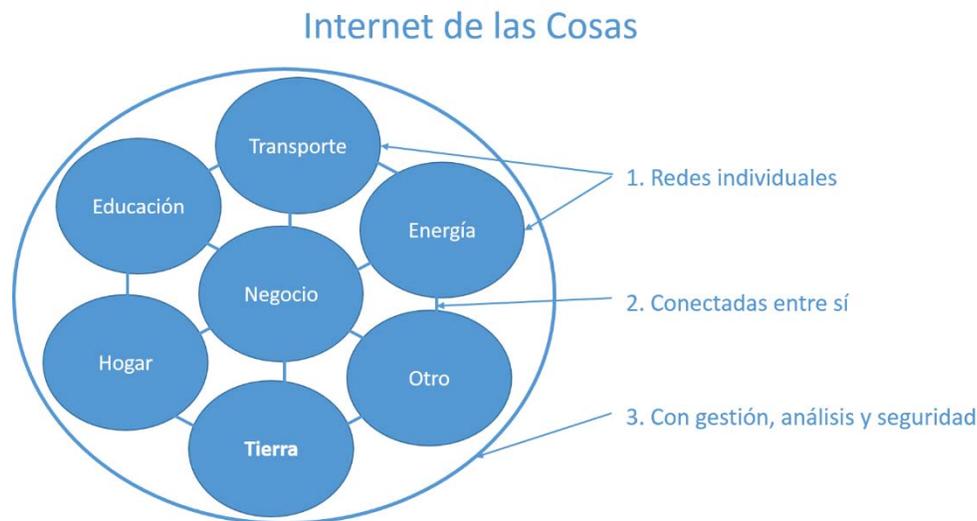


Figura 1-1: Conectividad del Internet de las Cosas. (Fuente: elaboración propia)

1.3.2 Consorcio del Internet de las Cosas

El Consorcio de Internet de las Cosas (IoTC) se compone de más de 60 empresas líderes de *hardware*, *software* y análisis en áreas como: la domótica (automatización del hogar y edificios), *wearables* (prendas o dispositivos electrónicos que interactúan entre sí y el usuario), autos conectados, las ciudades inteligentes (*Smart Cities*), la impresión 3D y la realidad virtual aumentada. En nombre de sus miembros, la IoTC está dedicada al crecimiento del mercado del Internet de las Cosas y el desarrollo de modelos de negocio sostenibles. El IoTC educa a las empresas de tecnología, minoristas, compañías de seguros, vendedores, compañías de medios y la comunidad empresarial en general sobre el valor del Internet de las Cosas. Fundada en 2012, la IoTC tiene su sede en San Francisco con un centro de desarrollo de negocios en Nueva York [3].

Algunas empresas que participan de este consorcio son: Nestlé, FOX, Whirlpool, August, Honeywell, Verizon, entre otras.

1.3.3 Internet Industrial de las Cosas

El Internet Industrial de las Cosas (IIoT) es la próxima ola de innovación que afecta la forma en que el mundo se conecta y optimiza las máquinas. El IIoT, mediante el uso de sensores, análisis avanzado y toma de decisiones inteligentes, podrá transformar profundamente la manera en que se conectan y comunican los recursos en terreno con la empresa.

El internet industrial, es considerado como la combinación de análisis de Big Data con el Internet de las Cosas, está produciendo enormes oportunidades para las empresas de todo tipo

de industrias, pero sobre todo en áreas como la aviación, petróleo y gas, transporte, generación y distribución eléctrica, manufactura, salud y minería.

En otras palabras, el Internet Industrial de las Cosas es conectar el mundo físico de sensores, dispositivos y máquinas, con el internet y, mediante la aplicación de análisis profundos a través de software, se están convirtiendo datos masivos en nueva y poderosa visión e inteligencia.

1.3.4 Consorcio del Internet Industrial

El Consorcio de internet industrial fue fundado en marzo de 2014 y reúne a las organizaciones y las tecnologías necesarias para acelerar el crecimiento de internet industrial mediante la identificación, el montaje y la promoción de las mejores prácticas.

Las empresas AT & T, Cisco, General Electric, IBM e Intel anunciaron la formación del Consorcio de Internet Industrial (IIC), una organización formada para abordar sistemáticamente los desafíos de hacer de internet una realidad industrial, y promover una visión común [4]. Al trabajar con equipos de industria, académicos y gubernamentales, este grupo sin fines de lucro podrá catalizar y coordinar las prioridades que habilitan las tecnologías de la industria.

La misión del Consorcio de Internet Industrial es acelerar el crecimiento del internet industrial mediante la coordinación de iniciativas de ecosistemas para conectar e integrar objetos con personas, procesos y datos, usando arquitecturas comunes y estándares abiertos que permitan transformarlos en resultados de negocio.

Algunas empresas pertenecientes al Consorcio del Internet Industrial son: Accenture, AT&T, Nokia, General Electric, Bosch, Dell, Samsung Electronics, Siemens, Schneider Electric, entre otras.

1.4 Diferencia entre IoT e IIoT

La frase Industrial Internet of Things fue un término acuñado por GE (General Electric) hace unos años como una actualización de la tecnología M2M (*Machine to Machine*), mientras que el gobierno alemán lo llama Industria 4.0. En la figura 1-2 se muestra la evolución de las revoluciones industriales, para ubicar en que momento del tiempo aparece el Internet Industrial de las Cosas.

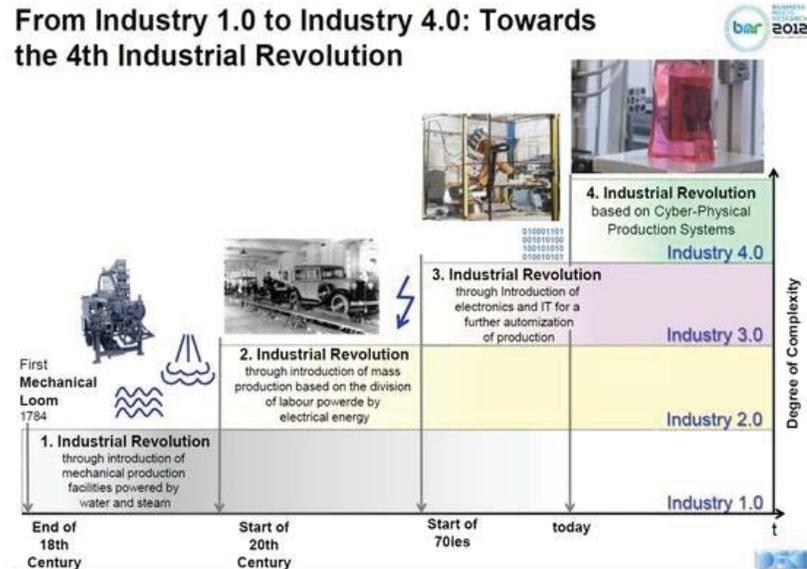


Figura 1-2: Evolución de la Industria a través del tiempo. (Fuente: Congreso del IoT, Barcelona 2012)

En su esencia la IIoT acerca la adición de grandes datos para crear edificios automatizados, iluminación, seguridad, producción de energía, transporte y automatización industrial a escala masiva, que es lo que actualmente representa aproximadamente la mitad de la IIoT.

La principal diferencia es que, el Internet de las Cosas a menudo se centra en la conveniencia para los consumidores individuales, la IoT industrial se centra en gran medida a la mejora de la eficiencia, la seguridad y la productividad de las operaciones con un enfoque en la rentabilidad de la inversión.

1.4.1 ¿Cuál es la diferencia entre el IIoT y M2M?

M2M (*Machine to Machine* o en español Máquina a Máquina) es un subconjunto de IIoT, que tiende a centrarse muy específicamente en las comunicaciones de máquina a máquina, donde se expande el Internet de las Cosas para incluir las conexiones máquina a objetos, personas e infraestructura.

Además, con el Internet de las Cosas se ve una expectativa de más inteligencia en el borde de la red, por lo que la máquina tiene la capacidad de no sólo comunicar su estado, pero potencialmente puede iniciar una acción de una manera más autónoma.

El IIoT surge para problemas más críticos. En la economía en general, la IIoT es fundamental para reducir el tiempo de inactividad no planificado de las instalaciones de producción y plantas.

1.4.2 El IoT Industrial está más avanzado que el IoT del Consumidor

El IoT ha estado muy relacionado con el consumidor final, se escuchan noticias de como BMW, Volvo, Ford y Audi ya están creando automóviles conectados a internet o cómo las *Smart TVs* se vuelven cada vez más populares. Sin embargo, la mayor inversión y los pioneros desde mucho antes de que se hablara del IoT es el medio industrial.

La industria manufacturera es de las que más invertirá con aproximadamente 150 mil millones de dólares para el 2020. Los que más invertirán son la industria de la construcción de maquinaria, la automotriz, la de electrodomésticos y la de telecomunicaciones [5].

Esto no es nuevo, es una tendencia que comenzó cuando entraron al mercado los microprocesadores. Desde entonces, en las plantas, se han buscado nuevas maneras de utilizar ésta tecnología en todos los procesos para volverlos más eficientes. Es esta misma innovación y demanda que han hecho, por ejemplo, que los sensores necesarios para crear un sistema inteligente hayan estado bajando su precio a través de los años.

Se estima que para el 2018, la mitad de los dispositivos para el IoT sean hechos especialmente para la industria y no para consumidores finales [6].

1.5 Problemática

El crecimiento de la población sigue aumentando, por lo que la demanda de productos y servicios no se detienen, esto conlleva a que la industria aumente su producción. Este crecimiento requiere una mayor optimización de los procesos, aumentar producción y disminuir costos. Es por esto que la implementación del Internet Industrial de las Cosas se hace casi necesario en todas las plantas e industrias que tengan los recursos y quieran invertir.

Es necesario para la realización de este proyecto el uso de un proceso productivo, para estudiarlo y analizar si se puede incorporar el Internet Industrial de las Cosas, es decir, para conseguir información importante que permita tanto controlar, prevenir posibles fallas del sistema o simplemente cuantificar el proceso.

Cabe destacar que dentro de los posibles inconvenientes que se encuentran en la realización del proyecto son la elección misma del proceso que permita la incorporación del IIoT, como también, los problemas inherentes al IIoT, los cuales tienen que ver con la seguridad misma de internet.

1.6 Solución Propuesta

Se plantea realizar el proyecto dividido en cuatro etapas fundamentales las cuales se nombran a continuación:

- Estudio de la arquitectura de referencia del internet industrial de las cosas
- Elección del proceso productivo
- Aplicación del internet industrial de las cosas en el proceso elegido

- Análisis técnico económico de la propuesta

Específicamente se busca investigar sobre algún proceso productivo que actualmente sea utilizado en la industria, a este proceso se realizan estudios de instrumentación utilizada y factibilidad de implementación del IIoT, luego se debe realizar el estudio exhaustivo de la arquitectura del internet industrial de las cosas, que permitirá obtener las bases para aplicar el IIoT a cualquier proceso productivo.

Finalmente, se diseña la implementación del IIoT en el proceso elegido y realiza el estudio técnico económico, para decidir si esta implementación es o no factible.

1.7 Conclusión del Capítulo

El Internet Industrial de las Cosas es la evolución del internet, tan así, que poco a poco más industrias se suman en esta nueva revolución, debido a la cantidad de dinero que ésta puede significar para la empresa, o por mantenerse en la vanguardia de la tecnología e información.

A nivel mundial, innumerables empresas forman parte del Consorcio del Internet Industrial IIC, el cual busca ayudar para acelerar el crecimiento de internet industrial mediante la identificación, el montaje y la promoción de las mejores prácticas que permitan a sus miembros optimizar recursos, tiempos de producción, y disminuir errores y fallas en los procesos.

Se puede apreciar que grandes avances ya se encuentran en desarrollo tanto a nivel global, como a nivel local. Pero se necesita aún más participación e innovación de las empresas locales, para llevar a Chile a un nivel de conexión mayor.

2 Internet Industrial de las Cosas

Este capítulo tiene por finalidad dar a conocer las bases que hacen posible la aplicación del internet industrial de las cosas en cualquier proceso y para esto es necesario estudiar la arquitectura de referencia del internet industrial de las cosas, además de definir y entender conceptos claves que son utilizados en el IIoT, tales como *concerns*, *stakeholders* y *viewpoints*, ver como se entrelazan unos con otros, además de entender cómo un sistema industrial se puede subdividir en cinco dominios y que éstos se relacionan para conformar también el patrón de arquitectura de tres niveles que es una implementación coherente de los sistemas de internet industrial (IIS).

2.1 Arquitectura de Referencia del Internet Industrial

La arquitectura de referencia del internet industrial tiene como objetivo entregar una infraestructura o marco común sobre el cual, se centran detalles y discusiones. Además proporciona definiciones, normas, reglas y un vocabulario común y coherente con los sistemas de internet industrial.

La arquitectura de referencia del internet industrial (IIRA por sus siglas en inglés) es una arquitectura abierta basada en estándares para sistemas de internet Industrial (ISS).

El Consorcio de Internet Industrial ha definido un marco de arquitectura que describe las convenciones, principios y prácticas para la descripción de arquitecturas establecidas dentro de un dominio específico de aplicación y de la comunidad de *stakeholders o interesados*. En base a la norma internacional ISO/IEC/IEEE 42010:2011 [4], la cual estandariza la descripción de arquitecturas de sistema y de software. El marco de arquitectura del Consorcio de Internet Industrial facilita la evaluación y la resolución sistemática y eficaz de los *concern o intereses* de los *stakeholders*, y sirve como un recurso valioso para guiar el desarrollo, la documentación y la comunicación acerca de, la arquitectura de referencia de internet industrial.

La norma estándar ISO/IEC/IEEE 42010:2011 codifica las convenciones y prácticas comunes y proporciona una base fundamental para la descripción de arquitecturas. El marco de arquitectura de internet industrial adopta los conceptos generales y construcciones en esta especificación, por ejemplo, arquitectura y marco de arquitectura, *stakeholders*, *concerns* y *viewpoint*.

Para entender la arquitectura de referencia del internet industrial se definen conceptos claves e importantes tales como: *stakeholders*, *viewpoint* y *concerns*, además se verá cómo se entrelazan entre sí en la figura 2-1.

Más adelante estos conceptos utilizados en los sistemas de internet industrial, serán aplicados a un proceso productivo.

