



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE  
ESCUELA DE INGENIERIA

**CAPTURA DE CAMBIOS DE DISEÑO Y  
CONSTRUCCIÓN A NIVEL DE TERRENO  
A TRAVES DE INSTRUCCIONES  
BIDIRECCIONALES DE TRABAJO**

**SIMÓN PEDRO TORREALBA JAQUE**

Tesis para optar al grado de  
Magister en Ciencias de la Ingeniería

Profesor Supervisor:  
**SR. CLAUDIO MOURGUES ÁLVAREZ**

Santiago de Chile, Septiembre, 2012

© MMXII, Simón Pedro Torrealba Jaque



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE  
ESCUELA DE INGENIERIA

# **CAPTURA DE CAMBIOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A NIVEL DE TERRENO A TRAVES DE INSTRUCCIONES BIDIRECCIONALES DE TRABAJO**

**SIMÓN PEDRO TORREALBA JAQUE**

Tesis presentada a la Comisión integrada por los profesores:

**SR. CLAUDIO MOURGUES ÁLVAREZ**

**SR. LUIS FERNANDO ALARCÓN CARDENAS**

**SR. MAURICIO TOLEDO VILLEGAS**

**SR. CARLOS BONILLA MELÉNDEZ**

Para completar las exigencias del grado de  
Magister en Ciencias de la Ingeniería

Santiago de Chile, Septiembre, 2012

*A mi familia y  
especialmente a Javiera.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Los frutos de esta investigación son resultado de la confianza, apoyo y trabajo de muchos que colaboraron y quiero darles mi sincero agradecimiento.

En primer lugar agradecer a Dios por darme la oportunidad de investigar, trabajar y conocer a grandes y valiosas personas durante esta etapa de formación.

Quiero agradecer de manera especial a mi profesor guía, Claudio Mourgues, quién jugó un rol fundamental, tanto como amigo y académico, sin el cual no hubiera sido posible materializar esta investigación. Agradezco su interés, preocupación, paciencia y compromiso en nuestro trabajo como equipo.

También darles las gracias a mis tíos Alfredo y Claudia, quienes me recibieron en su hogar y me brindaron apoyo en lo que fuera durante mi estadía en Rancagua. Gracias por el cariño entregado durante 8 meses y hacer esa etapa muy grata para mí.

Agradecer a los trabajadores y supervisores de terreno de las empresas Todoclima y STI, por su ayuda y empatía durante mi observación en terreno. También agradezco a Paulo, a Rosita, Hernán y Carolina por su ayuda y amistad.

Gracias al personal del departamento ICC, al equipo Gepuc VDC, a los profesores Rodrigo Astroza, Mauricio López y Juan Enrique Coeymans, por su consejo. También a los académicos de la Comisión evaluadora por su retroalimentación y tiempo brindado.

Quiero agradecer también a Alvaro Gaete y J.P. Blake, de la empresa Hatch quienes impulsan iniciativas como la de esta investigación para su aplicación en la industria

EPCM. También agradezco a algunos compañeros de oficina que colaboraron, Sebastián, Grant, Khomotso, Jaime, Cristián, Carlos y Jorge.

Muchas gracias a mis amigos que más de alguna vez me escucharon y dieron consejos para continuar y ser constante, gracias a Jota, Pablo, José Domingo, Benjamín, Rodrigo, Luís, Fernando y Marianela. Gracias por la amistad, los consejos y acompañamiento espiritual durante esta etapa a los Padres Cristian Roncagliolo y Samuel Arancibia.

Gracias a mis hermanos Eduardo, por su ejemplo en metas académicas, a Diego y Francisco por su ejemplo de entrega y templanza a la distancia, a Benjamín y a Tomás por recordarme la simpleza de las cosas y que querer es poder. Agradezco a mi prima Isidora por aguantarme tanto tiempo en su casa, a Andrés por su tiempo, experiencia y buenos consejos -aunque no seguí el primero-, a Felipe por su apoyo y a la tía Carla, muchas gracias por ayudarme con la traducción del *paper*. Quiero agradecerle a mi Papá por motivarme a seguir estudiando un postgrado, esto se debe en cierto modo a él. A mi Mamá por su preocupación en todo momento, a quién dedico especialmente este trabajo.

Finalmente quiero darle las gracias a la Javi. Ella me acompañó durante todo este largo proceso soportando, confiando, motivando, distrayendo y entregándome todo su amor. Sin ella esta investigación no hubiera dado frutos.

Muchas gracias a todos.

## INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
INDICE DE TABLAS .....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT .....	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos.....	3
1.2. Hipótesis .....	5
1.3. Revisión de literatura y preguntas de investigación .....	6
1.3.1. Instrucciones de trabajo para construcción .....	6
1.3.2. Captura de información desde terreno. ....	8
1.3.3. Preguntas de investigación .....	9
1.4. Metodología.....	10
1.5. Resultados.....	15
1.5.1. Formalización de Retroalimentación .....	15
1.5.2. Instrucciones Bidireccionales de Trabajo.....	17
1.6. Validación de plantilla bidireccional .....	21
1.7. Conclusiones.....	24
1.7.1. Contribución al Conocimiento .....	25

1.7.2. Valor Práctico.....	26
1.7.3. Limitaciones .....	28
1.7.4. Otras consideraciones.....	29
1.7.5. Sugerencias de investigaciones futuras .....	30
<b>2. CAPTURA DE CAMBIOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCION A NIVEL DE TERRENO A TRAVES DE INSTRUCCIONES BIDIRECCIONALES DE TRABAJO .....</b>	<b>32</b>
2.1. Introducción .....	32
2.2. Comunicando y capturando información de diseño y construcción a nivel de terreno.....	34
2.2.1. Instrucciones de trabajo en construcción .....	34
2.2.2. Captura de información desde terreno .....	36
2.3. Metodología .....	38
2.4. Formalización de retroalimentación.....	39
2.4.1. Validación de metodología FIPAPM en la disciplina HVAC.....	39
2.4.2. Formalización de retroalimentación a instrucciones .....	42
2.5. Instrucciones bidireccionales de trabajo .....	43
2.5.1. Cambios en la plantilla de instrucciones. ....	44
2.5.2. Nuevas secciones de la plantilla. ....	48
2.6. Actualización de información de diseño y construcción.....	52
2.6.1. Actualización del modelo de procesos. ....	52
2.6.2. Actualización del modelo de producto. ....	53
2.7. Validación de la plantilla bidireccional y principales resultados.....	58

2.8. Conclusiones .....	60
2.8.1. Contribución al conocimiento. ....	60
2.8.2. Valor práctico. ....	61
2.8.3. Limitaciones. ....	63
2.8.4. Otras consideraciones. ....	63
2.8.5. Investigación propuesta. ....	64
BIBLIOGRAFÍA .....	66
ANEXOS .....	70
Anexo A: Antecedentes adicionales para la validación de FIPAPM .....	71
Anexo B: Antecedentes adicionales para la validación de la plantilla bidireccional .....	72
Anexo C: Evaluación estadística para test de Charrette .....	73
Anexo D: Ejemplo de instrucción bidireccional .....	78

## INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-1: Formalización de Información de retroalimentación.....	16
Tabla 2-1: Criterios para evaluar la calidad de las actualizaciones de modelo.....	55
Tabla A-1: Muestra de encuestados para validación de FIPAPM (HVAC) .....	71
Tabla A-2: Categorías de impacto para validación cualitativa (Mourgues, 2008). ...	71
Tabla B-1: Muestra de encuestados para validación de plantilla bidireccional. ....	72
Tabla B-2: Categorías de validación cualitativa para plantilla bidireccional .....	72
Tabla C-1: Datos y resultados parciales de la muestra. ....	74
Tabla C-2: Análisis Estadístico de resultados.....	76
Tabla C-3: Resultados de análisis Estadístico t de Student. ....	77

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-1: Resumen de la investigación .....	4
Figura 1-2: Metodología y tareas de investigación.....	11
Figura 1-3: Plantilla de instrucciones desarrolladas para la metodología FIPAPM ..	18
Figura 1-4: Anverso de la plantilla de instrucciones bidireccional.....	20
Figura 1-5: Reverso de la plantilla de instrucciones bidireccionales.....	21
Figura 1-6: Resultados de la validación de instrucciones bidireccionales (BFI) para la disciplina HVAC. ....	23
Figura 2-1: Resultados de validación de instrucciones (FI) en la disciplina HVAC. ....	41
Figura 2-2: Plantilla de instrucciones de trabajo.....	45
Figura 2-3: Anverso de la plantilla de instrucciones bidireccional.....	46
Figura 2-4: A) Legenda de colores FIPAPM B) Legenda de colores bidireccional C) Ejemplo de uso en HVAC. ....	47
Figura 2-5: Ejemplo de uso sección Listado de Materiales. ....	48
Figura 2-6: Reverso de la plantilla de instrucciones bidireccional. ....	49
Figura 2-7: Detalle de la sección “Sugerencias para instrucciones” .....	50
Figura 2-8: A) Sugerencias para la sección de Dibujo B) Ejemplo. ....	51
Figura 2-9: Sección de información adicional. ....	52
Figura 2-10: Esfuerzo para actualizar el modelo de producto .....	56
Figura 2-11: Puntuación de criterios de calidad para la actualización 3D.....	57
Figura 2-12: Resultados de la validación de instrucciones bidireccionales (BFI) para la disciplina HVAC. ....	59
Figura D-1: Ejemplo de instrucciones bidireccional: Anverso.....	78
Figura D-2: Ejemplo de instrucciones bidireccional: Reverso .....	79