- *Viewpoints o Punto de Vista*: consiste en convenciones que enmarcan la descripción y análisis de los intereses específicos del sistema. Un ejemplo de Viewpoint es el Punto de Vista del Negocio.
- *Concerns o Intereses*: interés correspondiente a uno o más de sus *stakeholders o interesados*, en un sistema común. Un ejemplo de Concern es nivel, velocidad, corriente o tensión.
- *Stakeholder o Interesados*: individuos, equipos, organización, que tienen uno o más intereses en el sistema. Un ejemplo de Stakeholder es Gerentes o Ingenieros de Sistema.

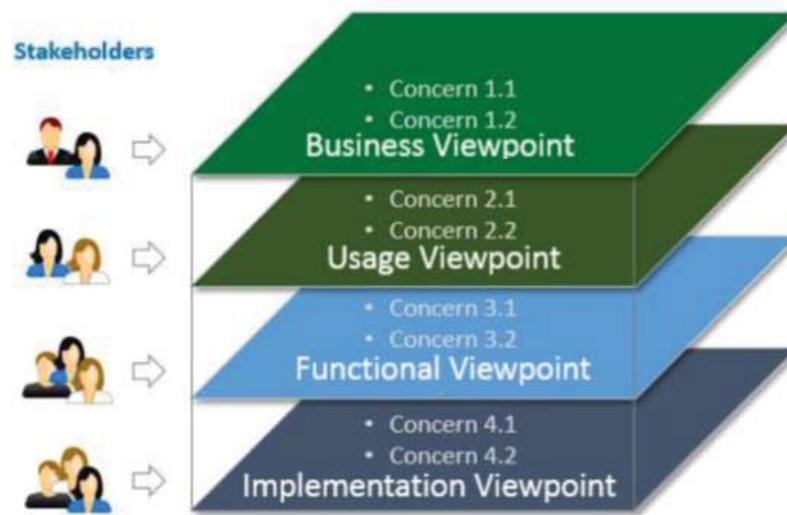


Figura 2-1: Relación entre *stakeholders*, *concerns* y *viewpoints*. (Fuente: IIRA 1-7)

2.2 Puntos de Vista del Internet Industrial

También se definen 4 puntos de vista o *viewpoints* que son descritos en la tabla 2-2 junto con los *stakeholders* y *concerns* relacionados a cada uno de ellos.

Tabla 2-1: Puntos de Vista del Internet Industrial. (Fuente: elaboración propia)

Puntos de Vista del Internet Industrial			
Punto de Vista	Descripción	Interesados (Stakeholders)	Intereses (Concerns)

Gestión (Business)	<p>Primero los interesados identifican la visión de la organización y luego se preguntan cómo podría mejorar las operaciones mediante la adopción de un IIS. A partir de la visión, los interesados establecen los valores y las experiencias del IIS y desarrollan un conjunto de objetivos clave que impulsarán la aplicación de la visión. A partir de los objetivos, los interesados obtienen las capacidades fundamentales que se requieren para el sistema.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Accionistas - Gerentes 	<ul style="list-style-type: none"> - Visión - Valores y experiencias - Objetivos clave - Capacidades fundamentales
Utilización (Usage)	<p>Se describen las actividades que coordinan diversas unidades de trabajo sobre múltiples componentes del sistema. Estas actividades que describen cómo se utiliza el sistema, sirven como insumo para los requisitos del sistema, incluidos los de las características clave del sistema, orientadas al diseño, implementación, despliegue, las operaciones y la evolución del IIS.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ingenieros de sistemas - Gerentes de productos - Usuarios finales 	<ul style="list-style-type: none"> - Tareas - Roles - Equipo - Actividad - Sistema
Operacional (Functional)	<p>Se centra en los componentes operacionales de una IIS, su interrelación y estructura, las interfaces y las interacciones entre ellos, y la relación y las interacciones del sistema con elementos externos en el medio ambiente, para apoyar la utilización y las actividades del sistema en general.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrolladores e integradores de productos - Arquitecto de sistemas 	<ul style="list-style-type: none"> - Control - Información - Aplicación - Información - Gestión
Implementación (Implementation)	<p>Se ocupa de las tecnologías necesarias para implementar los componentes funcionales, sus esquemas de comunicación y sus</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrolladores e integradores de productos 	<ul style="list-style-type: none"> - Reglas de control - Análisis de datos

<p>procedimientos de ciclo de vida. Estos componentes son coordinados por actividades (punto de vista operacional) y de apoyo de las capacidades del sistema (punto de vista de gestión).</p>	<p>- Arquitecto de sistemas - Operadores del sistema</p>	<p>- Operaciones - Comunicación - Plataforma - Redes</p>
---	--	--

2.2.1 Seguridad a través de los Puntos de Vista

La seguridad de los sistemas de control industrial hoy a menudo se basa en la seguridad física, el aislamiento de los sistemas y el hermetismo de los propietarios de protocolos de comunicación. Los sistemas industriales de internet, por el contrario, son, por naturaleza, conectados y distribuidos. Intercambian continuamente datos; están profundamente integrados con los sistemas empresariales y evolucionan durante su vida, convergiendo con otros sistemas. En consecuencia, su superficie de ataque es significativamente mayor que los sistemas aislados de control industrial.

Los sistemas de internet industrial convocan a un enfoque integrado de seguridad que atraviesa el mundo físico (incluyendo observación directa), la red global (incluyendo la preservación de los derechos sobre el uso de los datos), y el mundo de los negocios (incluyendo los derechos de propiedad y los derechos de hacer contratos). Sencillamente no se puede tratar la seguridad como una tarea independiente. Es una preocupación agregada al diseño.

2.3 Sistemas de Control Industrial

Cada sistema de internet industrial se puede dividir en 5 dominios funcionales: control, operación, información, aplicación y gestión, y a su vez, estos se relacionan en el patrón de arquitectura de tres niveles.

El patrón de arquitectura de tres niveles combina componentes principales (por ejemplo, plataformas, servicios de gestión, aplicaciones), que por lo general se asignan a los dominios funcionales (punto de vista funcional) como se muestra en la figura 2-2. Desde la perspectiva de nivel y de dominio, el nivel de borde implementa la mayor parte del dominio de control; el nivel de plataforma implementa la mayor parte de los dominios de la información y operación; el nivel de la empresa implementa la mayor parte de los dominios de aplicación y de negocios. Esta correspondencia demuestra una partición funcional sencilla entre las capas. El mapeo funcional real de los niveles de IIS no suele ser tan simple y depende de la especificación y los requisitos del sistema.

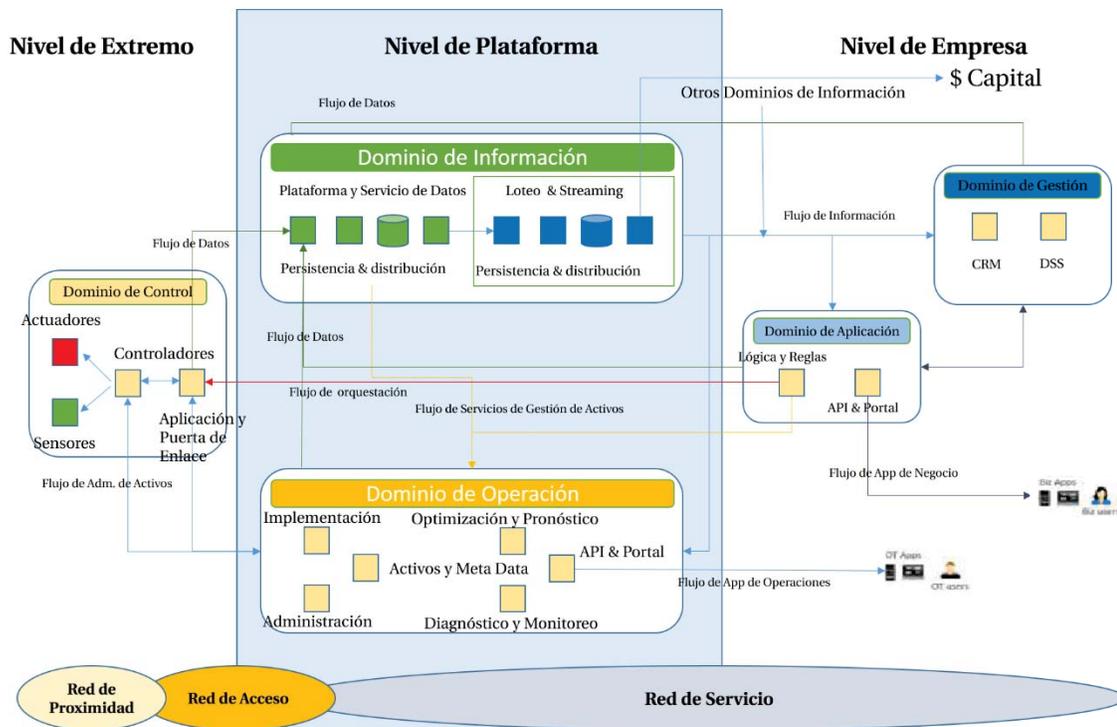


Figura 2-2: Patrón de arquitectura de tres capas e interrelación de dominios. (Fuente: IIRA 1-7)

2.4 Arquitectura de Referencia del Internet Industrial y Modelo OSI

La arquitectura de referencia del internet industrial propone un modelo de dos capas de conectividad para poder entender los sistemas de internet industriales, las que son: capa de transporte de comunicación y capa de marco de conectividad. A continuación se hace una comparación con modelo de referencia del internet industrial, el modelo OSI, que es la base para entender cualquier sistema de interconexión abierto y el modelo TCP/IP, que es el modelo de mayor uso en la conexión a internet.

2.4.1 Modelo de Referencia OSI

El modelo de referencia OSI ofrece un modelo teórico que explica el modo en que se desplazan los datos desde una computadora emisora a otra receptora.

Las capas del modelo OSI describen el proceso de transmisión de los datos dentro de una red. La única capa del modelo con la que interactúa el usuario es la última capa, de Aplicación.

- La capa de aplicación proporciona la interfaz y servicios que soportan las aplicaciones de usuario. También se encarga de ofrecer acceso general a la red.
- La capa de presentación puede considerarse como el traductor del Modelo OSI, esta capa toma los paquetes de la capa de aplicación y los convierte a un formato genérico que puedan leer todas las computadoras.
- La capa de sesión es la encargada de establecer el enlace de comunicación entre las computadoras emisora y receptora.

- La capa de transporte es la encargada de controlar el flujo de datos entre los equipos que establecen una comunicación.
- La capa de red encamina los paquetes además de encargarse de entregarlos. La determinación de la ruta que deben seguir los datos se produce en esta capa.
- La capa de enlace de datos se encarga de desplazar los datos por el enlace físico de comunicación hasta el nodo receptor, e identifica cada computadora incluida en la red de acuerdo con su dirección de hardware.
- La capa física convierte los enlaces de datos en una secuencia única de bits que pueden transmitirse por el entorno físico de la red.

La pila OSI mostrada en la figura 2-3 presenta la estructura de capas que conforman el modelo OSI, cada capa cumple una función importante en el proceso global de transmisión de los datos.

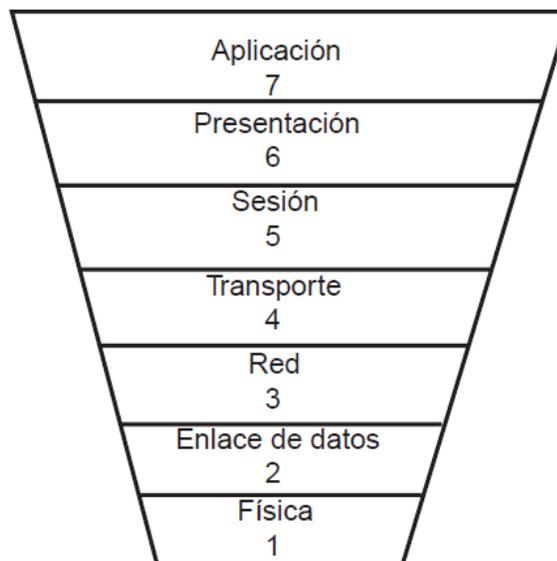


Figura 2-3: Pila modelo OSI (Fuente: Pila OSI, Elaboración Propia).

2.4.2 Modelo TCP/IP

El Modelo TCP/IP es un conjunto de protocolos que puede ejecutarse en distintas plataformas de *software* y casi todos los sistemas operativos de red lo soportan como protocolo de red predeterminado. El modelo TCP/IP se compone de una serie de protocolos, en la figura 2-4 se muestra la comparación con el modelo OSI.

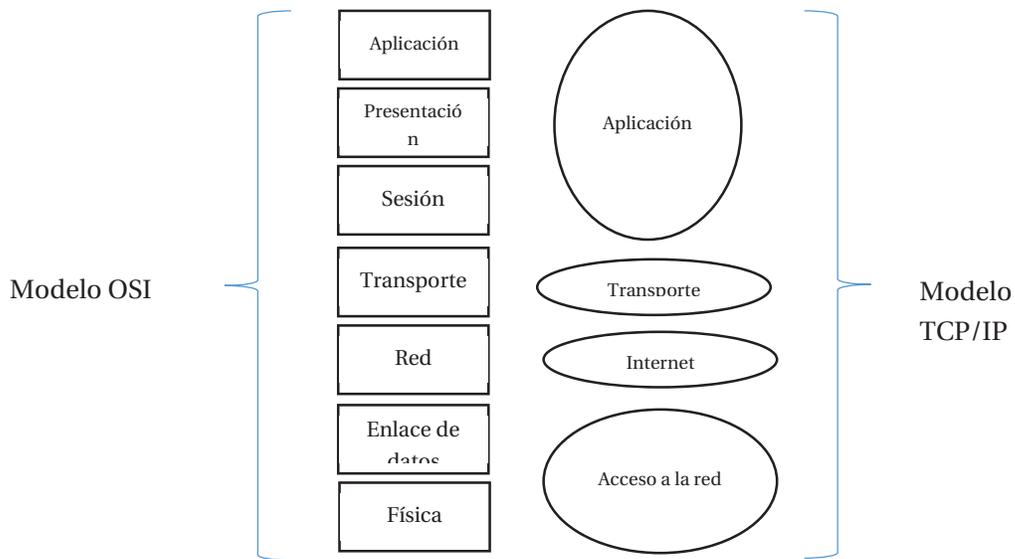


Figura 2-4 Modelo TCP/IP y Modelo OSI. (Fuente: Pila OSI, Elaboración Propia)

Los distintos protocolos que componen el modelo TCP/IP se indican en la tabla 2-1.