## **RESUMEN**

El eslabón más débil en el ciclo de comunicación entre diseñadores, planificadores y ejecutores de proyectos de construcción es la retroalimentación desde terreno. La ausencia de una formalización de la potencial retroalimentación y de un mecanismo para capturarla, dificulta la actualización de la información de diseño y construcción. Esto causa que problemas de diseño, ejecución, coordinación, etc., que se detectan en terreno no sean transmitidos a las personas que pueden hacer algo para que estos problemas no se vuelvan a repetir o tomar medidas para minimizar sus impactos.

El propósito de esta investigación es formalizar la información de retroalimentación generada en terreno y proponer una metodología para capturarla, de forma de mejorar continuamente la información de diseño y construcción del proyecto. La metodología propuesta para capturar esta información es una instrucción bidireccional de trabajo.

Esta investigación se basa en una metodología de participación activa en un proyecto hospitalario para la formalización de la información de retroalimentación, el uso de instrucciones bidireccionales en el proyecto, y la evaluación cualitativa en terreno de esta intervención. Además, la investigación utiliza una Charrette como experiencia de laboratorio para probar la posibilidad de usar la información de retroalimentación obtenida con las instrucciones bidireccionales en la actualización de la información de proyecto contenida en modelos virtuales del proyecto.

Los resultados obtenidos muestran que el uso de las instrucciones bidireccionales es un buen método para capturar información de retroalimentación desde terreno y actualizar la información de proyecto.

**Palabras Clave:** Retroalimentación, Terreno, Instrucciones, Comunicación, Construcción.

## **ABSTRACT**

The weakest link of the communication cycle among construction project designers, planners and constructors is the feedback from the field. The lack of both a formalization of the feedback and a mechanism to capture this feedback hinders the updating of design and construction information. This challenge causes that several problems related to design, execution, coordination, etc., that are detected in the field, are never transmitted to the people who could avoid them or make decisions to minimize their impacts.

This research goal is to formalize the feedback produced in the field when laborers execute their work based on work instructions, and to propose a methodology to capture this feedback. This proposed methodology is a bidirectional field instruction.

The research methodology is based on active participation on a medical center project to formalize feedback information, the use of bidirectional instructions in the project, and a qualitative field assessment of this intervention. Besides, the research uses a Charrette experience to test the potential of the information captured through the bidirectional instructions to update project information contained in virtual models.

The outcomes show that bidirectional instructions are a good method to capture feedback at the field level and to update project information.

**Keywords:** Feedback, Field, Instructions, Communication, Construction.

## 1. INTRODUCCIÓN

La información de proyecto – información de su diseño y sus procesos constructivos – es un recurso vital para la ejecución de un proyecto. Diseñadores y constructores cuentan con varios métodos y herramientas para producir, analizar y comunicar información de proyecto. La capacidad de procesar esta información de manera efectiva, rápida y a bajo costo es una necesidad creciente en esta industria (Stewart y Mohamed, 2003). Las tecnologías de información juegan un rol muy importante en la capacidad para procesar esta información, en especial los métodos y herramientas de diseño y construcción virtual (VDC<sup>1</sup>) (Alarcón et al., 2010; Kunz y Fischer, 2012; Senescu y Haymaker, 2009), y en particular, la modelación BIM (*Building Information Modeling*) (Eastman et al., 2008). VDC/BIM facilitan la visualización, análisis y comunicación de información, y permiten la automatización de procesos de diseño y construcción.

Estos métodos y herramientas permiten generar información de alta calidad que se comunica a los trabajadores de terreno a través de instrucciones de trabajo. Las instrucciones generalmente se transmiten de manera verbal e informal, apoyándose en los planos de construcción del proyecto. Esto impacta negativamente la calidad y productividad del trabajo en terreno, donde la información es necesaria para materializar un proyecto y sus limitaciones pueden traducirse en problemas de calidad, costos extra y retrasos del programa constructivo (Hoezen et al., 2006).

---

<sup>1</sup> VDC corresponde al “uso de modelos virtuales, multidisciplinarios de proyectos de diseño y construcción, incluyendo modelos de productos, procesos y organizaciones, para apoyar objetivos de negocios explícitos y públicos”. Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) – Stanford University

Dos tercios de los problemas de construcción son causados por falta de coordinación y por el uso de medios de comunicación ineficientes en la transmisión de información y datos del proyecto (Dawood et al., 2002).

Mourgues y Fischer (2008) formalizaron instrucciones de trabajo para construcción, que apuntan a reducir los impactos negativos en productividad y calidad de la comunicación tradicional (verbal e informal) de instrucciones.

Independiente del método usado para comunicar las instrucciones de trabajo, todo este flujo de información desde los diseñadores hasta los constructores se detiene una vez que la información es entregada a los trabajadores. No existe un método formal para capturar cambios realizados por los trabajadores en el producto o procesos constructivos, comentarios de los trabajadores o problemas que éstos hayan tenido durante su trabajo, y que luego puedan ser usados para actualizar y mejorar continuamente la información de diseño y construcción del proyecto. El uso de información de proyecto desactualizada o sub óptima puede traer problemas como generación de instrucciones futuras incorrectas, ausencia de información “*as built*”, reiteración de errores de diseño, dudas y preguntas en terreno, baja productividad, trabajo rehecho, problemas de coordinación de disciplinas y situaciones de riesgo (Dai et al., 2007; Mourgues y Fischer, 2008). Inclusive existe un impacto negativo en el desempeño y satisfacción laboral de los trabajadores (Navarro, 2008), quienes describen su experiencia en terreno como “carente de retroalimentación, de preocupación y reconocimiento”.

Para mitigar estos problemas, la industria necesita métodos y herramientas que, además de proporcionar información completa, precisa, confiable y oportuna para terreno, sean

capaces de capturar y mantener esa información actualizada desde su origen (Saidi et al., 2002).

### **1.1. OBJETIVOS**

El objetivo general de esta investigación es completar el ciclo de comunicación entre la administración y personal de terreno en una obra de construcción, incorporando el flujo de retroalimentación desde los trabajadores al personal de administración.

#### **Objetivos Específicos:**

- a) Formalizar la información generada en terreno durante la ejecución del trabajo de construcción en la disciplina de climatización (HVAC) para proyectos hospitalarios.
- b) Formalizar un medio de comunicación bidireccional para capturar la información de retroalimentación desde terreno.
- c) Probar que la información de retroalimentación capturada con instrucciones bidireccionales puede ser utilizada para actualizar información de diseño contenida en un modelo BIM.

Esta tesis se estructura en dos capítulos. El primero resume y entrega antecedentes adicionales al segundo capítulo, el segundo presenta un artículo de revista científica que detalla la investigación y sus resultados. Luego se incluye la bibliografía y finalmente una sección de anexos de la investigación. La investigación se resume en el diagrama de la Figura 1-1.

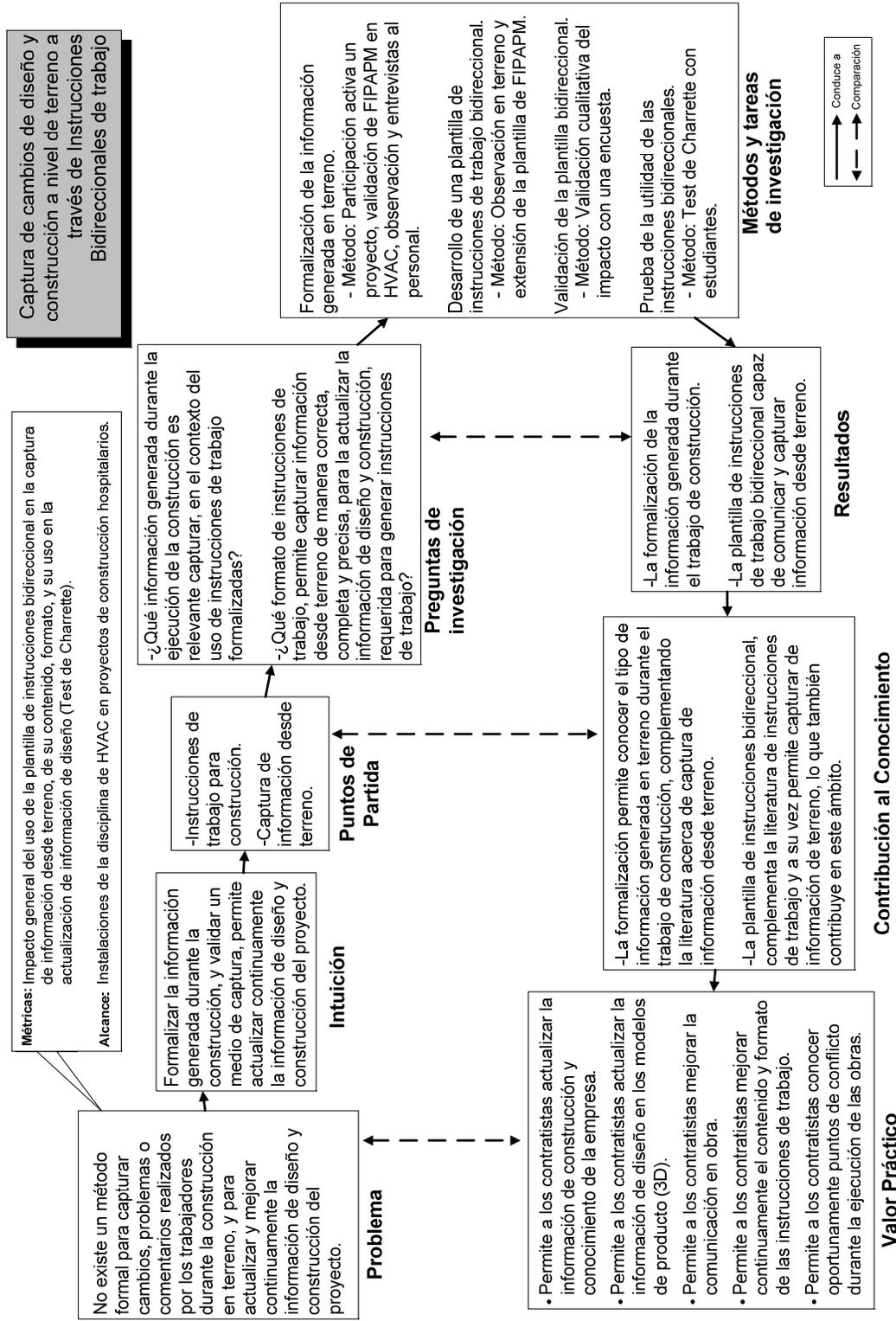


Figura 1-1: Resumen de la investigación

## **1.2. HIPÓTESIS**

Hipótesis: Para mantener actualizada la información de diseño y construcción de un proyecto, se puede obtener retroalimentación directamente de los trabajadores de terreno.

Para probar esta hipótesis es necesario fortalecer el ciclo de comunicación entre la administración y personal de terreno. Para ello se debe formalizar la información generada durante la ejecución del trabajo de construcción, y validar un medio de captura de la misma, que permita comunicar y mantener esta información actualizada durante el desarrollo del proyecto.

La información generada en terreno (ej.: dudas, cambios, sugerencias), guarda directa relación con las instrucciones de trabajo entregadas originalmente por la administración. Instrucciones completas, correctas y precisas, deberían generar menor cantidad de dudas durante la construcción. Por lo tanto un medio de comunicación adecuado entre la administración y los trabajadores de terreno, corresponde a las instrucciones formales de trabajo.

Esta tesis propone la extensión de instrucciones de trabajo formales, como medio de comunicación bidireccional, capaces de transmitir información a terreno y capturar su retroalimentación, para hacer posible la actualización de esta información en su origen.

No es sencillo obtener datos fiables para realizar una validación de tipo cuantitativa en investigaciones que involucren personal de construcción. Esto debido a la naturaleza

dinámica, de gran envergadura y alta variabilidad de la construcción, por lo que se propone una validación cualitativa de la contribución.

### **1.3. REVISIÓN DE LITERATURA Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

Los puntos de partida teóricos están enmarcados en dos grupos relacionados con las dos instancias del flujo de comunicación entre el personal administrativo de obra y el personal de terreno.

- Instrucciones de trabajo para la construcción.
- Captura de información desde terreno.

#### **1.3.1. INSTRUCCIONES DE TRABAJO PARA CONSTRUCCIÓN**

Literatura acerca de la formalización para desarrollar instrucciones de trabajo usando plataformas tecnológicas es escasa, y sólo se aborda tangencialmente en algunas investigaciones o bien se presenta como una tendencia, indicando su potencial en la industria (Abudayyeh et al., 2004; Dawood et al., 2005; Fox y Hietanen, 2007; Sriprasert y Dawood, 2002).

Actualmente existen algunos desarrollos en este ámbito como las hojas de asignación de trabajo (Oglesby et al., 1989; Serpell, 2002) y las instrucciones producidas por contratistas como parte de “paquetes de trabajo” usado en algunas disciplinas como Piping (Kim y Ibbs, 1995), que buscan formalizar la comunicación de instrucciones a través de información escrita, pero carecen de un estudio formal y de un análisis de su contenido y formato especializado. Hewage y Ruwanpura, (2009) desarrollan una

metodología de comunicación de información llamada “caseta de información” (*Information booth*). Proponen utilizar distintas TI para transmitir información de diseño y construcción a terreno en tiempo real.

Agrawala et al., (2003) presentan una serie de principios de diseño para el desarrollo de instrucciones de trabajo para la industria manufacturera. Estos principios vinculan el modelo conceptual del ensamblaje que tienen las personas, con la representación visual de esa tarea.

Mourgues y Fischer (2008) extienden estos principios y derivan características que difieren de la manufactura y que son aplicables en instrucciones para construcción, considerando criterios de comunicación efectiva (Emmitt y Gorse, 2003) (i.e., clara, concisa, completa, libre de errores, significativa, relevante, precisa, y oportuna).

Con estas características, desarrollaron un formato y contenido de instrucciones de terreno y una metodología (Mourgues et al., 2012) para generar estas instrucciones basada en herramientas VDC/BIM, conocida como FIPAPM (*Field Instructions from Product and Process Models*). Así formalizan el contenido y formato de las instrucciones de trabajo para construcción a partir de la información almacenada en modelos digitales de procesos y de producto 3D, en una plantilla de instrucciones estandarizada.

Actualmente las instrucciones de terreno definidas por Mourgues y Fischer (2008) es el método más estructurado presente en la literatura de instrucciones de trabajo para construcción para comunicar información a los trabajadores. Sin embargo, estas instrucciones, y el método FIPAPM, no incluyen la captura de información desde

terreno para actualizar la información contenida en los modelos de producto y proceso, que dio origen a las instrucciones.

### **1.3.2. CAPTURA DE INFORMACIÓN DESDE TERRENO.**

Aunque estudios como Tan et al. (2006) destacan la importancia y los beneficios de la captura y reutilización de información durante el desarrollo de proyectos, es común la falta de registro y documentación coherente acerca de cambios de diseño y buenas prácticas empleadas. Esto debido a que muchas veces la naturaleza y origen de la información hace difícil la captura e integración de los datos para su análisis.

Actualmente existen varios métodos para obtener información de terreno tales como inspección visual, encuestas en terreno, fotografías, hojas de inspección de construcción, reportes técnicos y solicitudes de información. Generalmente esta recolección de datos se realiza en formularios no estandarizados completados por personal de construcción. (Trupp et al., 2004) profundiza acerca de tecnologías existentes para capturar información de manera precisa directamente de terreno. Por ejemplo *Mobile computing* (Saidi et al., 2002) es utilizada no solo para acceder a información del proyecto, sino que también para capturar información de terreno referente a la dotación y el avance del mismo. *3D Laser Scanning* (Gray, 2006) permite obtener información *as-built* precisa para su análisis y control del proyecto. La *digital close-range photogrammetry* (Streilein, 1994), es una técnica que utiliza fotos de distintos ángulos de un objeto para extraer información 3D. El *Radio Frequency Identification* (RFID) y *Global Positioning System* (GPS) (El-Omari y Moselhi, 2009; Skibniewski y Won-Suk, 2008), permiten

realizar seguimiento de los materiales y componentes constructivos, desde la bodega o fabrica, hasta su uso o instalación final.

Estos métodos permiten capturar información de distintos temas (calidad, avance físico, seguridad, materiales, etc.) a distintos niveles de detalle. Algunos elementos de esta información se podrían usar para actualizar la información de diseño que da origen a instrucciones de trabajo. Pero estos desarrollos, no presentan una formalización que permita capturar información asociada a instrucciones de trabajo directamente del personal de terreno para aprovecharla.