Tabla 2-2 Descripción Protocolos de Modelo TCP/IP. (Fuente: Pila OSI, Elaboración Propia)

Protocolo	Función
FTP	El Protocolo de Transferencia de Archivos proporciona una interfaz y servicios para la transferencia de archivos a la red.
SMTP	El Protocolo Simple de Transferencia de Correo proporciona servicios de correo electrónico en las redes Internet e IP.
TCP	El Protocolo de Control de Transporte es un protocolo orientado a la conexión, gestiona la conexión entre las computadoras emisora y receptora.
UDP	El Protocolo de Datagrama de Usuario es un protocolo de transporte sin conexión que proporciona servicios en colaboración con el TCP.
IP	El Protocolo Internet es la base para todo el direccionamiento que se produce en las redes TCP/IP y proporciona un protocolo orientado a la capa de red sin conexión.
ARP	El protocolo de Resolución de Direcciones hace corresponder las direcciones IP con las direcciones MAC de <i>hardware</i> .

2.4.3 Comparación Modelo IIRA, Modelo OSI y Modelo TCP/IP

A continuación se hace la comparación entre el modelo de conectividad de dos capas del IIRA, el modelo OSI y el modelo Internet (TCP/IP)

- Capa de Transporte de Comunicación: esta capa proporciona los medios para llevar información entre puntos finales. Su función es proporcionar interoperabilidad técnica entre los puntos finales que participan en un intercambio de información. Esta función corresponde a las capas 1 (física) a 4 (transporte) del modelo OSI conceptual o las tres capas inferiores del modelo de Internet (Ver Tabla 2-2).
- Capa de Marco de Conectividad: facilita el cómo la información está estructurada de forma inequívoca y analizada por los puntos finales. Su función es proporcionar los mecanismos para realizar la interoperabilidad sintáctica entre los puntos finales. Ejemplos conocidos son estructuras de datos en lenguajes de programación y los esquemas de bases de datos. Esta función se extiende por capas 5 (sesión) a 7 (aplicación) del modelo conceptual OSI o en la capa de aplicación del modelo de Internet (Ver Tabla 2-2).

La tabla 2-2 resume el papel y el alcance de las capas funcionales de conectividad.

Tabla 2-3: Comparación Modelos de Referencia IIoT, OSI y TCP/IP (Fuente: IIRA)

Arquitectura de Referencia IIoT	Modelo OSI	Modelo Internet (TCP/IP)
Capa de Marco de Conectividad	7. Aplicación 6. Presentación 5. Sesión	Capa de aplicación
Capa de Transporte de Comunicaciones	4. Transporte 3. Red 2. Enlaces de datos 1. Físico	Capa de transporte Capa de Internet Capa de enlace

2.5 Conclusión del Capítulo

La arquitectura de referencia entrega las bases para poder entender y a la larga implementar el internet industrial de las cosas en un proceso. Existen tres términos importantísimos que se deben manejar si se quiere hablar del internet industrial, estos son *viewpoint*, *stakeholders* y *concerns*. Además de su definición es necesario conocer la relación que tienen entre sí. También se hace referencia a los cinco dominios funcionales que conforman un sistema de internet industrial y la forma en que se conectan en el patrón de arquitectura de tres niveles.

Finalmente se explica y compara el modelo de conectividad que el IIRA propone, con el modelo OSI y el modelo más común y mayormente utilizado, como el TCP/IP, dicha comparación permite entender de mejor manera las dos nuevas capas de conectividad y comunicaciones que la Arquitectura de Referencia presenta.

3 Elección del Proceso

En este capítulo se aborda en el proceso industrial “Flotación Primaria División Andina, Codelco Chile” que fue realizado como proyecto de titulación de Carlos Otárola el año 2006, en donde se hace el estudio técnico de la implementación del nuevo sistema de control experto basado en análisis de imágenes y sistema Visiofroth. Este proceso abarca ámbitos de control, procesamiento de imágenes, obtención y gestión de datos e información, entre otros. Y también se analizará el cómo se decide implementar el internet industrial de las cosas a este proceso.

3.1 Planta Flotación Primaria División Andina, Codelco Chile

La flotación por espuma es un proceso metalúrgico y fisicoquímico que las industrias cupríferas utilizan para la extracción de minerales de cobre.

La definición de flotación por espuma, se puede considerar como “Proceso fisicoquímico que permite la separación de los minerales sulfurados de cobre y de otros elementos como el molibdeno, del resto de los minerales que componen la mayor parte de la roca original”. [7]

3.1.1 Flotación Primaria o Rougher

La flotación primaria es una etapa que está constituida por 32 celdas de flotación marca Outokumpu Mintec de 3800 pie³, 150 HP y 100 m³ de capacidad cada una. Una celda de flotación es básicamente una gran “juguera”, Su forma es cilíndrica y posee un agitador en su parte media el cual provoca la turbulencia necesaria en el proceso y además por éste se inyecta el aire hacia la celda. En esta etapa, el objetivo principal es recuperar la mayor cantidad de partículas de cobre de la pulpa, no importando su calidad.

El proceso de flotación se puede describir de la siguiente manera: la pulpa es alimentada en la parte inferior de la celda, el agitador provoca turbulencia para mezclar las partículas sólidas con las burbujas de aire y así elevar el grado de contactos con éstas. Las burbujas suben hacia la superficie y se cargan con partículas de cobre provocando la acumulación en la superficie y el posterior rebalse, siendo recolectadas por canaletas, las cuales las dirigen a un contenedor donde son acumulados todos los concentrados de las distintas celdas.

Para el control del proceso, se utiliza una red de sistemas de PLC de la marca Modicon. En la sala de control, el proceso es monitoreado constantemente por un operador de planta, quien

con la ayuda de una interfaz gráfica desarrollada en base al software FIX, se observa el proceso, pudiendo manejar y recibir datos tal como la velocidad de la bomba, partir/parar un equipo, entre otros.

El control de cada una de las celdas se realiza de forma local por medio de controladores 743CB Foxboro, el cual realiza el control del flujo del aire y control de nivel de cada uno de los bancos. Existen 24 controladores en total, cada uno está unido a través de una conexión Modbus que llegan a un “*Bridge Multiplexor*”. Este PLC, que además controla la planta de cal en el concentrador, envía los datos a un PC que se encuentra en el panel de flotación que por medio del programa FIX, muestra los despliegues del proceso sólo para ser monitoreados. Cualquier modificación que se desea realizar, ya sea más inyección de aire, o control de nivel, debe hacerse en los controladores locales. La lógica de control PID utilizada, es configurada en terreno a través de su panel de control.

Los encargados de medir la cantidad de flujo de aire que se inyecta a cada celda son llamados flujómetros o medidores en línea de flujo másico. En la planta son utilizados flujómetros Serie 780 Sierra Instruments, los cuales poseen dos sensores; uno de velocidad y otro de temperatura, que hace correcciones automáticamente cuando ocurre algún cambio de temperatura.

3.2 Problemática del proceso

El sistema de control que posee la planta presenta algunas falencias, tanto en *software* como en *hardware*. Por ejemplo, los flujómetros se alimentan de 110[v], lo que cualquier inestabilidad de energía producía prácticamente que estos flujómetros se quemaran. Además la falta de capacidad de diagnóstico, es decir, no poseían conexión que permitiera conectar con algún software que analizara los datos. A raíz de la ausencia de los flujómetros la operación de inyección de aire es realizado de forma manual, es decir, la apertura de la válvula se realiza por estados porcentuales (30% de apertura, 50% de apertura, etc...) y el operador decide por su experiencia la cantidad de aire que desea en la celda.

Otro problema del proceso se presenta en los segundos bancos de cada fila, por un problema hidráulico, los operadores no flotaban este banco reduciendo considerablemente la recuperación en esta etapa. Por lo tanto, una variación en el flujo de carga del proceso de molienda, provoca que en el primer y último banco se tratara de recuperar lo más posible, sin importar la calidad del producto.

Con ambos problemas expuestos, se puede concluir que la variable que se trata de controlar y que ahora se ve afectada, es la velocidad de rebose de la espuma que permite la recuperación de cobre. El problema se ve graficado en la figura 3-1, en donde se muestra la velocidad ideal y la velocidad actual de cada fila.

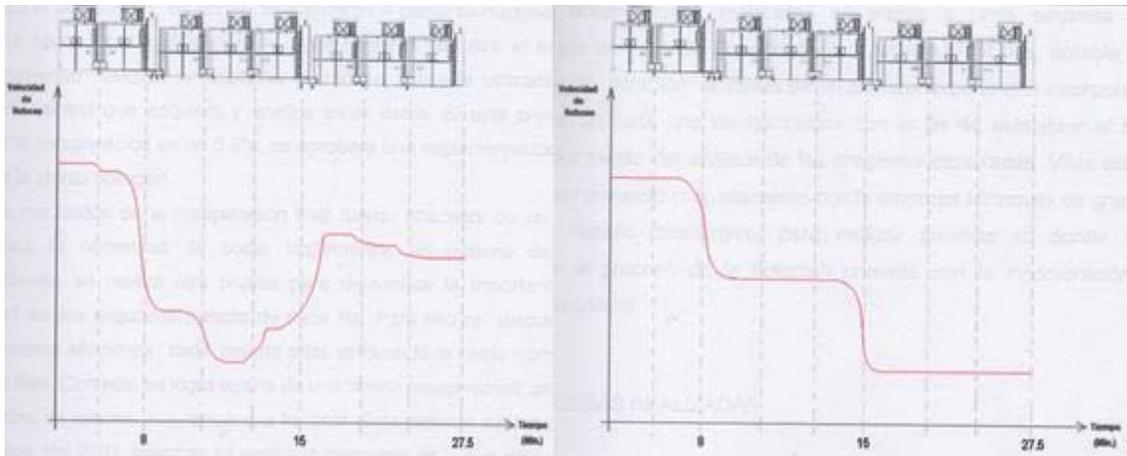


Figura 3-1: Velocidad de rebose actual (izquierda) y velocidad de rebose ideal (derecha). (Fuente: Tesis Carlos Otárola)

3.3 Mejora del proceso

Se busca la mejora de este proceso con la implementación de un sistema de procesamiento de imágenes y un sistema de control experto que permita una estabilidad confiable. Para el desarrollo de esta implementación se utilizan 32 cámaras dispuestas en cada celda, conectadas por cable UTP a un conversor Ethernet/USB ubicado dentro del gabinete Visiofroth. Estos conversores se conectan por medio de un cable USB a un HUB conversor de USB a fibra óptica. Esta fibra óptica multimodo recorre toda la planta hasta llegar a otro HUB conversor ubicado en el panel de control. Finalmente por medio de un cable USB se conecta a un PC que receptiona y muestra las imágenes captadas en terreno. La figura 3-2 muestra un esquema de comunicación.

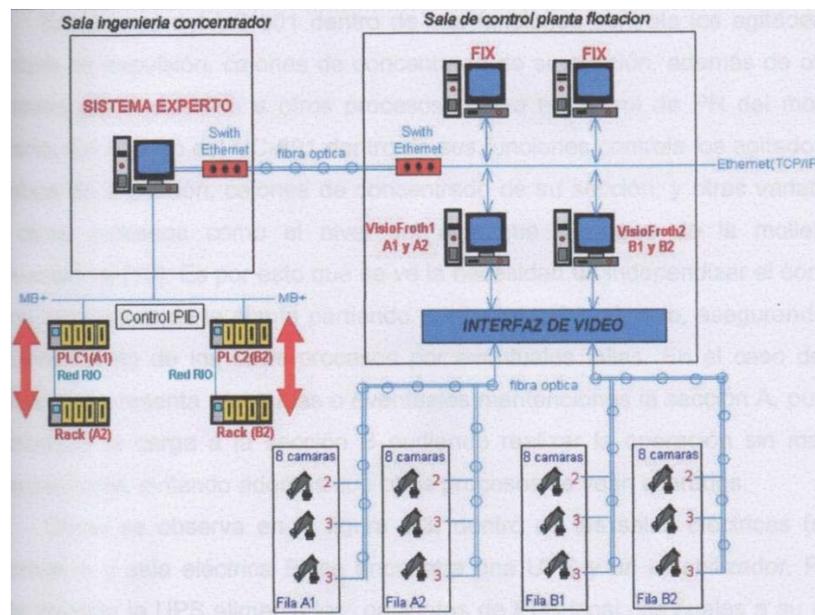


Figura 3-2: Esquema de comunicación sistema de video (fuente: Tesis Carlos Otárola)

El sistema de control experto OCS posee módulos dentro de su estructura, diferentes módulos para distintas aplicaciones industriales. Para este caso se utiliza el módulo de visión, además de la programación realizada en lógica difusa [8]. Este módulo consta de toda la configuración del programa para poder visualizar las imágenes de cada una de las cámaras distribuidas en terreno. En cuanto a la programación, contempla todo lo que son las reglas de control en lógica difusa. En las celdas, cada una de las 32 cámaras captan imagen del rebose de espuma y por medio de la red de comunicación, llega al panel de control en donde el operador visualiza cada una de las celdas de una determinada fila, como se muestra en la figura 3-3 correspondiente al despliegue gráfico.

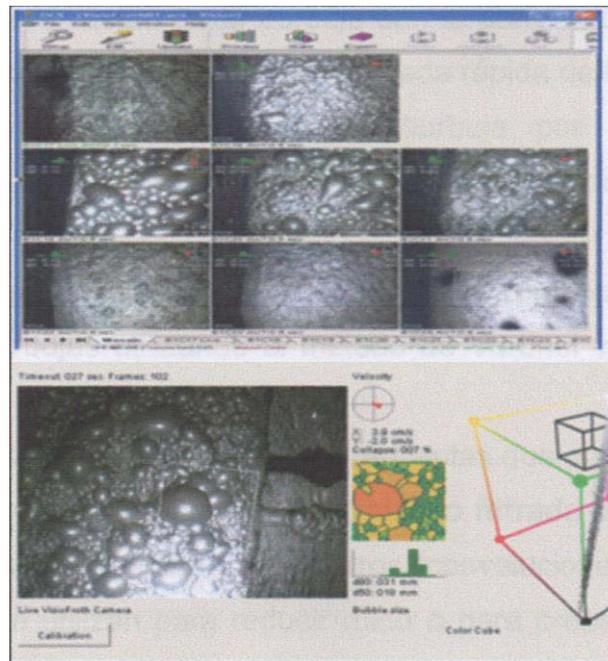


Figura 3-3: Interfaz gráfica de cámaras de flotación. (Fuente: Tesis Carlos Otárola)

3.4 Sobre la elección del proceso

Para la elección del proceso industrial, es necesario que se planteen ciertas preguntas que permiten aclarar las dudas con respecto a si aplicar o no el internet de las cosas industrial en el proceso y a su vez en la industria.