En conclusión, la literatura reconoce la importancia de la captura y manejo de información desde terreno e identifica varios métodos de captura con enfoques diferentes según su utilidad. Sin embargo, ningún método propone un formato y contenido formalizado para obtener información de retroalimentación que permita actualizar la información de diseño y construcción usada para generar instrucciones de trabajo futuras.

### **1.3.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

Las limitaciones encontradas en la literatura, ayudan a definir las preguntas de investigación.

- a) ¿Qué información generada durante la ejecución de la construcción es relevante capturar, en el contexto del uso de instrucciones de trabajo formalizadas?

Los puntos de partida teóricos no presentan formalizaciones del tipo de información generada en terreno, a raíz de la ejecución del trabajo de construcción. Esta pregunta se orienta a identificar y clasificar la información que debe ser capaz de capturar un medio bidireccional de comunicación, basado en instrucciones de trabajo.

- b) ¿Qué formato basado en instrucciones de trabajo, permite capturar información de retroalimentación desde terreno de manera correcta, completa, precisa y que facilite su uso para la actualización de la información de diseño y construcción, requerida para generar instrucciones de trabajo?

La literatura estudiada no muestra ningún desarrollo basado en instrucciones de trabajo capaces de capturar información de manera estandarizada desde terreno. La identificación y clasificación de esta información, completan su formalización, con la que es posible desarrollar un medio bidireccional de comunicación, con un contenido y formato definido.

#### **1.4. METODOLOGÍA**

La metodología de esta investigación considera la participación activa del investigador en un proyecto de construcción hospitalario durante 8 meses, y la evaluación cualitativa del impacto de su intervención. Adicionalmente se incluye la aplicación de una experiencia de laboratorio conocida como *The Charrette Test method* (Clayton et al., 1998) para conocer la utilidad de la información capturada en la actualización de modelos digitales.

La Figura 1-2 describe esquemáticamente las distintas tareas de la investigación consideradas en la metodología.

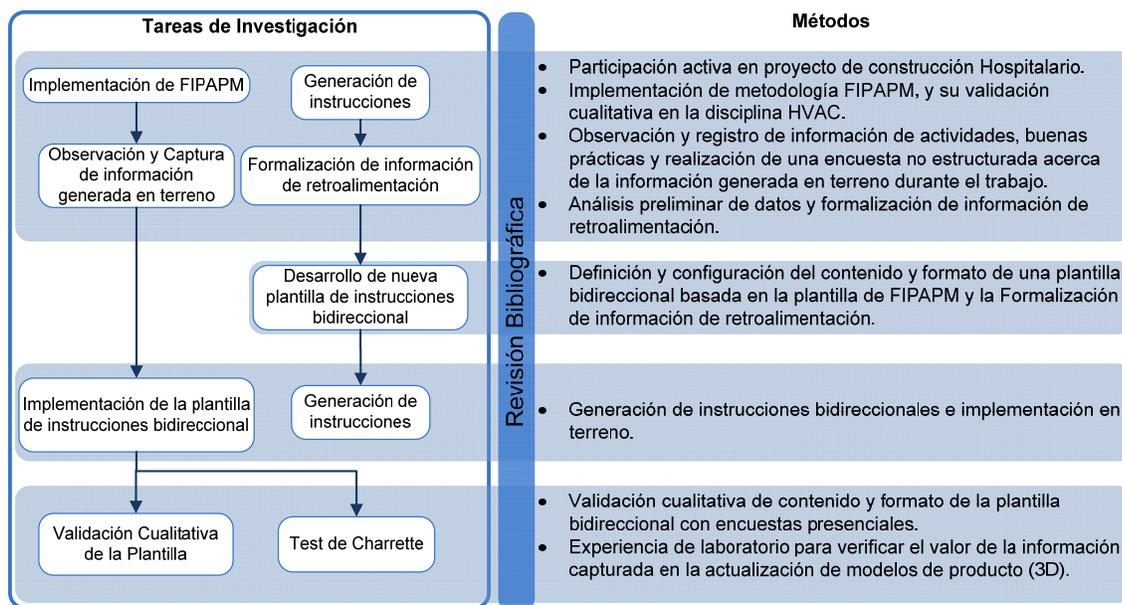


Figura 1-2: Metodología y tareas de investigación.

El caso de estudio corresponde a un proyecto hospitalario gubernamental, de alta complejidad (100.000 m<sup>2</sup> aprox.), que utilizó tecnologías BIM para la coordinación de disciplinas de construcción. La investigación se enfoca sólo en la disciplina HVAC ya que incluir todas las disciplinas de un proyecto de construcción es una tarea enorme y conlleva un esfuerzo y recursos más allá de lo disponible para esta investigación. Para desarrollar una solución, se trabajó con el personal de dos empresas contratistas<sup>2</sup> de esta especialidad, presentes en el proyecto.

<sup>2</sup> Las empresas contratistas de HVAC que participaron en este estudio, están presentes en aproximadamente el 70% de los proyectos hospitalarios activos y adjudicados en Chile al 07/03/2010.

Inicialmente el investigador se familiarizó con la disciplina HVAC y registró las mejores prácticas de trabajo utilizadas. Para conocer el tipo de información que se podría capturar en terreno al utilizar instrucciones de trabajo, el investigador aplicó y validó las instrucciones generadas por FIPAPM en esta disciplina, con la colaboración de 30 trabajadores. Estos representaban al 90% de las personas que trabajaron en el proyecto (en la disciplina HVAC) durante el periodo de evaluación. El detalle de la muestra de encuestados se aprecia en la Tabla A-1, y las categorías evaluadas para la validación se detallan en la Tabla A-2 de la sección Anexos A. Los resultados de esta validación se presentan en el capítulo 2 de esta tesis.

Durante esta validación se observó y registró el tipo de información de retroalimentación generada a partir del uso de instrucciones formalizadas. Estas describen el alcance del trabajo, identifican los componentes constructivos requeridos e ilustran vistas de modelo relevantes. Además entregan las cantidades de materiales asociados, y describen los pasos constructivos para realizar una actividad según las mejores prácticas de la empresa de construcción.

Algunos de los puntos críticos observados durante su aplicación en terreno fueron: la necesidad de mayores detalles constructivos debido a inconsistencias de diseño, mayor requerimiento de materiales o equipos con respecto a los indicados, discrepancias con los pasos constructivos dados, comentarios acerca del formato de la instrucción, y la necesidad de comunicar de manera formal a la administración acerca de cambios dimensionales realizados en terreno y otros problemas que afectaban el rendimiento del

trabajo, como interferencia entre contratistas o condiciones de seguridad e higiene de terreno.

Posteriormente se realizó una encuesta individual al mismo grupo de trabajadores para conocer su apreciación acerca del tipo de información que se genera en terreno durante su trabajo y que no es posible transmitir de manera oficial a la jefatura. Estas entrevistas no estructuradas ayudaron a confirmar y precisar las observaciones anteriores a partir del uso de instrucciones formales. El detalle de la muestra de encuestados se aprecia en la Tabla B-1, y las categorías evaluadas para la validación se detallan en la Tabla B-2 de la sección Anexos B. Los resultados de esta validación se presentan en el capítulo 2 de esta tesis.

Con la apreciación del investigador de terreno, la retroalimentación de los trabajadores, la revisión bibliográfica, la información contenida en la plantilla de instrucciones de la metodología FIPAPM y la clasificación de las dudas más comunes durante la ejecución del trabajo estudiadas por Mourgues et al., (2007), fue posible formalizar la información de retroalimentación generada en terreno.

Esta formalización se traduce en el desarrollo de una instrucción de trabajo bidireccional, capaz de capturar información desde terreno para comunicarla a la administración. Esta nueva instrucción extiende la plantilla utilizada por FIPAPM, incluyendo modificaciones y nuevas secciones de información.

La obtención de información oportuna, precisa y fiable para realizar una validación cuantitativa de la plantilla de instrucciones bidireccional, no fue posible, debido a la

disponibilidad de recursos y porque hacerlo manualmente habría sido demasiado intensivo y disruptivo. En consecuencia, se optó por una validación cualitativa para el contenido y formato del medio bidireccional de comunicación.

La validación consistió de tres pasos: (1) Entrega de 8 instrucciones bidireccionales de trabajo durante dos semanas para el proyecto de estudio, (2) observación del uso de las instrucciones por parte de 30 trabajadores distribuidos en 6 cuadrillas para ejecutar la construcción, y (3) la evaluación del impacto de estas instrucciones de forma cualitativa con entrevistas presenciales.

Finalmente, para probar que la información de retroalimentación capturada con instrucciones bidireccionales puede ser utilizada para actualizar información de diseño contenida en un modelo BIM, se realizó una experiencia de laboratorio conocida como “*The Charrette Test Method*” (Clayton et al., 1998). Este examen es capaz de entregar evidencia suficiente para evaluar el desempeño e impacto en cuanto a eficiencia y efectividad en el proceso de actualización de modelos de producto (3D), en nuestro caso se evalúa la calidad de las actualizaciones.