Primero se debe entender que la inclusión del Internet Industrial de las Cosas va a aportar mayor visibilidad sobre los procesos productivos, facilitando el flujo de información entre las distintas áreas, generando conocimiento y valor [9]. Entonces conociendo las ventajas de la aplicación del internet industrial es necesario realizar la siguiente pregunta: ¿Por dónde empezar?

La respuesta es sencilla, nadie conoce mejor el proceso productivo, que el equipo de trabajo del proceso, desde operadores, hasta ingenieros de sistema, todos conocen sus puntos fuertes y carencias. Ellos deben plantear el proceso en tres pasos:

- Identificar puntos potenciales de mejora. Buscar procesos de recogida manual de información, anotaciones en papel. Procesos poco estables y que puedan ser optimizados. Identifica información potencialmente útil que actualmente no se obtiene por diversas causas y que sería muy valiosa para la toma de decisiones.
- Obtener datos. Se trata de proponer los sensores adecuados para obtener esa valiosa información que se necesita. Los precios de la instrumentación empiezan a ser asequibles y hay en el mercado un muy amplio abanico de sensores disponibles. Consultar empresas auxiliares que complementen el equipo y proceso.
- Centralizar la información e interconectar. Existe hardware de adquisición de datos, *Gateway* y plataformas *cloud* para realizar la obtención y centralización de información. Una empresa de integración de sistemas puede ser el aliado o *partner* perfecto.

Una vez conocidos estos pasos se puede determinar que el proceso de flotación primaria es un fuerte candidato para aplicar el internet industrial de las cosas, ya que posee tanto falencias como carencias, que van desde falta de estabilidad y mayor obtención de datos en tiempo real que permitan monitorear de mejor manera el proceso. Además es posible con los datos recogidos realizar análisis predictivo cómo preventivo y así evitar posibles fallas en el proceso, y finalmente toda la información se puede centrar en distintos servidores ubicados tanto en la sala de control cómo en las áreas que así lo requieran.

3.5 Instrumentación Aplicada al Proceso de Flotación estudiado

En el proceso de Flotación Rougher en Codelco División Andina, donde se implementa el nuevo sistema de control basado en Control Experto y sistema de análisis de imágenes, Visiofroth™ de Metso Minerals, se utilizan distintos tipos de instrumentación como cámaras, sensores de flujo másico, válvulas electro-neumáticas, plc entre otros. Cada uno de ellos con distintas características técnicas que se revisan para decidir si estos instrumentos permiten la implementación del Internet Industrial de las Cosas en este proceso.

3.5.1 Características Técnicas de Instrumentación utilizada

En este capítulo, se revisará lo que son los implementos que permiten la obtención de datos del proceso, tales como, las cámaras y sensores de flujo másico. Debido a que gracias a ellos se puede mantener el proceso monitoreado en tiempo real y así tomar las decisiones tanto de control como de mantención que se requieran.

Estos sensores permiten obtener datos como imágenes del tamaño y nivel de la espuma, también la cantidad de aire que se inyecta a las celdas de flotación. En este caso, se utilizan un sensor de flujo Másico Mass Probar 3095MFA marca Rosemount, además de cámaras IP 68 del sistema Visiofroth™ de Metso.

3.5.2 Sensor de Flujo Másico Mass Probar 3095MFA

El sensor de flujo másico o flujómetro másico Mass Probar 3095MFA de Rosemount, es utilizado para medir la cantidad de aire que se inyecta a las celdas, que en conjunto con el movimiento realizado por los agitadores hacia la pulpa, produce la espuma que permite la recuperación del cobre. Este instrumento censa la cantidad de aire que se inyecta a la celda. Está conectado al PLC Quantum, que mediante los *set point* que obtiene gracias al sistema experto, controla la cantidad de aire que se inyecta.

Características:

- Salida: Señal de 4–20 [mA] de dos hilos, el usuario puede seleccionar DP, AP, GP, PT, flujo másico o flujo totalizado. El protocolo digital HART se superpone a la señal de 4–20 [mA]; disponible para cualquier host que cumpla con el protocolo HART
- Alimentación: Opción de 4–20 [mA]. Se requiere una fuente de alimentación externa. Cuando no está bajo carga, el transmisor estándar (4–20 mA) funciona a un voltaje de 11 a 55 [v] CC.
- Alarma del modo de fallo: HART 4–20 [mA] (código de salida A). Si el autodiagnóstico detecta un fallo importante en el transmisor, la señal analógica será llevada por debajo de 3,75 [mA] o por encima de 21,7 [mA] para así alertar al usuario. Haciendo uso de un puente interno, el usuario selecciona la señal de alarma de baja o de alta.
- Conexiones electrónicas Conducto con NTP 14 de 1/2, G1/2 y M20 × 1.5 (CM20). Conexiones de interfaz HART unidas al bloque de terminales para el código de salida A.

La figura 3-4 muestra un flujómetro Rosemount Mass Probar 3095MFA.



Figura 3-4: Flujómetro Rosemount Mass Probar 3095MFA. (Fuente: Emerson Process)

3.5.3 Cámaras IP68 Metso Minerals

Se utilizan cámaras USB con Índice de Protección IP68, en el sistema Visiofroth™, que son endurecidas industrialmente, y con ciertas características que permiten tener una calidad de imágenes y una cantidad de capturas por segundo. La figura 3-5 presenta una cámara USB IP68 típica utilizada en los sistemas Visiofroth™.

Características:

- IP68 posee un encapsulado que los protege de las duras condiciones de la mayoría de los sitios mineros. En general, estas cámaras no necesitan una protección adicional, aunque se proporcionan una protección especial para las zonas con mucho polvo. Este tipo de cámara son adecuadas en instalaciones al aire libre.
- 640x480 píxeles de resolución. Esta resolución se adapta bien a la mayoría de las aplicaciones. Existen resoluciones más altas, pero están disponibles para aplicaciones especiales, en la mayoría de los casos las imágenes de 640x480 son lo suficientemente agudas para ver todos los objetos de interés práctico, mientras que las resoluciones más altas podrían aumentar innecesariamente el tiempo de cálculo.
- Obturador de alta velocidad (hasta 1/5000 [seg] aunque 1/1000 [seg] a menudo basta). Este tipo de cámara no necesita una gran cantidad de luz en comparación con otras tecnologías, y por lo tanto los obturadores de alta velocidad se pueden utilizar incluso con luz de energía relativamente baja.
- Alta tasa de fotogramas (30 fotogramas por segundo). Esto es importante para el sistema ya que el tiempo de cálculo (15 a 30 imágenes por segundo) es relativamente corto, mientras que otros sistemas tienden a ser limitados por el tiempo de cálculo más que por la propia cámara.
- Bajo costo y fácil instalación.



Figura 3-5: Cámara IP 68 típica usada para sistema Visiofroth™ (Fuente: Metso Cisa)

- Hardware de Comunicación: en el lado del ordenador, el uso de la tecnología USB hace que sea posible eliminar la necesidad de una tarjeta de captura de imágenes. Sólo se requieren controladores USB. Las cámaras están conectadas a concentradores de campo USB, instalados en gabinetes de protección con uno a cuatro cámaras por concentrador de campo. Estos concentradores de campo USB están conectados con extensores USB, que se encuentra cerca de la computadora, a través de cables de fibra óptica que pueden ser tanto multimodo o monomodo. Con los cables de fibra óptica monomodo, las cámaras pueden estar situadas a varios kilómetros de distancia de los ordenadores.

En la figura 3-6 se aprecia la disposición en terreno de la cámara y el foco utilizados en el proceso de flotación.



Figura 3-6: Disposición en terreno de cámara e iluminación. (Fuente: Metso Cisa)

3.6 Conclusiones del Capítulo

Este capítulo permite dilucidar en gran manera lo que el proceso productivo realiza, sus principales fallas y carencias, además de la propuesta de mejora. La implementación de cámaras en las celdas y el nuevo sistema de control experto dan pie para que se obtengan nuevos datos de una variable no muy conocida como la velocidad de rebose de la espuma, que permitirá una mejor calidad de producto y evitar fallas del proceso. Finalmente se analizan los tres pasos para determinar que el proceso industrial estudiado es candidato para aplicar el internet industrial de las cosas.

La implementación utilizada en el proceso, cumple con requisitos básicos de conectividad y confiabilidad en el envío de los datos, ya que se conectan uno bajo protocolo HART, mientras que las cámaras se conectan a computadoras mediante USB, lo que hace que sea necesario sólo tener los controladores USB en el computador para poder recibir las imágenes y datos enviados. En base a esto se puede decir que ambos sensores (Flujómetro y cámaras), son aptos para la implementación del internet industrial en el proceso de flotación.

4 Arquitectura de Referencia del IIoT aplicado al Proceso

En este capítulo se hará la aplicación del marco de referencia del internet industrial al proceso elegido en el capítulo anterior. Esto da pie para el diseño y una futura implementación del IIoT que permita una mejora en la toma de decisiones, mayor productividad, minimización de fallas de proceso y optimización en la mantención predictiva y preventiva del proceso.

4.1 Definición y comparación de conceptos

De los cuatro puntos de vistas definidos, se revisarán uno por uno definiendo los *concerns* y *stakeholders* correspondientes del proceso elegido.

4.1.1 Punto de Vista de Gestión

Se pueden asociar distintos *stakeholders* y *concerns* del proceso elegido para este *viewpoint* que serán explicados en la tabla 4-1, estos ayudan a entender de mejor manera el punto de vista y a darle una mirada integral al proceso, partiendo desde la capa más alta que es la de gestión. En donde los altos mandos de la planta deciden sobre la nueva visión del proceso.

4 Arquitectura de Referencia del IIoT aplicado al Proceso

Tabla 4-1: Punto de Vista de Gestión Aplicado al Proceso (Elaboración Propia).

Punto de Vista de Gestión aplicado al proceso	
<i>Stakeholders</i>	<i>Concerns</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Ingenieros <i>senior</i>, superintendentes, gerentes, accionistas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Visión: proceso más rentable. - Valores y experiencias: producir más concentrado, mejorar la calidad del producto y dejar de perder con cada falla del proceso. - Objetivos clave: aumentar el rebose de espuma que permita una mejor calidad en la recuperación de concentrado de cobre en la etapa de flotación. - Capacidades fundamentales: implementación de cámaras en las celdas de flotación en conjunto con proceso de control experto.

4.1.2 Punto de Vista de Utilización

En este punto de vista se busca llevar a cabo los objetivos clave y capacidades fundamentales que son definidos en el punto de vista de gestión. En este punto de vista se describen actividades, tareas y roles de distintas unidades de trabajo sobre diversos componentes del sistema. En la tabla 4-2 se hace la relación del proceso elegido con el punto de vista de utilización.

Tabla 4-2 Punto de Vista de Utilización aplicado al proceso (Elaboración Propia).

Punto de Vista de Utilización aplicado al proceso	
<i>Stakeholders</i>	<i>Concerns</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Operadores de proceso, ingenieros de sistema, ingenieros <i>senior</i> superintendentes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tareas: Implementar cámaras en proceso de flotación, funcionamiento correcto de cámaras, obtener datos de cámaras dispuestas en las celdas, analizar datos para una mejor toma de decisiones del sistema de control. - Roles: estudio y posterior adquisición de instrumentación necesaria, conexión y puesta en marcha de cámaras, pruebas y marcha blanca del proceso. - Equipo: ingenieros de sistema, ingenieros de control, contratistas de instrumentación, redes y eléctricos.

4.1.3 Puntos de Vista de Operación e Implementación

En estos puntos de vista se definen cinco dominios que integran desde la tecnología necesaria para la implementación del sistema de internet industrial hasta la visión de los gerentes e ingenieros más altos del proceso y empresa. Además se puede asociar actividades del proceso con los distintos dominios y cómo se interrelacionan en el patrón de tres de niveles.

El nivel de extremo, recoge datos de los nodos del proceso como las cámaras y flujómetros, a través de UTP y Ethernet/USB que conectan las cámaras dispuestas en las celdas con los PLC en los gabinetes de control. El nivel de plataforma, transforma estos datos en información, ya sea para procesarla y enviarla a los ingenieros de proceso y control, como para utilizarla en optimizar y monitorear el proceso. Esta etapa utiliza en parte las red RIO entre los PLC y Ethernet TCP/IP para la comunicación entre el los PLC, el sistema experto y los PC de monitoreo con *software* FIX.

El nivel de empresa visualiza los datos obtenidos en los dominios de control e información y los entrega en forma de aplicaciones a los usuarios finales como ingenieros de sistema e operadores de sistemas. Algunos de los programas utilizados son el OCS e Intellution FIX 32 que permiten ver en tiempo real el proceso de flotación. Además en el nivel de empresa es donde se toman las decisiones y gestiona el proceso. Esta etapa utiliza la red Andina de Internet, es decir una red cerrada de internet que permite conectar las distintas plantas que conforman Codelco Andina.

En la figura 4-1 se puede apreciar los cinco dominios y la forma en que se relacionan en el patrón de arquitectura de tres niveles, las redes que permiten la comunicación y transmisión de los datos.

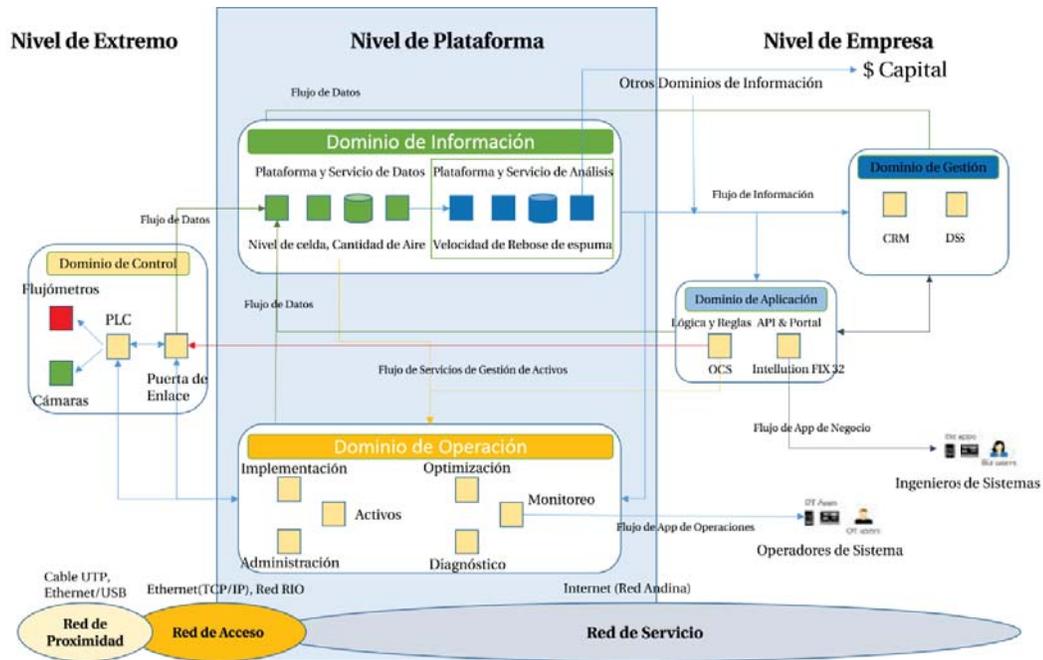


Figura 4-1: Relación de los dominios en el patrón de arquitectura de tres niveles. (Fuente: elaboración propia)

4.2 Definición Stakeholders asociados al Proceso según los Puntos de Vista

A continuación se realiza un análisis sobre los *concern* y *stakeholders* del proceso, clasificando cada uno de los protagonistas con sus intereses. Así se logra una mejor comprensión del proceso de recuperación de cobre y detallar de mejor manera los *concern* que tienen más importancia para algunos *stakeholders*, dependiendo del punto de vista del que este *stakeholder* sea partícipe.

Los puntos de vista ayudan a agrupar a diferentes *stakeholders* que tienen intereses en común del proceso de flotación, estos puntos de vista son: gestión, utilización, operacional e implementación.

En la tabla 4-3 se definen cada uno de los *stakeholders* del proceso, donde se relacionan con los *viewpoint* al cual pertenecen y el o los *concerns* que a cada uno de los stakeholders que a ellos interesan, además se incluye la aplicación e implementación del IIoT de cada stakeholders correspondiente de cada punto de vista asociado. Cabe destacar que el objetivo clave es mejorar la recuperación de cobre, esto implica distintas tareas y funciones, que serán a la larga *concerns* para diferentes *stakeholders*.

Tabla 4 3: Relación Stakeholders, Viewpoint y Concern. (Fuente: realización propia)

<i>Stakeholders</i> asociados al proceso según sus <i>Concerns</i> y <i>Viewpoints</i>				
<i>Stakeholders</i>	<i>Viewpoint</i>	<i>Concerns</i>	Datos que interesan	Tecnología para IIoT
Accionista	Gestión	Mayor rentabilidad	US \$	Software/Cloud
Gerente	Gestión	Obtener mayor cantidad del concentrado de cobre	Ton/Hor.	Software/Cloud
Superintendente	Gestión/ Utilización	Implementación nuevo sistema de control	Optimización/ Estabilidad	Software/Analítica de Datos
Ingeniero Senior	Utilización	Control Experto y Análisis de datos basado en sistema Visiofroth™	Datos de Proceso	Analítica de datos/Acción/Decisión
Ingeniero de Sistema	Utilización/ Operacional/ Implementación	Obtención y análisis de datos del proceso	Datos de proceso	Analítica de datos/ Acción Preventiva-Predictiva
Ingeniero de Control	Operacional/ Implementación	Estabilizar y optimizar el proceso	Datos del proceso	Analítica de datos
Operador de Proceso	Operacional/ Implementación	Funcionamiento y operación del sistema	Datos del proceso	Instrumentación Smart
Contratista	Implementación	Instalación de cámaras, sensores, plc	HH trabajo	-

4.3 Conclusiones del Capítulo

Un sistema de Internet Industrial se divide en cinco dominios funcionales que fueron aplicados en el proceso elegido, cada dominio tiene sus *concerns* y *stakeholders* definidos, que permiten diseñar de manera óptima el internet industrial. Además se ve la relación que tienen los cinco dominios en una arquitectura de tres niveles que es mayormente utilizada en los sistemas de internet industrial. Finalmente se muestra en la figura la forma en que se obtienen, envían y transmiten los datos que se requieren para la mejora del proceso.

La definición y clasificación de los distintos *stakeholders* que tienen intereses en el proceso permite entender de mejor manera el proceso mismo, las distintas etapas, y lo que a cada uno de ellos importa, así cada *stakeholders* hará lo necesario para obtener información de los datos que a él competen, y no será necesario obtener todo el conocimiento o información relacionada al proceso de flotación.

5 Instrumentación Aplicada al IIoT & Solución Propuesta

La aplicación del internet industrial de las cosas en un proceso productivo conlleva a la implementación de la instrumentación adecuada, que permita obtener la mayor cantidad de datos en tiempo real y de la forma más segura posible.

5.1 Pilares Tecnológicos del IIoT

La tendencia del IIoT es resultado de un conjunto de evoluciones tecnológicas, aunque los factores más importantes para su desarrollo son el Internet de las Cosas y los nuevos enfoques de análisis de datos como el Big Data, el punto de quiebre se debe a la convergencia entre tecnologías. Dado que el número de tecnologías que participan de una u otra manera en esta evolución es muy amplia, a continuación se revisa las más específicas y por último las tecnologías de la información que actúan como elemento aglutinador.

5.1.1 Sensores

La evolución tecnológica en el campo de los sensores ha tenido importantes repercusiones en el desarrollo de los servicios digitales durante los últimos años. Los sensores que incluyen los dispositivos son muy diversos y pueden captar casi cualquier variable física del entorno. Por ejemplo, son comunes los sensores que miden variables como temperatura, humedad, cantidad de luz visible, presión, aceleración, presencia, fuerzas, proximidad, obstáculos, y otras más específicas a un área concreta, como el campo magnético, ultrasonidos o rayos infrarrojos. En el terreno industrial, la maquinaria contiene cada vez con más frecuencia un número importante de sensores que permiten captar toda la información que puede ser relevante para ajustar su funcionamiento en tiempo real o para indicar que algo está operando inadecuadamente.

Esta tendencia se verá potenciada por el desarrollo del concepto de Internet de las Cosas, que permitirá que cada vez más objetos capten información del entorno y se conecten a Internet, ofreciendo una corriente de datos que se podrá utilizar de múltiples maneras. Para que todos estos objetivos se puedan cumplir, será necesario abordar diversos desafíos, como la reducción del tamaño de los sensores, la integración de capacidades de comunicación en muchos casos

inalámbrica, cierta capacidad informática y una fuente de energía que permita el suministro de forma independiente.

5.1.2 Tecnologías de la Información y las Comunicaciones

Las tecnologías de información y las comunicaciones también desempeñarán un papel fundamental en la habilitación del movimiento de Internet Industrial. Aunque cada tecnología ofrezca capacidades concretas, la mayoría de los servicios se hacen posibles gracias a la convergencia de varios de ellos, por ejemplo, los servicios de movilidad son posibles gracias a que existe una infraestructura de la nube que los soporta, y a su vez dichos servicios se ven potenciados en entornos *smart*. Aunque detrás de todos estos servicios se encuentra el despliegue de tecnologías de comunicaciones que permiten la conexión permanente, los esfuerzos de deben centrar en tecnologías desde el enfoque del servicio que se ofrece al usuario, y destacar la informática en la nube, la banda ancha móvil y los protocolos para adaptar las infraestructuras a Internet Industrial de las Cosas.

- La nube: Bajo esta categoría se engloban todas aquellas tecnologías que permiten desvincular el lugar en el que se encuentran los recursos para ofrecer un servicio del lugar donde se prestan. Por recursos se puede entender infraestructura de almacenamiento de información, de informática, o incluso servicios más complejos. Este modelo es fundamental para conseguir un despliegue de servicios inteligentes que permite descargar a los dispositivos de baja capacidad de tener que realizar actividades complejas, a la vez que es como una especie de pegamento entre todos los servicios al hacer posible acceder a ellos en movilidad. Es, pues, una infraestructura básica para conseguir una experiencia de continuidad.
- Tecnologías de movilidad: Uno de los fenómenos que más importancia ha tenido en los últimos años en el mundo de las TIC ha sido la explosión del acceso a Internet en movilidad. Este acceso ha tenido implicaciones en diversos ámbitos, como en el de los dispositivos móviles, con la irrupción de los *smartphones* o teléfonos inteligentes que ahora suponen la práctica totalidad de los dispositivos móviles comercializados en los países desarrollados, o el despliegue de infraestructuras para dar cobertura a todas las zonas de la geografía. Después de varios años en los que se realizó el despliegue 3G, en los últimos tiempos tecnologías de acceso de alta velocidad como LTE han absorbido la mayor parte del presupuesto en infraestructuras. Todas estas inversiones en dispositivos y en infraestructuras han venido acompañadas por desarrollos en software, principalmente APP para adaptar los sistemas y las empresas al entorno en movilidad.
- Evolución de infraestructuras para facilitar Internet de las Cosas. La evolución desde Internet de las personas a Internet de las Cosas implica un aumento exponencial en el número de conexiones a la red y en la naturaleza de estas conexiones, ya que los nuevos dispositivos que se conectan siguen unos patrones de comportamiento muy diferentes en cuanto a la frecuencia de acceso y la cantidad de información transmitida. Uno de los cambios fundamentales que ha sido necesario llevar a cabo respecto a la infraestructura general de Internet para poder integrar un aumento tan importante en el número de elementos conectados es la migración a la versión IPV6. De esta forma el número de

direcciones IP, que ya estaban concedidas en un 99%, aumenta exponencialmente, ya que este formato utiliza 32 dígitos en hexadecimal, lo que hace que el número de direcciones posibles sea casi ilimitado. Otra infraestructura fundamental en la que se apoya Internet de las Cosas es la red de banda ancha móvil. En este caso es necesario preparar esta red para absorber el crecimiento en el número de conexiones. Por este motivo el nuevo estándar 5G que ya se está empezando a ser utilizado, considerará además aspectos relativos a una interfaz radio adaptada para MTC/IoT/M2M. Se intentará así resolver no sólo las cuestiones de cobertura y capacidad asociadas a su uso masivo, sino también los problemas de señalización provocados por el aumento exponencial de dispositivos conectados. Otras tecnologías como wifi o bluetooth están desarrollando versiones adaptadas para permitir el despliegue de Internet de las Cosas como el protocolo 802.11ah de wifi o la versión Bluetooth 4.0. [2]

5.2 De la Prevención a la Predicción

Durante las últimas décadas se ha producido una evolución desde un modelo de mantenimiento reactivo que trataba de solucionar los problemas en cuanto se producían, a un modelo preventivo que trataba de evitar que se llegaran a producir averías.

De esta forma se diseñan planes de mantenimiento basados en medidas que son capaces de prever cuál es el momento idóneo para realizar los mantenimientos, todo ello basado en estadísticas. Si el tiempo medio de funcionamiento de un componente es de 5 años, esta información se incluye en las planificaciones de actuación, de manera que cuando llega la fecha se aborde la revisión o cambio de dicho componente. Aunque esta situación se observa claramente en el entorno industrial, el concepto de prevención es aplicable a todos los sectores y a variables de muy diferente naturaleza.

A pesar del avance que supone el enfoque hacia la prevención con respecto al enfoque hacia la reparación una vez que se produce un fallo, este enfoque preventivo tiene como principal problema el que trata a todos los elementos por igual, sin tener en cuenta la situación concreta de las máquinas o personas. De este modo, se actúa con unos criterios uniformes para todos los elementos sin tener en cuenta la situación real. Esta forma de actuar provoca costos, por ejemplo: la intervención durante el mantenimiento, los elementos que se sustituyen sin que en muchos casos sea necesario, de las paradas programadas que en ciertas ocasiones no eran necesarias.

En la actualidad, la unión de varias de las tecnologías puede permitir la monitorización en tiempo real de los componentes y la predicción de los posibles fallos con antelación. Este enfoque parte de una difusión masiva de sensores que ahora es posible debido al avance tecnológico y la reducción de costos, unas infraestructuras de conectividad, principalmente inalámbrica, permiten transmitirlos en tiempo real, y tecnologías analíticas que permiten analizar toda la información también en tiempo real. La unión de todas las tecnologías facilita el desarrollo de un modelo predictivo, que es capaz de captar la situación real, y basándose en ella predecir comportamientos reales. Como se ha comentado, este planteamiento tiene aplicación en diversos tipos de entornos, además del manufacturero.

Tecnologías como sensores, la nube y analítica de datos aportan una capacidad tecnológica que permite llevar la planificación a niveles en los que antes no era posible, por ejemplo integra mantenimiento programado y el no programado de forma que identifica el mejor momento y localización para realizar el mantenimiento. Así es posible reducir el tiempo que los aparatos y/o sistemas se encuentran fuera de servicio y los costos totales de mantenimiento.

5.2.1 Smart Services

Se denominan *smart services* a estos servicios que son capaces de reaccionar ante el entorno e interactuar proactivamente con el usuario a partir de un modelo de reglas más o menos complejo en el que se pueden llegar a incluir conceptos propios de la inteligencia artificial. Este modelo incluye cuatro características:

- **Percepción:** Los dispositivos deben disponer de sensores que sean capaces de captar la información del entorno y del contexto que sea pertinente según el tipo de objetivo que se propone.
- **Conexión:** La conexión a internet mediante algún tipo de tecnología, principalmente inalámbrica, es un requisito imprescindible para la interacción y el intercambio de datos entre sistemas ciber-físicos.
- **Inteligencia:** Se entiende en este caso la capacidad de tomar decisiones autónomas. En los modelos más avanzados se podrán incorporar procesos de autoaprendizaje.
- **Reacción:** Los servicios inteligentes poseen la capacidad de reaccionar y adaptarse a diferentes situaciones basándose en instrucciones internas o externas. Realmente se trata de un cambio de gran impacto en la forma de trabajar de las empresas, en tanto que requiere un diseño de los productos considerando desde el principio las capacidades de las tecnologías y también la conexión con todo el resto de los sistemas de las empresas. Además, otros aspectos, como la seguridad o la utilización de la nube como elemento para dar continuidad a los servicios, deben ser tenidos en cuenta desde el principio.

5.3 Soluciones y Aplicaciones IIoT Existentes

A continuación se explicarán algunas soluciones existentes utilizando el Internet Industrial de Las Cosas en Codelco y las soluciones propuestas para el proceso de flotación Rougher escogido.

5.3.1 Big Data & Data Analytics: Minería Digital Codelco

En la actualidad, se necesita integrar los datos operacionales que registran los equipos de producción de las distintas faenas de Codelco, para tomar decisiones en forma global e integrada entre todos los procesos.

Para dar una solución a esta problemática, Codelco construye y opera desde 2016 una plataforma de acceso, procesamiento y análisis de datos de todas las divisiones, en pleno centro de Santiago, en casa matriz de la compañía.