La experiencia se desarrolla en 2 sesiones de 80 minutos con la participación de 14 estudiantes de Ingeniería Civil avanzados en sus estudios, divididos en 2 grupos (Método base y propuesto). Un análisis de validez estadística de esta evaluación se presenta en la sección de Anexos C, en las Tablas C-1, C-2 y C-3.

## **1.5. RESULTADOS**

Esta investigación tiene dos grandes resultados. El primer resultado es la formalización de información de retroalimentación de los trabajadores de terreno. Esta formalización, los fundamentos y limitaciones encontrados en la literatura, y la observación y validaciones prácticas realizadas en terreno, permiten el desarrollo del segundo resultado de la investigación: una instrucción de trabajo bidireccional. Esta es capaz de capturar cambios en la información de diseño y construcción directamente desde su origen en terreno, y facilitar su comunicación al personal de administración para su actualización. Esta sección detalla la formalización del contenido y formato de una instrucción bidireccional, su validación en terreno y la contribución al conocimiento.

### **1.5.1. FORMALIZACIÓN DE RETROALIMENTACIÓN**

El contenido y formato de una instrucción bidireccional se desarrolla según la formalización de la información de retroalimentación. Esta formalización sugiere una estructura donde se identifica y clasifica el tipo de información generada durante la ejecución práctica del trabajo de construcción, a partir del uso de instrucciones de trabajo formalizadas. La estructura de la Tabla 1-1, es la base para capturar información en una instrucción de trabajo:

Tabla 1-1: Formalización de Información de retroalimentación

**a) Cambios de diseño durante la ejecución del trabajo.**

- 1- Cambios dimensionales en los ejes X,Y y Z.
- 2- Cambios de materialidad de los elementos constructivos.
- 3- Cambios en detalles de diseño.

**b) Sugerencias del usuario de la instrucción.**

- 1- Sugerencias para modelos de procesos constructivos.
- 2- Sugerencias para configuración de la instrucción.

**c) Requerimientos por información deficiente.**

- 1- Especificaciones técnicas de construcción deficientes.
- 2- Falta de actualización de la información de diseño.
- 3- Falta de vistas de detalle para construcción.
- 4- Falta de herramientas y equipos de apoyo para construcción.
- 5- Cubicación o cantidad de materiales deficiente.

**d) Otras observaciones y condiciones de terreno.**

Esta formalización de la retroalimentación de información es claramente dependiente al mecanismo de entrega de información originalmente usado, es decir las instrucciones generadas por FIPAPM. También es importante destacar que los cambios de diseño durante la ejecución del trabajo, dependerán de la disciplina asociada a la instrucción, en nuestro caso HVAC.

Permite extender las instrucciones de trabajo para utilizarlas como medio de captura de información desde el usuario en terreno. Con esto se transforma las instrucciones de trabajo, en un medio bidireccional de comunicación para el personal de terreno y administrativo.

### **1.5.2. INSTRUCCIONES BIDIRECCIONALES DE TRABAJO**

Esta solución fue desarrollada en base a la metodología FIPAPM. La información de retroalimentación será usada para actualizar la información de diseño y construcción contenida en los modelos digitales asociados a la producción de instrucciones futuras. Mayores detalles acerca de la metodología FIPAPM se encuentran en Mourgues et al., (2012).

La información capturada desde terreno puede ser de carácter cuantitativo, correspondiente a información geométrica concreta que permite actualizar el modelo de producto (3D) con información *As-Built*, y de carácter cualitativo proviene de la percepción personal del usuario al ejecutar una tarea. Este último tipo de información permite retroalimentar los modelos de procesos constructivos, mejorar la visualización y configuración de la plantilla de instrucción entregada, en pos de facilitar la comprensión y entendimiento de la información.

La siguiente sección detalla las modificaciones y extensiones realizadas en la plantilla de instrucciones de FIPAPM, para desarrollar una plantilla de instrucciones bidireccional. Se incluyen los resultados de su validación en terreno y los de un test de laboratorio para evaluar el desempeño de la actualización de modelos de producto y de procesos constructivos utilizando esta herramienta versus medios tradicionales de comunicación.

Para permitir una correcta captura de información desde terreno, es necesario realizar modificaciones y extensiones de la plantilla de instrucciones de FIPAPM, según los aspectos de la Tabla 1-1.

**Plantilla de instrucciones FIPAPM:** Esta plantilla cuenta con un formato y contenido definido basado en las características de buenas instrucciones de Emmitt y Gorse (2003). Consta de cuatro secciones: Dibujo, instrucciones, equipos y herramientas, y listado de materiales. Estas agrupan la información de diseño y construcción extraída de los modelos de producto y proceso. Esta instrucción está configurada para ser entregada en formato de papel A3 (doble carta o bien 11”x17”) al igual que el método para apoyar la comunicación en los procesos *lean* (Rafferty, 2009). Su diseño permite contener información para el trabajo de un día para un equipo, sin embargo esta frecuencia puede variar. La Figura 1-3 muestra la plantilla FIPAPM. Mourgues y Fischer (2008) describe en detalle esta plantilla de instrucciones.

El diagrama muestra la estructura de la plantilla de instrucciones FIPAPM, organizada en secciones:

- Actividad (Acción-Recurso-Objeto-Area de trabajo):** Encabezado principal de la actividad.
- Sección de Dibujo:** Contiene:
  - Leyenda de Codificación de colores:** Una caja para definir los colores utilizados.
  - Vista de Modelo:** El espacio principal para el dibujo del modelo.
  - Plan general:** Una caja para el plan general.
  - Vista de detalle:** Una caja para el detalle del modelo.
- Sección de Instrucciones:** Una columna vertical para las instrucciones de construcción.
- Sección de listado de materiales:** Una sección horizontal para el listado de materiales.
- Sección de Equipos y Herramientas:** Una sección horizontal para el listado de equipos y herramientas.

En la parte superior derecha se indica: "Día de la semana, Número del día, Mes, Año". En la parte inferior derecha se indica: "Página 1/1".

Figura 1-3: Plantilla de instrucciones desarrolladas para la metodología

FIPAPM

**Plantilla de instrucciones bidireccional:** Se proponen modificaciones a la plantilla de instrucciones anterior en las secciones de dibujo, instrucciones, y listado de materiales (Figura 1-4). Además se agregan tres nuevas secciones de información al reverso de la instrucción (Figura 1-5).

- Sugerencias a la sección de instrucciones.
- Sugerencias a la sección de dibujo.
- Información adicional.

Estas secciones responden a la formalización de captura de información de terreno presentada en la Tabla 1-1. El detalle de estas modificaciones, nuevas secciones y su validación se detalla en el capítulo 2.

La Figura 1-4 muestra el anverso de la plantilla de instrucciones desarrollada, destacando las modificaciones realizadas con un cambio de tonalidad en las secciones de información.

Actividad (Acción-Recurso-Objeto-Area de trabajo)		Día de la semana, Número del día, Mes, Año			
<p style="text-align: center;"><b>Sección de Dibujo</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"> <p><b>Leyenda de Codificación de Colores</b> (Codificación de captura desde terreno)</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;"> <p><b>Vista de Modelo</b> (Ingreso de modificaciones geométricas)</p> </div> <div style="width: 20%;"> <p><b>Sección de Instrucciones</b></p> <p>Numeración correlativa de pasos constructivos y uso de ID</p> <p>1.~.....(ID=i)</p> <p>2.~.....(ID=i)</p> <p>3.~.....(ID=i)</p> <p>4.~.....(ID=ijk)</p> <p>5.~.....(ID=...)</p> <p>6.~.....(ID=...)</p> <p>7.~.....(ID=...)</p> <p>...</p> <p>..</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 20%;"> <p><b>Escala sección de dibujo</b></p> </div> <div style="width: 20%; text-align: center;"> <p><b>Plan general</b></p> </div> <div style="width: 20%; text-align: center;"> <p><b>Vista de detalle</b></p> </div> </div>		<p style="text-align: center;"><b>Sección de listado de materiales</b></p> <p>Material – Cantidad - Uso real</p>		<p style="text-align: center;"><b>Sección de Equipos y Herramientas</b></p>	
<p>*Plantilla de instrucción bidireccional de trabajo &amp;FIPAPM (Simón Torreba &amp; 2011), basada en metodología FIPAPM(Mourgues &amp; 2008). Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile</p>					
<p>Página 1/2</p>					

Figura 1-4: Anverso de la plantilla de instrucciones bidireccional.

La Figura 1-5 ilustra el reverso de la instrucción bidireccional con las nuevas secciones de información de captura incluidas.



trabajadores distribuidos en 6 cuadrillas para ejecutar la construcción, y (3) la evaluación del impacto de estas instrucciones de forma cualitativa con entrevistas presenciales.

El grupo de trabajadores encuestados era heterogéneo y sus edades fluctuaban entre los 18 y 50 años. Muchos eran especialistas hace años y otros recién tenían un acercamiento a la construcción. Este último grupo valoró positivamente la existencia de estas instrucciones.

Esta validación considera tres categorías de encuestados según su relación con las instrucciones: (1) Los supervisores o capataces de terreno, (2) Los trabajadores que utilizaron las instrucciones durante la ejecución de sus actividades y (3) Trabajadores que no usaron las instrucciones debido a su escasa calificación, que no podían leer o entender dibujos, y que no presentaban mayor interés más que desarrollar su trabajo de forma mecánica. Esta categoría es considerada ya que puede representar una distorsión de los datos obtenidos, por lo tanto su observación y análisis puede ayudar a tener un panorama más acabado y representativo de la validación aplicada.

La encuesta contiene 3 preguntas iniciales que buscan evaluar la percepción de los encuestados sobre el uso de las instrucciones bidireccionales de terreno en tres aspectos: (1) su percepción general acerca del uso, (2) acerca de su contenido y (3) acerca de su formato. La Tabla B-2 del Anexo B, detalla estos aspectos. Las respuestas se midieron usando una escala *Likert* de puntuación entre 1 y 5 puntos. Impacto positivo significa que el encuestado tiene una percepción favorable con respecto al criterio consultado. La Figura 1-6 presenta los resultados obtenidos luego de la consulta para estos 3 aspectos.

Adicionalmente, la encuesta incluyó 2 preguntas para conocer otras percepciones generales de los entrevistados. La primera pedía evaluar si el uso de estas instrucciones mejoraba la satisfacción laboral, la que obtuvo respuestas positivas en el 100% de los casos. En la segunda pregunta, el 93% de los encuestados aseguró que actualmente hace falta una instancia para comunicar de manera formal algunos aspectos del trabajo a la administración. Estas respuestas reflejan la necesidad de los trabajadores de contar con un medio de comunicación oficial, espacio que cubre el uso de instrucciones bidireccionales.

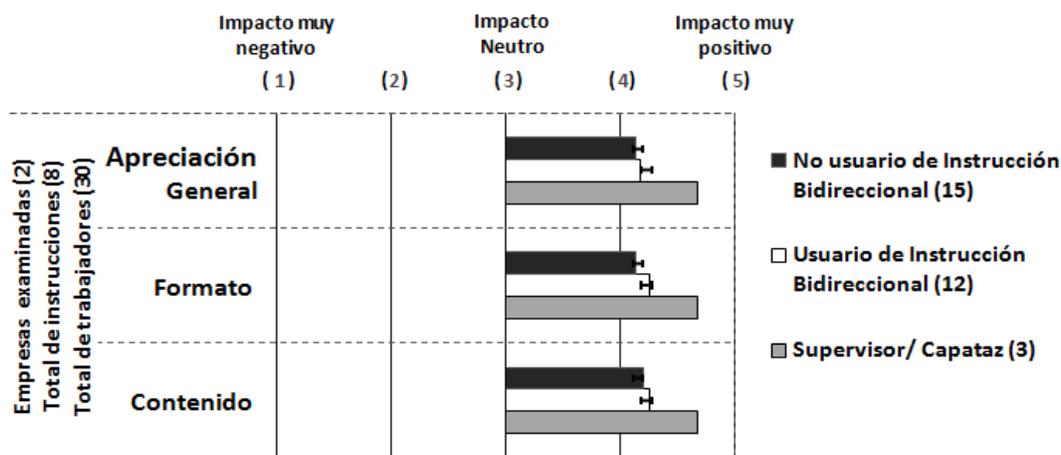


Figura 1-6: Resultados de la validación de instrucciones bidireccionales (BFI) para la disciplina HVAC.

En los tres criterios evaluados se obtienen evaluaciones positivas, sobre 3 puntos (impacto neutro). Estos resultados entregan evidencia cualitativa acerca del impacto del contenido y formato de la plantilla de instrucciones bidireccional propuesta.

Basado en estas valoraciones positivas, es posible concluir que el contenido y formato de la plantilla de instrucciones bidireccionales para terreno, es válido para su uso y aplicación en la disciplina de Climatización (HVAC).

Para probar que la información de retroalimentación capturada con instrucciones bidireccionales puede ser utilizada para actualizar información de diseño contenida en un modelo BIM, se realizó una evaluación de la calidad de las actualizaciones a partir de una experiencia de laboratorio conocida como “*The Charrette Test Method*” (Clayton et al., 1998). Esta metodología entrega evidencia acerca del desempeño de una metodología que involucra el uso de herramientas tecnológicas y digitales. En nuestro caso se evalúa la calidad de las actualizaciones considerando 3 aspectos, correctitud, completitud y precisión. Como resultado se obtiene que la calidad de las actualizaciones realizadas con ayuda de instrucciones bidireccionales, sea siempre superior a las realizadas con una metodología basada en comunicación informal. Un mayor análisis se detalla en el capítulo 2, y se incluye un análisis de validez estadística de los resultados en el Anexo C.

## **1.7. CONCLUSIONES**

Actualmente, el flujo de información de proyecto hacia los ejecutores del trabajo (trabajadores de terreno) termina en el momento en que se entrega esta información al trabajador, ya sea verbalmente o a través de instrucciones estructuradas. El flujo no incluye la captura de información de retroalimentación proveniente de los trabajadores de terreno, información que permitiría actualizar la información de proyecto original

para mejorar las instrucciones de trabajo de manera sistemática y estandarizada, entre otros beneficios.

Esta investigación formaliza la información de retroalimentación que puede capturarse desde terreno, e incorpora esta formalización en una plantilla de instrucciones bidireccionales, extendiendo la funcionalidad de las instrucciones de trabajo desarrolladas con la metodología FIPAPM.

Esta sección discute la contribución al conocimiento de este trabajo, su valor práctico, limitaciones, algunas consideraciones generales, y sugerencias de trabajo futuro.

### **1.7.1. CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO**

Este trabajo presenta dos contribuciones al área de gestión de la información de construcción: una formalización de retroalimentación a instrucciones de trabajo, y una plantilla de instrucciones bidireccionales para la captura de esa retroalimentación.

La formalización propuesta en este estudio extiende la plantilla de instrucciones de trabajo de Mourgues y Fischer (2008). Esta formalización puede ser utilizada por otros investigadores para profundizar la comprensión de la información de retroalimentación de terreno, y por desarrolladores de tecnología para habilitar la automatización en la captura y manejo de esta información.

La plantilla de instrucciones bidireccionales propone un formato y contenido concreto en el que se integran la formalización de instrucciones de trabajo propuestas por Mourgues

y Fischer (2008) y la formalización de retroalimentación propuesta por este estudio. Las figuras D-1 y D-2 del Anexo D presentan un ejemplo de la instrucción bidireccional.

### 1.7.2. VALOR PRÁCTICO

Estos desarrollos presentan potenciales beneficios prácticos para la industria de la construcción en distintas áreas:

**Permite a los contratistas mejorar la comunicación en obra:** La generación y uso de instrucciones de trabajo bidireccionales tiene una connotación positiva en la comunicación organizacional de la industria, ya que se abre un puente entre personal de terreno y personal administrativo. Permite al trabajador hacer comentarios acerca de la calidad del producto y los materiales utilizados, dar a conocer problemas y observaciones acerca del espacio de trabajo, estado de equipos, estado del aseo, entre otros.

**Permite a los contratistas mejorar continuamente el contenido y formato de las instrucciones de trabajo:** La actualización de información de diseño y construcción en los modelos digitales asociados, permiten reconfigurar la plantilla (contenido y formato de la instrucción) según la comodidad del usuario. Además, se puede identificar problemas en la información entregada oportunamente, para generar instrucciones consistentes, correctas y de mejor calidad en el futuro.

**Permite a los contratistas actualizar la información de construcción y el conocimiento de la empresa (*know how*):** Con la actualización de información de construcción, se potencia y mejora la gestión del conocimiento de la empresa y permite comprender, formalizar y actualizar las buenas prácticas de construcción empleadas según las sugerencias de los trabajadores.

**Permite a los contratistas actualizar la información de diseño en los modelos de producto (3D) simultáneamente al desarrollo de la construcción:** Es posible conocer los cambios realizados durante la ejecución de la obra directamente desde su fuente (información *As-Built*), basado no sólo en las órdenes de cambio oficiales del proyecto, sino también sobre información informal. Esto incluye *highlight drawings* con información de cambios realizados en terreno y que no son oficializados como obras extraordinarias, y *redlines drawings* o modificaciones de diseño oficiales. Esto reduce latencias de espera y desafíos de actualizar y generar esta información una vez terminado el proyecto de construcción.