Esto permite:

- Tomar decisiones en tiempo real, con información de toda la cadena productiva.
- Generar planes de mejora continua sobre la base de análisis de desempeño en línea e histórico.
- Detectar de forma temprana comportamientos anómalos de equipos, lo que mejora rendimientos y también seguridad.
- Realizar análisis de datos con herramientas matemáticas y computacionales para aplicar mejoras en los programas y procedimientos de operación.

5.3.2 Camiones Autónomos División Gabriela Mistral

Desde el año 2007 Codelco utiliza Camiones Eléctricos Autónomos marca Komatsu modelo 930E4 con capacidad de 290 toneladas métricas, con una potencia de 2.700HP. [9]

Estos camiones son diseñados para operar 24 horas continuas, navegar por rutas predefinidas y a una velocidad predeterminada, esperar y posicionarse en áreas de carguío, además de reportar estados de ubicación, entre otras cualidades.

Todas estas características le otorgan al sistema autónomo mayor seguridad y continuidad operativa que redundan, finalmente, en la reducción de costo de mantención y operación.

En el centro de operaciones, los datos de los camiones y otros equipos, personal en el sitio e instrumentos geológicos se recopilan en un sistema integral de automatización de minas. El software brinda a los gerentes de operaciones una vista en tiempo real y de gran formato de toda la operación minera, que incluye visualizaciones 3D de sitios de trabajo y programas de mantenimiento predictivo.

5.4 Decisión sobre la Instrumentación

La instrumentación que es utilizada en el nuevo sistema de control posee características de conexión que hacen posible la implementación del Internet Industrial de las Cosas al proceso de flotación, debido a que, se pueden obtener datos tanto de nivel, color, tamaño y velocidad de la espuma, así como también cantidad de aire, pulpa y velocidad del agitador de la celda. Estos datos son utilizados para el control del proceso, pero más allá de eso puede ser utilizado para obtener un mejor recuperación de cobre y optimizar la mantención de los instrumentos, como de los activos fijos de la planta.

Es posible optar entre varias opciones para la implementación del Internet Industrial de las Cosas a este proceso, una es utilizar la instrumentación actual del proceso además de la capacitación del personal, y la segunda es implementar nuevos instrumentos, capacitación del

personal además de la inclusión de otra empresa prestadora de servicios *cloud*, entre otros. A continuación se revisarán ambas opciones propuestas para la implementación del proceso.

5.4.1 Solución dentro de la Empresa

Los instrumentos implementados siguen utilizándose, la conexión de estos permite la obtención de datos de forma segura y casi en tiempo real del proceso. Estos datos obtenidos son enviados y almacenados en servidores propios, se realiza mediante software, el análisis de estos datos y gracias a leyes de control propuestas por los ingenieros de sistema, más la experiencia de los operadores se logra obtener un proceso lo más óptimo posible. Para esto es necesario mantener al personal capacitado para poder analizar y utilizar de mejor manera los datos obtenidos.

Además se hace un análisis de los datos cuando el proceso falla y gracias a la experiencia de los equipos de mantención, se podrá planificar de mejor manera las fallas para así predecir y ahorrar los costos por tiempos de no producción.

Es necesario para aplicar el internet industrial de las cosas al proceso elegido, que se incorpore hardware adecuado al IIoT, no porque el actual no sea compatible, pero la evolución de la tecnología permite obtener los datos e información de manera más rápida, segura y confiable.

Así por ejemplo, se pueden utilizar sensores wireless que permiten enviar datos e información de manera más rápida, directa y con menos implementación necesaria. Un ejemplo de estos sensores es el Flujómetro 3051SF de Rosemount que se muestra en la figura 5-1. Estos sensores se comunican mediante una conexión WirelessHART™, el cual es un protocolo estándar que permite una conexión *wireless* (inalámbrica), de forma segura, simple y de confianza.



Figura 5-1: Flujómetro 3051 SF de Rosemount con conexión WirelessHART. (Fuente: Rosemount)

Además de tener sensores alámbricos e inalámbricos es necesario contar con dispositivos inalámbricos que permitan la visualización de datos y parámetros del sistema o un proceso, directamente en terreno, estos dispositivos así como lo son las Tablet y Notebook industriales, tales como el notebook Getac X500 y la tablet Getac T800, que permiten obtener una robustez de

datos, protección contra caídas, carcasa endurecida y probadas para trabajar en ambientes con polvos, lluvia, interiores y exteriores.

Finalmente se debe contar con uno o un sistema de servidores redundantes (conectados en paralelo, por si alguno falla), que permita almacenar la gran cantidad de datos e información obtenida del proceso-sistema. Cabe destacar que cada una de estas instrumentaciones deben estar conectadas entre sí, ya sea mediante wifi o conexión por cable (utp, fibra óptica, usb, etc.) y conectadas con el entorno, es decir, la información no debe limitarse sólo a la ubicación física del proceso, puede ser requerida y obtenida por gerentes o personal en distintas locaciones a través de internet.

Es necesario para la aplicación del internet industrial de las cosas la incorporación de personal especializado en el análisis e interpretación de la gran cantidad de datos que se obtendrán del proceso, profesionales como Analistas de Datos e Ingenieros de Sistemas son imprescindibles en este nuevo desafío.

La figura 5-2 muestra cómo se aplica el Internet Industrial de las Cosas en el proceso de flotación escogido, cabe señalar que la propuesta es utilizar instrumentación existente y/o renovada, en conjunto con capacitación del personal más contrataciones de personal especialista, como, analistas de sistemas.

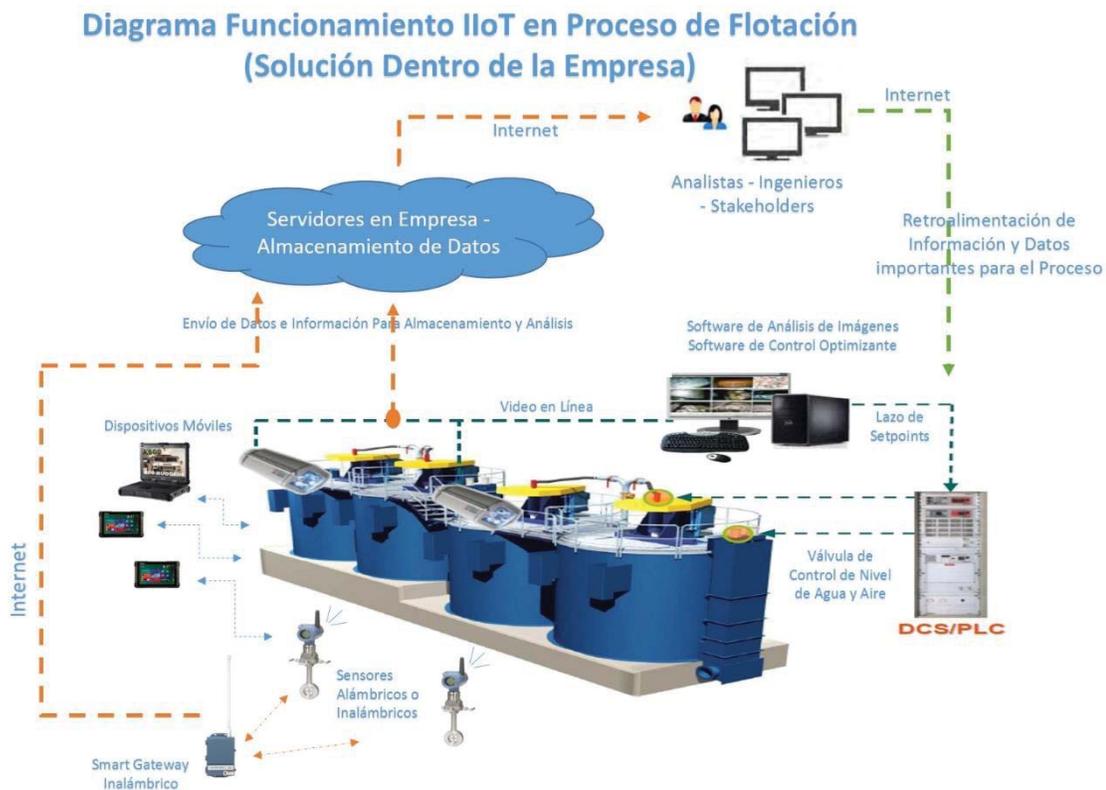


Figura 5-2: Aplicación Internet Industrial de las Cosas en Proceso Flotación. Solución propuesta dentro de la empresa. (Fuente: elaboración propia)

5.4.2 Solución Fuera de la Empresa

Otro punto a considerar es la utilización de empresas externas que puedan aportar con la experiencia de análisis de datos y almacenamiento en la nube, algunas empresas como Cisco Honeywell y Emerson, proporcionan soluciones al análisis de datos mediante hardware y software especializados en el internet de las cosas, por ejemplo Honeywell IIoT Ready y Cisco Internet of Everything.

Esta alternativa contempla, al contrario de la solución antes vista, contratos y acuerdos con empresas externas que implementan el IIoT al proceso. Toda la analítica de datos, lo puede hacer esta empresa externa especializada, que entregará los datos en forma de decisiones a medida que el personal del proceso lo requiera.

La figura 5-3 muestra cómo se aplica el Internet Industrial de las Cosas, en el proceso de flotación, si se considera la incorporación de empresas externas especializadas en análisis de datos e implementación del IIoT.

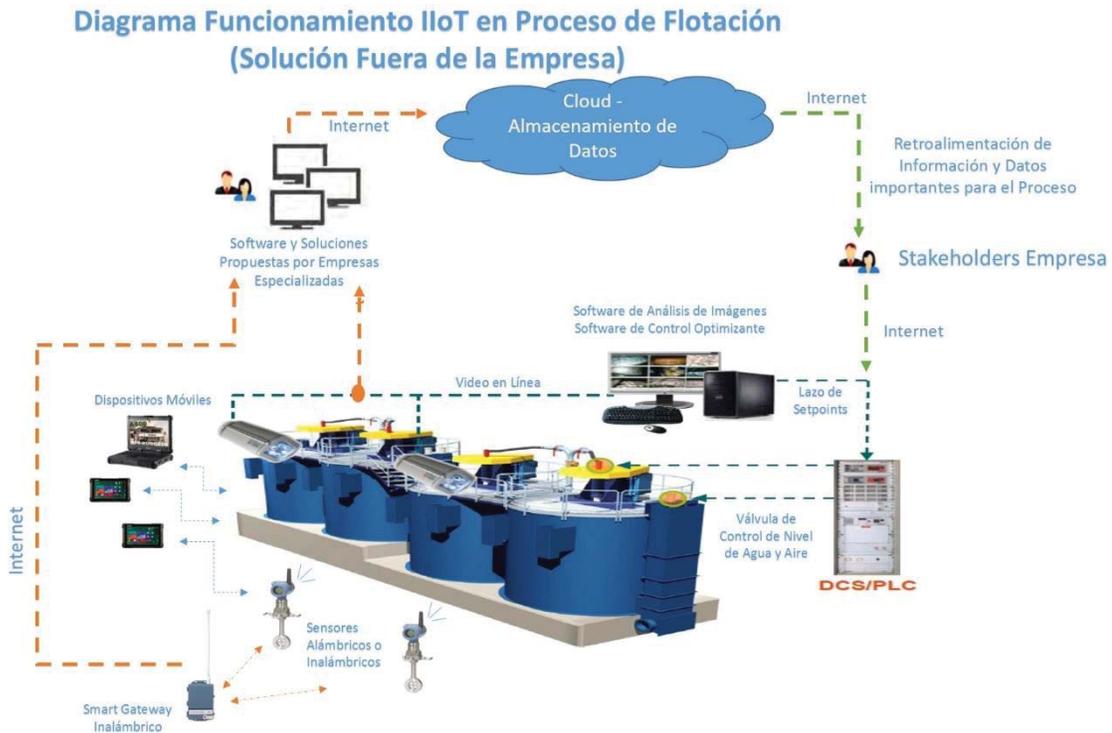


Figura 5-3: Aplicación Internet Industrial de las Cosas en Proceso Flotación. Solución propuesta fuera de la empresa. (Fuente: elaboración propia)

5.5 Conclusiones del Capítulo

Se proponen dos formas de implementar el Internet Industrial de las Cosas al proceso de flotación Rougher, uno hace relación con la instrumentación que se utiliza actualmente, y el otro con la adquisición de nuevos instrumentos de medida y de envío de datos, sumado a esto la

5 Instrumentación Aplicada al IIoT & Solución Propuesta

capacitación del personal que tiene incidencia en el proceso y otra opción es contratar a empresa especializadas en el análisis de datos. Cualquiera de las dos opciones tiene ventajas y desventajas tanto en lo técnico, como en lo económico.

6 Análisis Técnico Económico

A continuación se realiza en detalle el análisis técnico – económico de las soluciones propuestas, calculando un valor aproximado de los costos iniciales de inversión y el tiempo en que la empresa demoraría en recuperarlo.

6.1 Análisis Económico Solución Propuesta Dentro de la Empresa, Proceso Flotación, Codelco División Andina

Para el análisis económico de este proyecto, primero se toma como decisión que la implementación del Internet Industrial de las Cosas, se realizará en parte con instrumentación existente y además se incorporará tecnología más avanzada y la contratación y/o capacitación de personal especializado en análisis de datos.

Parte de la instrumentación utilizada en el proceso como los sensores, se encuentra actualmente descontinuada, es por eso que se propone la adquisición de instrumentos de similares características, pero con tecnología que permiten menos costos por instalación y mantenimiento, como es la tecnología *wireless*. Estos sensores utilizan la tecnología WirelessHART™ para enviar datos en forma segura, rápida y confiable hacia Smart Wireless Gateway o también a cualquier otro dispositivo que incluya un receptor de WirelessHART™. Estos Gateway recopilan los datos y toda la información y las envían a través de red Ethernet, LAN, TCP/IP, entre otras, para que sea analizada y procesada en los software adecuados. Se opta por utilizar una red de comunicación inalámbrica debido a que ésta permite un ahorro de costos significativo con respecto a las redes cableadas [10], entre estos costos se encuentran los de instalación y mantenimiento. Además se requiere dispositivos móviles robustos que permitan el monitoreo y control de las variables claves del sistema que los sensores y cámaras envían a cada momento, algunos de estos dispositivos son tablets y notebook que cumplen ciertos requisitos que permiten su funcionamiento a nivel industrial y minero, algunas propiedades corresponden a protección contra polvo y vapor, carcasa endurecida para resistir caídas, pantalla LED retro iluminada, para visión expuesto al sol, entre otras.

La tabla 6-1 muestra el valor de los instrumentos que permiten tener un mejor control y alcance de los datos obtenidos en terreno, estos instrumentos son: flujómetros, puertas de enlace, notebook y tablets robustas, que cumplen con índices de protección IP65 más un valor aproximado por instalación y capacitación al personal que interactuará con estos.

Tabla 6-1: Valor Instrumentación y Capacitación Personal Empresa. (Fuente: elaboración propia)

Nombre	Proveedor	Cantidad	Valor (Pesos \$)	Valor Instalación y Puesta en Servicio (40% Estimado)
Flujómetro 3051 SF	Rosemount/ Emerson	32	275.744.000	100.000.000
Gateway 1420 Rosemount	Emerson	8	31.147.200	12.000.000
Laptop Getac x500	Getac	2	17.956.400	6.400.000
Tablet Getac T800	Getac	2	5.127.200	2.000.000
Capacitación Ingenieros Empresa	Cisco	2	5.000.000	0
	Total		334.974.800	120.400.000
	Total Instrumentación y Capacitación			455.374.800 (693.730 US\$)

Los valores incluidos en la tabla fueron obtenidos en las páginas web de distribuidores autorizados de cada fabricante y a esto se le suma el 40% de costo estimado de instalación y puesta en marcha.

6.2 Analisis Económico Solución Propuesta Fuera de la Empresa Proceso Flotación, Codelco División Andina

Para el análisis económico de este proyecto, se considera como decisión que la implementación del Internet Industrial de las Cosas, se realizará con la instrumentación existente, también se incorporará tecnología más avanzada y la contratación de empresas especializadas en el Internet Industrial de las Cosas y Análisis de Datos.

En la tabla 6-2 se muestran los valores de la instrumentación requerida más los costos por la implementación de software y asesoría de la empresa, como es Cisco.

Tabla 6-2: Valor Instrumentación e Implementación Cisco IoE (Internet of Everything). (Fuente: Elaboración Propia)

Nombre	Proveedor	Cantidad	Valor (Pesos \$)	Valor Instalación (40% Estimado)
Flujómetro 3051 SF	Rosemount/Emerson	32	275.744.000	100.000.000
Gateway 1420 Rosemount	Emerson	8	31.147.200	12.000.000
Laptop Getac x500	Getac	2	17.956.400	6.400.000
Tablet Getac T800	Getac	2	5.127.200	2.000.000
Implementación Cisco Internet of Everything 100 Dispositivos + 3 años de Mantenimiento + Plataforma de Aplicación	Cisco	1	109.017.300	0
	Total		438.992.100	120.400.000
	Total Instrumentación e Implementación		559.392.100 (852.193 US\$)	

El valor total del proyecto se ve aumentado en consideración a la propuesta solución dentro de la empresa, pero también aumenta la calidad de la solución, al incorporar como *partner* a una empresa dedicada al análisis de datos como es Cisco.

Los valores incluidos en la tabla fueron obtenidos en las páginas web de distribuidores autorizados de cada fabricante y a esto se le suma el 40% de costo estimado de instalación y puesta en marcha.

6.3 Situación Económica Actual de Codelco

La producción de Codelco División Andina produce alrededor de 220 mil toneladas de concentrado de cobre fino anuales obteniendo unos 955.648 MUS\$, por ventas de cobre fino, los costos de ventas de cobre fino ascienden a 921.119 MUS\$ [11].

Se estima el costo de la producción del cobre en División Andina sería de 1.97 US\$/lb, mientras que el precio del cobre cotizado en la bolsa de valores de Londres se estima en 2.11 US\$/lb.

También es necesario conocer el precio del cobre que actualmente va a la baja como se muestra en la figura 6-1. A pesar de la caída del precio del cobre y la baja ley del mineral la Corporación Nacional del Cobre mantiene la política de invertir el 0,5% aproximado de los ingresos. [12]

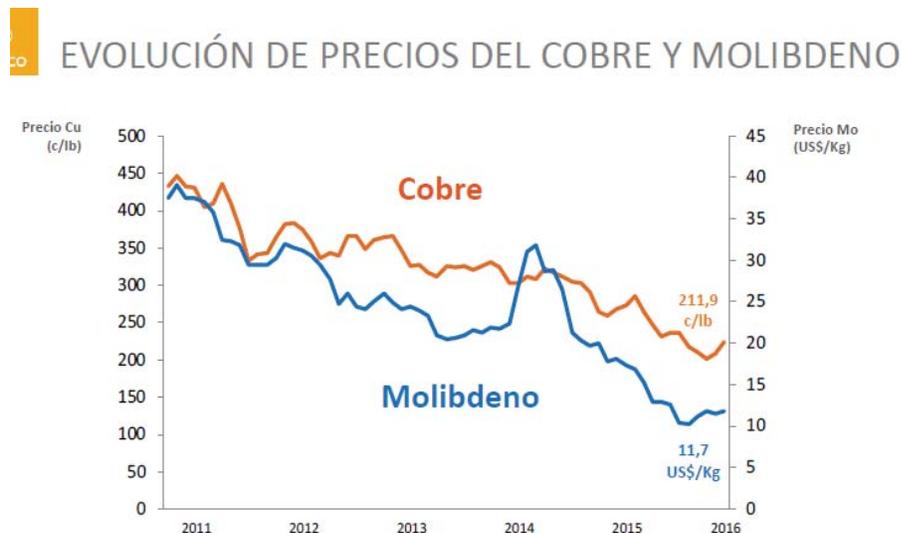


Figura 6-1: Evolución precios del Cobre. (Fuente: Resultados Codelco 1t2016)

Por otra parte la aplicación del Internet Industrial de las Cosas logrará reducir los tiempos de no producción, al evitar las detenciones y fallas del proceso, es decir, disminuir el tiempo de no funcionamiento y mantención de los equipos, podría disminuir los costos totales de la producción del cobre y a su vez aumentar la producción de concentrado de cobre en el proceso de flotación. Se estima que la implementación del Internet Industrial logre disminuir el índice de fallas en un 70%, producir un ahorro de hasta un 12% en reparaciones programadas gracias a su mantenimiento predictivo, a su vez reducir los costos generales de mantenimiento hasta en un 30% y también aumentar la productividad en casi un 30% [13].

6.4 Análisis Económico Comparación Inversión Inicial vs Disminución Costos de Mantenimiento

A continuación se hace un estudio relacionado a los costos de producción y de

mantención de concentrado fino de cobre, se estima que la implementación del Internet Industrial de las Cosas, logre disminuir un 30% de los costos de mantención, los que pueden llegar a representar el 30% de los costos totales asociados a la producción [11]. Se calcula el valor aproximado que la utilización del Internet Industrial de las Cosas permitirá ahorrar a la empresa y determinará el tiempo que se requiere para recuperar la inversión.

Para la realización de los cálculos futuros se deben asumir que los datos se consiguen de forma directa con la empresa CODELCO, división Andina, a través de información interna que no pudo ser sometida a análisis. Esta información que se muestra en la tabla 6-3, se considera como cierta para todos los usos posteriores.

Tabla 6-3 Horas de Detención Proceso de Flotación Rougher Codelco Andina. (Fuente: Codelco Andina)

Datos	Flotación Rougher
Horas de detención por fallas al mes	12
Horas de mantención mecánica preventiva al mes	44
Horas de mantención eléctrica preventiva al mes	26

En la Tabla 6-4 se muestran los datos económicos de costos relevantes de las acciones que se realizan en las líneas, sin separación entre las líneas que pueden incluir en estos gastos.

Tabla 6-4 Valores y Costos por Mantenimiento y Fallas Proceso Flotación Rougher Codelco Andina. (Fuente: Codelco Andina)

Descripción	Costos
Costos de hora/hombre por mantenimiento mecánica	\$USD 81,56
Costos de hora/hombre por mantenimiento eléctrica	\$USD 45,59
Producción de material fino de cobre por línea de flotación	22,07 toneladas métricas por hora
Valor de la libra de cobre @ 12/09/2016	\$USD 2,92 la libra
Relación entre 1 tonelada y 1 libra	1 tonelada métrica es 2204,62 libras
Ganancia de producción por hora	\$USD 142.075,41 por hora

De las tablas anteriores se puede obtener las siguientes conclusiones:

$$\begin{aligned}
 \text{Monto Estimado de Mant.} \times \frac{H}{H} &= \text{Mant. Mecánica} * \frac{H}{H} + \text{Mant. Eléctrica} * \frac{H}{H} \\
 &= 81,56 * 44 + 45,49 * 26 \\
 &= \$ 3.588,64 + 1.182,74 \\
 &= \$ 4.771,38
 \end{aligned}$$

Este valor representa la cantidad de dinero que la empresa gasta en mantenimiento del proceso y/o maquinarias mensualmente, sólo considerando las horas hombre.

Otro cálculo a considerar son los tiempos en que el proceso se encuentra detenido, por lo cual se producen pérdidas por fallas, el cual se realiza a continuación:

$$\begin{aligned}
 \text{Monto Estimado de Detenciones por Falla} &= \text{Hrs detención} * \text{Ganancia de Producción por Hora} \\
 &= 12 * 142.075,41 \\
 &= \$ 1.704.904,92
 \end{aligned}$$

Sumando los montos estimados que se calcularon anteriormente, se puede obtener el valor que la empresa deja de percibir o gasta, por motivos de detenciones y mantenimientos del proceso durante el periodo de un mes.

$$\text{Monto Estimado Mantenimiento Mensual} = \$ 1.704.904,92 + \$ 4.771,38$$

$$= \$ 1.709.676,3$$

Ahora, sobre ese monto se calcula el estimado que se ahorrará la empresa al utilizar el Internet Industrial de las Cosas.

$$\begin{aligned} \text{Monto Estimado Aplicado IIoT} &= \text{Costo Mantenimiento Mensual} * 20\% \text{ Ahorro (Estimado)} \\ &= \$ 1.709.676,3 * 0.2 \\ &= \$ 341.935,26 \end{aligned}$$

El valor obtenido representa la cantidad que la empresa podría ahorrarse en la mantención correctiva de las fallas del proceso, si se implementa el Internet Industrial de las Cosas.

6.5 Análisis VAN, TIR y PRI

El análisis económico reúne a los datos obtenidos en las secciones 6.4, 6.2 y 6.1 y los procesa siguiendo el diagrama de flujo presente en la Tabla 6-5.

Todos los análisis económicos que se realizarán se basarán en la tabla de ingresos/egresos de los periodos considerados para el desarrollo de este proyecto, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6-5 Tabla de Ingresos y Egresos Mensuales por Mantención. (Fuente: Elaboración Propia)

Periodo Inicial	Periodo 1	Periodo 2	...	Periodo n
	+ Ganancias	+ Ganancias	...	+ Ganancias
	- Perdidas	- Perdidas	...	- Perdidas
- Inversión Inicial	Resultado Periodo 1	Resultado Periodo 1	...	Resultado Periodo 1

Como se puede observar en la 6-5, la tabla agrupa todos los ingresos y egresos, además de los resultados para todo el periodo de vida del proyecto. La tabla comienza con la inversión inicial, y como es un egreso, su resultado es negativo o una pérdida para el periodo 0. Luego, para todos los periodos de duración del proyecto, se realizará la suma de los ingresos o ganancias de dinero, y se le restan los egresos o pérdidas de ese periodo particular, obteniéndose el resultado del mismo como la suma de los anteriores. En este caso se comparan costos de mantención mensuales del proceso y ahorro mensual en el costo de mantención una vez implementado el IIoT.

Los análisis económicos que se realizan en esta sección, dependerán de una serie de parámetros iniciales, particulares para el proyecto. Los parámetros se definen a continuación:

- **Periodo:** El periodo es el tiempo de duración esperado del proyecto. Para el caso particular de este proyecto; el periodo es de 3 años debido a que al tratarse de una tecnología relativamente nueva y en evolución, cambiará y avanzará en el corto plazo. Además son 3 años los que ofrece el servicio de mantenimiento al software de Cisco Internet of Everything. También se puede interpretar al periodo como la separación de todos los momentos o estados de tiempo de interés del proyecto. En este caso especial, el periodo de interés es de un mes, por lo tanto, el proyecto total tiene una duración de 3 años o 36 periodos o meses, contando desde su mes de funcionamiento como periodo 1. El periodo 0 corresponde al tiempo en el cual se ingresaron las inversiones iniciales. El periodo 0 es el único que puede durar un valor diferente del mes debido a que la inversión inicial puede no ser hecha en un único periodo simétrico de tiempo.
- **Tasa de retorno esperada del proyecto:** Es el porcentaje de retorno de dinero, con respecto a la inversión inicial, que se espera recibir del proyecto al final del periodo de duración del mismo. Por ejemplo; si un proyecto dura 1 año, y se invirtió en el \$USD 1.000 y el proyecto tiene una tasa de retorno de 20%, se espera entonces, tener un monto de \$USD 1.200 al finalizar el año. Para este proyecto en particular se decidió una tasa de retorno del 30 % como mínimo.

Una vez definidos estos parámetros se pueden realizar los análisis económicos, pero antes se debe definir los egresos/ingresos de todos los periodos.

6.5.1 Flujo de Caja Esperado del Proyecto

Los ingresos o egresos de todos los periodos del proyecto se muestran en la Tabla 6-6.

Tabla 6-6 Flujo de Caja Esperado del Proyecto. (Fuente: Elaboración Propia)

	Mes 0	Mes 1	Mes 2	...	Mes 36
Propuesta		+ 1.709.676,3	+ 1.709.676,3		+ 1.709.676,3
Dentro de la Empresa	- \$ 693.730	- 1.367.741,04	- 1.367.741,04	...	- 1.367.741,04
		\$ 341.935,26	\$ 341.935,26	...	\$ 341.935,26
Propuesta Fuera de la Empresa	- \$ 852.193	+ 1.709.676,3	+ 1.709.676,3	...	+ 1.709.676,3
		- 1.367.741,04	- 1.367.741,04	...	- 1.367.741,04
		\$ 341.935,26	\$ 341.935,26	...	\$ 341.935,26

Los valores de la Tabla 6-6 se obtuvieron mediante el uso de los datos presentados en las secciones de este capítulo. Nótese de esta figura, que se tiene un valor de inversión inicial negativo (como corresponde) y un valor positivo para todos los periodos, que son iguales a un mes, hasta alcanzar el mes 36 o los 3 años presupuestados del proyecto.