**Permite a los contratistas conocer oportunamente puntos de conflicto durante la ejecución de las obras:** Durante la construcción se producen eventos que responden a problemas de pérdidas de productividad o de mal aprovechamiento de recursos (si otro contratista está trabajando en la misma área de trabajo o no se cuenta con electricidad, entre otros). Con esta herramienta, es posible precisar las causas y adelantar posibles implicancias negativas en el correcto desarrollo del trabajo y mejorar la planificación del mismo. Con estos registros se puede realizar un seguimiento más acabado de las tareas

ejecutadas, y conocer con mayor precisión la productividad de los materiales, mano de obra y otros recursos asociados.

Otras implicancias prácticas identificadas por los supervisores durante el uso de instrucciones bidireccionales, es que permite identificar las obras extraordinarias realizadas y el trabajo rehecho por problemas de calidad, para ser cuantificadas. También sirve como comprobante de lo efectivamente comunicado por la administración al trabajador y viceversa.

### **1.7.3. LIMITACIONES**

La formalización de la retroalimentación y validación de la plantilla de instrucciones bidireccionales se centró en la disciplina HVAC, considerando una población de 30 individuos, de dos empresas contratistas, en un proyecto hospitalario. Además, la validación realizada fue de carácter cualitativo, dado que la obtención de datos confiables requeridos para un análisis cuantitativo no fue posible durante esta investigación. Estas características limitan el alcance del trabajo.

Por otro lado, la prueba realizada para actualizar modelos de producto 3D a partir de instrucciones bidireccionales de trabajo, se basa en la información que ingresan los usuarios. Por lo tanto, la precisión, legibilidad y comprensión de lo que se quiere expresar desde terreno, puede verse afectado por problemas de entendimiento. No incluimos la prueba de la actualización de modelos de procesos en este trabajo ya que

este proceso es informal, sin límite de tiempo definido e intervienen múltiples actores por lo que su evaluación era compleja.

#### **1.7.4. OTRAS CONSIDERACIONES**

Las instrucciones de trabajo basadas en modelos de procesos y de producto, fueron desarrolladas para cubrir un alcance de trabajo y una frecuencia de entrega diaria, y -al igual que el método para apoyar la comunicación en los procesos *lean-*, se utiliza papel de entrega formato A3. Sin embargo, es posible definir una frecuencia y formato de entrega óptima para cada organización y disciplina.

Para implementar el uso de instrucciones bidireccionales en una organización, es importante considerar los siguientes puntos:

- a) La implementación debe incluir una etapa de inducción al personal de terreno y administrativo, definiendo los alcances y requerimientos de cada participante. El administrador de la instrucción bidireccional en terreno, debe tener un nivel educacional mínimo para incluir información desde terreno de manera comprensible.
- b) Las instrucciones se deben devolver a la administración para realizar la actualización de modelos con una frecuencia consistente con la duración del alcance de trabajo contenido en la instrucción. En oficina debe existir un administrador de esta información, que realice la actualización de los modelos de producto 3D y envíe a revisión las sugerencias para modelos de procesos. Además, debe ser capaz de producir instrucciones bidireccionales de trabajo para el periodo siguiente.

- c) Para nuestro caso, se trabajó con distintos software de uso comercial. Se confeccionaron modelos de procesos constructivos usando MS Visio® 2007, y la manipulación de modelos de producto BIM se realizó con Autodesk Revit Architecture® 2010 student edition, ambos a nivel de usuario.

### **1.7.5. SUGERENCIAS DE INVESTIGACIONES FUTURAS**

La capacidad de desarrollo en el área de las comunicaciones in-situ para construcción es muy amplia y el aporte de esta investigación puede significar un importante punto de partida para futuras investigaciones. Algunas sugerencias en esta línea se explican a continuación.

- a) Realizar una validación cuantitativa de la formalización de información de retroalimentación. También, extender esta formalización a otras disciplinas de construcción, generalizando esta investigación con el fin de abordar las diferencias entre las especialidades en vez de desarrollar nuevas plantillas y esquemas de información para cada disciplina.
- b) Estudiar la mejor tecnología de entrega de instrucciones bidireccionales de trabajo para optimizar la captura de información (papel, documentos digitales, PDA, Tablet u otros) y definir la frecuencia óptima para permitir una correcta actualización de información en los modelos asociados a la generación de futuras instrucciones.
- c) Automatizar una metodología de generación de instrucciones bidireccionales de trabajo, tanto como las metodologías de actualización de modelos digitales a fin de facilitar su futura implementación en organizaciones.

- d) Estudiar la mejor forma de implementación de estas instrucciones al interior de una organización, de manera que se obtenga una pauta definida con participantes y roles, que optimice su funcionamiento y minimice las externalidades negativas asociadas a la resistencia al cambio de las empresas.
  
- e) Actualmente existen varias herramientas y tecnologías que han abierto posibilidades para procesar y capturar información desde terreno de manera precisa y oportuna. Se recomienda estudiar la integración y combinación de tecnologías para desarrollar una herramienta práctica que ayude a la correcta ejecución de la construcción en terreno.

## **2. CAPTURA DE CAMBIOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCION A NIVEL DE TERRENO A TRAVES DE INSTRUCCIONES BIDIRECCIONALES DE TRABAJO**

### **2.1. INTRODUCCIÓN**

Diseñadores y constructores cuentan con varios métodos y herramientas para producir, analizar y comunicar información de proyecto. Algunos de estos métodos y herramientas incluyen el uso de tecnologías de información en Construcción (TIC), entre las que destacan los métodos de diseño y construcción virtual (VDC) (Alarcón et al., 2010; Kunz y Fischer, 2012; Senescu y Haymaker, 2009), y particularmente las herramientas BIM (*Building Information Modeling*) (Eastman et al., 2008). VDC/BIM facilitan la visualización, análisis y comunicación de información y permiten la automatización de procesos de diseño y construcción.

Todos estos métodos y herramientas permiten generar información de diseño y construcción de alta calidad. Esta se comunica a los trabajadores de terreno a través de instrucciones de trabajo. Estas instrucciones generalmente se transmiten de manera verbal e informal, apoyándose en los planos de construcción del proyecto. La comunicación verbal e informal de las instrucciones de trabajo impacta negativamente la calidad y productividad del trabajo. Esto es particularmente grave en terreno, donde la información es necesaria para materializar un proyecto y sus limitaciones pueden traducirse en problemas de calidad, costos extra y retrasos del programa constructivo (Hoezen et al., 2006). Dos tercios de los problemas de construcción son causados por

falta de coordinación y por el uso de medios de comunicación ineficientes en la transmisión de información y datos del proyecto. (Dawood et al., 2002).

Mourgues y Fischer (2008) formalizaron instrucciones de trabajo para construcción, que apuntan a reducir los impactos negativos en productividad y calidad originados por la comunicación verbal e informal de instrucciones.

Independiente del método usado para comunicar las instrucciones de trabajo, todo este flujo de información desde los diseñadores hasta los constructores, se detiene una vez que la información es entregada a los trabajadores a través de instrucciones de trabajo. Actualmente, no existe un método formal para capturar información acerca de cambios, comentarios o problemas – de diseño y construcción - que enfrenten los trabajadores durante su trabajo en terreno. Esta falta de retroalimentación dificulta la actualización y mejora continua de la información de diseño y construcción del proyecto, desde donde se crean las instrucciones. Por otro lado, el uso de información desactualizada o sub óptima puede traer problemas como generación de instrucciones futuras incorrectas, ausencia de información *as built*, reiteración de errores de diseño, dudas y preguntas en terreno, baja productividad, trabajo rehecho, problemas de coordinación de disciplinas y situaciones de riesgo (Dai et al., 2007; Mourgues y Fischer, 2008).

Para mitigar estos problemas, la industria necesita métodos y herramientas que, además de proporcionar información completa, precisa, confiable y oportuna para terreno, sean capaces de mantener esa información actualizada en su origen (Saidi et al., 2002).

Esta investigación busca formalizar la información de retroalimentación y definir un método para su captura desde terreno.

La siguiente sección revisa la literatura acerca de los elementos más relevantes del flujo de información en terreno para esta investigación: la comunicación de instrucciones de trabajo en construcción, y la captura de información de terreno.

## **2.2. COMUNICANDO Y CAPTURANDO INFORMACIÓN DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A NIVEL DE TERRENO**

Literatura acerca de comunicación en construcción se centra principalmente en la comunicación entre profesionales a nivel de dirección de proyectos, y entre otros actores como el mandante, diseñadores y constructor (Abudayyeh et al., 2006; Bakos, 1997; Gilleard y Gilleard, 2002; Hicks et al., 2002; Sriprasert y Dawood, 2002). La siguiente revisión se centra en la comunicación a nivel de terreno.