Para desarrollar los datos de la Tabla 6-6 se simplificaron los ingresos y egresos de cada mes como si fueran iguales. Esta apreciación es razonable debido a que, si el valor de cobre es constante, los resultados de los periodos solo dependen de los costos de mantenimiento, que son prácticamente constante.

6.5.2 Análisis VAN

Es el método más conocido, mejor y generalmente más aceptado por los evaluadores de proyectos. Mide la rentabilidad deseada después de recuperar toda la inversión. Para ello, calcula el valor actual de todos los flujos futuros de caja, proyectados a partir del primer período de operación, y le resta la inversión total expresada en el momento cero.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Si el resultado es mayor que cero, mostrará cuánto se gana con el proyecto, después de recuperar la inversión, por sobre la tasa i que se exigía de retorno al proyecto; si el resultado es igual a cero, indica que el proyecto reporta exactamente la tasa i que se quería obtener después de recuperar el capital invertido; y si el resultado es negativo, muestra el monto que falta para ganar la tasa que se deseaba obtener después de recuperada la inversión.

Para el 1er caso de este proyecto, en donde se invertirá para realizar la implementación dentro de la empresa, se realizará el análisis VAN con los siguientes datos:

- I_0 =inversión inicial es de \$USD 693.730
- V_t = Es el resultado del periodo t, que es igual al ahorro mensual que la empresa obtiene de la mantención del proceso \$USD \$ 341.935,26
- K = Es la tasa o porcentaje de retorno esperado, la cual es 14% según promedio de proyectos en División Andina. [14]
- n = Es el número de periodos o meses a considerar, el cual es de 36.

El cálculo del VAN se hizo mediante la herramienta Excel, y el resultado con los datos anteriores dio un valor de VAN = \$1.726.825. El VAN positivo indica que el proyecto producirá ganancias sobre la tasa exigida en el periodo a considerar. La tasa de rentabilidad se obtendrá mediante el análisis TIR.

Para el 2do caso de este proyecto, el cual se invertirá para realizar la implementación fuera de la empresa, se realizará el análisis VAN con los siguientes datos:

- I_0 =inversión inicial es de \$USD 852.193
- V_t = Es el resultado del periodo t, que es igual al ahorro mensual que la empresa obtiene de la mantención del proceso \$USD \$ 341.935,26
- K = Es la tasa o porcentaje de retorno esperado, la cual es 14% según promedio de proyectos en División Andina. [14]
- n = Es el número de periodos o meses a considerar, el cual es de 36.

El cálculo del VAN se hizo mediante la herramienta Excel, y el resultado con los datos anteriores dio un valor de VAN = \$1.568.362. Nuevamente el VAN positivo indica que el proyecto producirá ganancias sobre la tasa exigida en el periodo a considerar. La tasa de rentabilidad se obtendrá mediante el análisis TIR.

2.3.2 Análisis TIR

Un segundo criterio de evaluación lo constituye la tasa interna de retorno, TIR, que mide la rentabilidad como porcentaje.

$$TIR = \frac{-I + \sum_{i=1}^n F_i}{\sum_{i=1}^n i * F_i}$$

La ecuación anterior entrega el valor máximo de rentabilidad del proyecto, para lo cual se ingresan los mismos datos que para en análisis VAN.

Para el 1er caso de evaluación de este proyecto, los resultados fueron de una tasa interna de retorno igual a TIR= 49,29%, la cual es superior a la esperada. Este valor indica que el proyecto en sí mismo es más rentable de lo que se le exige.

Para el 2do caso en evaluación, se obtiene un análisis TIR = 40,12%, esto quiere decir que el proyecto evaluado obtendrá un mayor porcentaje de retorno en el periodo de duración del proyecto.

6.5.3 Período de Recuperación de la Inversión (PRI)

El período de recuperación de la inversión, PRI, es el tercer criterio más usado para evaluar un proyecto y tiene por objeto medir en cuánto tiempo se recupera la inversión, incluyendo el costo de capital involucrado.

Para el 1er y 2do caso en evaluación, al tratarse de flujos de caja constantes, la obtención del PRI será descrita a continuación:

$$PRI_1 = n_1 * 341.935,26 - 693.730 \text{ para despejar } n \text{ se iguala a cero}$$

$$n_1 * 341.935,26 - 693.730 = 0$$

$$n_1 * 341.935,26 = 693.730$$

$$n_1 = \frac{693.730}{341.935,26}$$

$$n_1 = 2,02$$

$$PRI_2 = n_2 * 341.935,26 - 852.193 \text{ para despejar } n \text{ se iguala a cero}$$

$$n_2 * 341.935,26 - 852.193 = 0$$

$$n_2 * 341.935,26 = 852.193$$

$$n_2 = \frac{852.193}{341.935,26}$$

$$n_2 = 2,49$$

Según el cálculo anterior se puede inferir que, en el primer caso en poco más de 2 meses se logra recuperar la inversión inicial y para el segundo caso en casi 2 meses y medio se logra recuperar la inversión inicial. Para este caso en particular, se considera como mes de recuperación de la inversión inicial el tercer mes para ambos casos.

6.6 Conclusiones del Capítulo

Los datos de la Tabla 6-5 son simplistas debido a que dependen del valor del cobre, y se esperan variaciones importantes en los próximos años, tanto al alza como a la baja.

Todos los análisis económicos hechos dan resultados muy favorables para el proyecto, y a pesar que la consecución del mismo está asegurada de antemano, se recomienda de todas formas la implementación de este proyecto.

Cabe destacar que los flujos generados por los ingresos y egresos, resultado de los costos de mantención del proceso de flotación y el ahorro producido por la implementación del IIoT son mayores al costo de implementación del proyecto o inversión inicial.

El ahorro estimado por disminución de costos de mantenimiento, bordea los \$341.935 dólares mensuales, una cifra no menor en comparación a la inversión inicial de los \$ 693.730 de la primera solución propuesta dentro de la empresa y los \$ 852.193 de la segunda solución propuesta fuera de la empresa. Según los análisis de VAN, TIR y PRI ambas soluciones propuestas son rentables en el proceso estudiado, pero se recomienda optar por la segunda solución, ya que, permite la utilización de un análisis más experto de los datos gracias a la utilización de software especializado como el Internet of Everything de Cisco.

De lo anterior se puede concluir que la empresa puede invertir en la aplicación del Internet Industrial de las Cosas los 852.193 US\$, propuestas como solución fuera de la empresa, ya que esto conlleva más experiencia en el análisis y almacenamiento de los datos. Se propone la aplicación del Internet Industrial de las Cosas en dos etapas, una correspondiente a la instalación y puesta en marcha de flujómetros y puertas de enlace y la segunda etapa con la instalación y puesta en marcha de los correspondientes software y analítica que permita mejorar la toma de decisiones.

La instalación de este sistema puede tomar un tiempo, pensando en la cantidad de instrumentación utilizada, además de capacitación al personal correspondiente. Cabe destacar que el proceso de flotación sigue funcionando y detener cada línea de flotación para realizar el recambio de los instrumentos puede costar millones en paradas no programadas.

La inversión inicial se recuperará en un tiempo relativamente menor considerando que esta implementación tendrá una reducción aproximada de un 20% del costo total del mantenimiento del proceso, según el análisis PRI, la inversión será recuperada en un periodo menor a los tres meses desde que se implementa el IIoT.

La implementación o no, del internet industrial de las cosas en el proceso productivo seleccionado, depende del monto inicial que la empresa desembolsa, y los ahorros y utilidades que se obtendrán con este nuevo sistema, ya que la buena utilización del Internet Industrial de las Cosas ayudará a reducir los costos de mantención y de paradas involuntarias de las máquinas que participan del proceso, así como también la instrumentación utilizada. Además permitirá el aumento de la producción, debido a la optimización del proceso.

Discusión y Conclusiones

¿Es el internet industrial de las cosas una nueva revolución industrial? Actualmente, las industrias están invirtiendo cada vez más en el Internet Industrial de las Cosas, ya que permite obtener mejores tomas de decisiones en base al análisis de datos, que se recopilan en tiempo real del proceso. Entonces, por qué aún no se escucha más del Internet Industrial de las Cosas. La respuesta está en el tiempo, las empresas mueven poco a poco esta revolución global, cada vez se obtienen mejoras en los resultados y en los procesos, por lo que lleva a seguir aumentando la inversión, tanto en hardware compatible con el internet industrial, cómo en software y programas que permiten el correcto análisis de los datos.

El Consorcio del Internet Industrial cumple un rol fundamental en la promoción del Internet Industrial de las Cosas, gracias a sus casos de estudio, distintas empresas ven como se realizan pruebas en procesos y sistemas similares a las suyas, esto permite que las empresas aprendan y motiven con la inclusión del internet industrial.

El Consorcio del Internet Industrial entrega definiciones específicas en el vocabulario utilizado, éstas permiten obtener un consenso en la semántica del internet industrial, junto con esto, el Consorcio entrega las bases del Marco de Arquitectura de Referencia, que permite entender y aterrizar el internet industrial a cualquier proceso productivo. Esta base establece los requerimientos que son necesarios para poder implementar el internet industrial de las cosas. Entre algunos de estos requerimientos se encuentran los *stakeholders*, que son los usuarios o empresas que participan del proceso, los *concerns*, que son los intereses o datos que interesan a uno o un grupo de *stakeholders*, y los *viewpoint*, que son los puntos de vista en donde se agrupan los *stakeholders* con uno o más *concerns* en común.

Cuando se obtiene el proceso se realiza una correlación o identificación de los distintos concerns, stakeholders y viewpoint del mismo, para poder obtener los datos que requieren una mayor atención o pueden mejorar dentro del proceso o sistema. Es así como la empresa define si quiere o no implementar el internet industrial de las cosas, ya que la mejora de estos datos, que se transforman en información, producirá una mayor producción o disminución de costos por producción.

Una vez obtenido el proceso, se debe realizar un estudio técnico económico de si la implementación del internet industrial de las cosas será o no beneficiosa para la empresa. Cabe destacar que dentro de las dos propuestas que se realizan en este proyecto la primera incluye

utilizar parte de la misma instrumentación actual del proceso, sumada a software de análisis de datos, más la capacitación de personal necesario, mientras que la segunda propuesta requiere la incorporación de otra empresa especialista en análisis de datos de la nube.

La implementación o no del Internet Industrial de las Cosas en un proceso productivo dependerá de lo que la empresa esté dispuesta a invertir y sobre todo a que proceso de todos los que existen en la empresa, se quiere implementar, ya que hay procesos más críticos que otros y por lo que, su mejora aunque mínima que sea, producirá grandes ganancias para la empresa, ya sea en mejora de la producción o disminución de costos, por ejemplo de mantención.

Gracias al análisis de VAN, TIR y según los costos de implementación, mantención y ganancias del proceso, se puede inferir que, la implementación del Internet Industrial de las Cosas, producirá un ahorro en los costos de mantención mayor a lo esperado en un plazo estudiado de 3 años. Se realiza el análisis de dos casos, el primero que incluye la implementación con tecnología y personal de la empresa y el segundo análisis que corresponde a la solución con asesoría de empresas externas y especialistas en el IIoT. Ambas soluciones demuestran ser rentables según lo esperado, con períodos de recuperación de la inversión inicial que no superan los 3 meses.

Finalmente la implementación del Internet Industrial de las Cosas en el proceso escogido, será determinada por la decisión de la empresa de implementar mejoras en el proceso tanto a nivel de hardware, software cómo a nivel de personal involucrado en el mismo. A modo de hardware, se debe implementar nuevos sensores y tecnología que permita obtener datos de manera más rápida y segura para su análisis en tiempo real, a modo de software es necesario implementar análisis de datos, cómo la solución Cisco Internet of Everything, que permite transformar la gran cantidad de datos en información valiosa para el sistema, a nivel de personal, se debe capacitar a los ingenieros de sistema, operadores y a todos los que participen del proceso, para que tomen los datos e información del sistema y establezcan nuevas bases y fundamentos que permitan disminuir tiempos muertos y a su vez aumentar los tiempos de producción, que permitirán obtener mayor rentabilidad para la empresa.

Bibliografía

- [1] Electroindustria, «Electroindustria,» [En línea]. Available: www.electroindustria.com.
- [2] Fundación Telefónica, «Internet Industrial, Máquinas inteligentes en un mundo de sensores,» 2016. [En línea]. Available: www.fundaciontelefonica.com/publicaciones. [Último acceso: 2016].
- [3] Internet of Things Consortium, «Internet of Things Consortium,» [En línea]. Available: www.iofthings.org.
- [4] Industrial Internet Consortium, «Industrial Internet Architecture Reference,» 04 Julio 2015. [En línea]. Available: <http://www.iiconsortium.org/>. [Último acceso: 07 Junio 2016].
- [5] S. MacDonald y W. Rockley, «McRock Capital,» 2014. [En línea]. Available: http://www.mcrockcapital.com/uploads/1/0/9/6/10961847/mcrock_industrial_internet_of_things_report_2014.pdf.
- [6] «Elecsys Connecting Industry,» Elecsys Corporation, 2016. [En línea]. Available: <http://www.elecsyscorp.com/products/industrial-data-gateways/>.
- [7] C. A. Otarola Canales, «Implementación Sistema de Control Planta Flotación Primaria División Andina, Codelco Chile,» Valparaíso, Escuela de Ingeniería Electrica, PUCV, 2006, pp. 10-14.
- [8] C. A. Otarola Canales, «Implementación Sistema de Control Planta Flotación Primaria División Andina, Codelco Chile,» Valparaíso, Escuela Ingeniería Electrica, PUCV, 2006, pp. 43-56.
- [9] Codelco, «Codelco,» [En línea]. Available: https://www.codelco.com/minera-gaby-consolida-la-operacion-de-la-mayor-flota-de-camiones/prontus_codelco/2012-04-18/192119.html.

- [10] Rossemount Emersonn, «Reduces Cost With Wireless Instrumentation».
- [11] Codelco, «Memoria Anual Codelco 2015,» diciembre 2015. [En línea].
- [12] Revista Técnicos Mineros, «Revista Técnicos Mineros,» [En línea]. Available: www.revistatecnicosmineros.com.
- [13] Accenture, «Industrial Internet Insigth Report,» 2015.
- [14] Codelco, «Reporte de Sustentabilidad, Los Proyectos de Inversión y el Futuro de Codelco,» Codelco-Chile, 2015.
- [15] A. Sanchez, «Programación y Control Automático S.L.,» 11 Mayo 2015. [En línea]. Available: <http://proconingenieros.com/>. [Último acceso: 01 Junio 2016].
- [16] Gerencia, «Gerencia,» 2014. [En línea]. Available: www.emb.cl.