### **2.2.1. INSTRUCCIONES DE TRABAJO EN CONSTRUCCIÓN**

Literatura acerca del desarrollo de instrucciones de trabajo usando plataformas TIC es escasa, y sólo se aborda tangencialmente en algunas investigaciones o bien se presenta como una tendencia, indicando su potencial en la industria (Abudayyeh et al., 2004; Dawood et al., 2005; Fox y Hietanen, 2007; Sriprasert y Dawood, 2002).

La literatura y estado de la práctica contiene referencias acerca de algunas formas de comunicar instrucciones de trabajo como las hojas de asignación de trabajo (Oglesby et al., 1989; Serpell, 2002) y las instrucciones producidas por contratistas como parte de

“paquetes de trabajo” usados en algunas disciplinas como Piping (Kim y Ibbs, 1995). Hewage y Ruwanpura, (2009) desarrollaron una metodología de comunicación de información llamada “caseta de información” (*Information booth*). Proponen utilizar distintas TI como pantallas y computadores con conexión inalámbrica, dispositivos portátiles con cámara integrada, micrófonos, parlantes e impresoras inalámbricas para transmitir información de diseño y construcción a terreno en tiempo real. Estas referencias describen el uso de estos mecanismos de comunicación pero carecen de un estudio formal y de un análisis de su contenido y formato especializado.

En el campo de la manufactura, Agrawala et al. (2003) identifican varios principios para el diseño efectivo de instrucciones paso a paso. Estos principios vinculan el modelo conceptual del ensamblaje que tienen las personas, con la representación visual de esa tarea.

Mourgues y Fischer (2008) extienden estos principios y los criterios de comunicación efectiva de Emmitt y Gorse (2003) (i.e., clara, concisa, completa, libre de errores, significativa, relevante, precisa, y oportuna) para determinar las características de buenas instrucciones para construcción.

Con estas características, desarrollaron una plantilla de instrucciones de terreno y una metodología (Mourgues et al., 2012) para generar instrucciones de trabajo para construcción basada en herramientas VDC/BIM, conocida como FIPAPM (*Field Instructions from Product y Process Models*). El contenido y formato de las instrucciones de trabajo para construcción se formalizan en una plantilla de instrucciones

estandarizada. Esta instrucción obtiene la información almacenada en modelos digitales de procesos y de producto.

Actualmente las instrucciones de trabajo definidas por Mourgues y Fischer (2008) es el método más estructurado disponible en la literatura para comunicar información a los trabajadores. Sin embargo, estas instrucciones, y el método FIPAPM, no permiten la captura de información desde terreno una vez que la instrucción es entregada.

### **2.2.2. CAPTURA DE INFORMACIÓN DESDE TERRENO**

Tan et al. (2006) destacan la importancia y los beneficios de la captura y reutilización de información, durante el desarrollo de proyectos. Actualmente existen varios métodos para obtener información de terreno tales como inspección visual, encuestas en terreno, fotografías, hojas de inspección, reportes técnicos y solicitudes de información.

La mayor parte de esta recopilación de datos se realiza a través de formularios no estructurados, completados por personal de construcción. Trupp et al. (2004) profundiza acerca de tecnologías para capturar información de terreno. Por ejemplo la computación móvil (Saidi et al., 2002) es utilizada no sólo para acceder a información del proyecto, sino también para recoger datos de terreno, tales como dotación de personal y avance. El escáner laser 3D (Gray, 2006) es capaz de medir millones de puntos con su ubicación 3D exacta. Los datos escaneados generan información *as built* muy precisa para su análisis y control de proyectos. La fotogrametría digital de corto alcance (*Digital close-range photogrammetry*) (Streilein, 1994), utiliza fotos capturadas de distintos ángulos de un objeto para extraer una imagen 3D del mismo. Esta tecnología deriva medidas de

imágenes digitales de un objeto, en lugar de medir el objeto directamente. Identificación por Radio Frecuencia (*Radio Frequency Identification*, RFID) y el Sistema de posicionamiento global (*Global Positioning System*, GPS) (El-Omari y Moselhi, 2009; Skibniewski y Won-Suk, 2008) permite al personal de construcción hacer seguimiento de materiales y elementos constructivos desde la bodega o fábrica, hasta su instalación final.

Estos métodos permiten capturar información de distintos temas como control de calidad, avance de construcción, seguimiento de materiales, y evaluación de riesgos a distintos niveles de detalle. Algunos elementos de esta información se podrían usar para actualizar la información requerida para instrucciones de trabajo. Sin embargo estos elementos de información, no presentan una formalización que permita identificar fácilmente cambios en la información del proyecto.

En conclusión, la literatura reconoce la importancia de la captura y manejo de información desde terreno e identifica varios métodos de captura para diferentes propósitos. Sin embargo, ningún método propone un formato y contenido formalizado para obtener información de retroalimentación que permita actualizar la información de diseño y construcción usada para generar futuras instrucciones de trabajo.

Por lo tanto, existe la necesidad de extender el contenido y el formato de las instrucciones de trabajo existentes, incorporando la formalización de la retroalimentación. Esto permitirá utilizar las instrucciones de trabajo como medio de captura de información de retroalimentación desde el usuario en terreno. Esto transforma

las instrucciones en un medio bidireccional de comunicación de información de trabajo para construcción.

### **2.3. METODOLOGÍA**

Esta investigación incluye tres etapas principales: (1) la formalización de información de retroalimentación, generada durante la ejecución del trabajo en terreno; (2) la definición y validación de un medio bidireccional de comunicación basada en instrucciones de trabajo, y (3) la prueba de la información capturada a través de instrucciones bidireccionales de trabajo, para conocer su utilidad en la actualización de información de diseño.

La metodología considera la participación activa del investigador en un proyecto de construcción hospitalario durante 8 meses, y la evaluación cualitativa del impacto de su intervención. Adicionalmente se incluye la aplicación de una experiencia de laboratorio conocida como *The Charrette Test Method* (Clayton et al., 1998).

La participación en un proyecto permitió al investigador observar directamente a los trabajadores usando instrucciones en terreno. Estas observaciones y entrevistas realizadas al personal, proporcionaron el material para la formalización de la posible información de retroalimentación que los trabajadores pudieran generar durante su trabajo. La experiencia Charrette permitió probar la utilidad y eficacia de las instrucciones bidireccionales para realizar la actualización de información de diseño.

El caso de estudio corresponde a un proyecto hospitalario gubernamental de alta complejidad (100.000 m<sup>2</sup> aprox.). Aquí la empresa constructora utilizó BIM para la coordinación de disciplinas de construcción. La existencia del modelo BIM facilitó la generación de instrucciones de trabajo. Este estudio se enfoca sólo en la disciplina de climatización (*Heating, Ventilating and Air Conditioning, HVAC*), ya que incluir más disciplinas conlleva un esfuerzo y recursos más allá de lo disponible para esta investigación. Se optó por esta disciplina debido a su bajo desarrollo en prefabricación para montaje y a su gran importancia en la coordinación de especialidades dado el tamaño de los elementos involucrados (i.e., ductos).

## **2.4. FORMALIZACIÓN DE RETROALIMENTACIÓN**

Para observar el tipo de información que se podría capturar en terreno al utilizar instrucciones de trabajo diariamente, el investigador aplicó y validó las instrucciones generadas por FIPAPM en la especialidad de HVAC.

### **2.4.1. VALIDACIÓN DE METODOLOGÍA FIPAPM EN LA DISCIPLINA HVAC**

Mourgues et al. (2012) desarrolló y validó FIPAPM en el contexto de la disciplina de hormigonado in-situ en edificios habitacionales. Por otro lado, esta investigación se desarrolló en el contexto de la disciplina HVAC en un proyecto hospitalario. Esto hizo necesario validar el uso de FIPAPM en esta especialidad antes de desarrollar y validar una instrucción bidireccional.

La metodología de validación consistió de tres pasos: (1) Entrega de un total de 9 instrucciones de trabajo por parte del investigador de terreno, (2) observación del uso de las instrucciones por parte de 30 trabajadores distribuidos en 6 cuadrillas (representando el 90% del personal) y (3), al final de este período, la evaluación cualitativa del impacto de éstas con encuestas presenciales. El estudio incluyó a dos empresas de climatización trabajando en el proyecto.

Hay tres categorías de encuestados según su relación con las instrucciones: (1) Los supervisores o capataces de terreno, quienes definen y supervisan el trabajo de las distintas cuadrillas de construcción. Ellos conocían las instrucciones de trabajo antes de ser entregadas al personal de terreno para su uso. (2) Los trabajadores que utilizaron las instrucciones durante la ejecución de sus actividades (Usuarios de Instrucciones), quienes mostraron interés en participar de la investigación y mucha disposición. (3) Trabajadores que no usaron las instrucciones (No Usuarios de Instrucciones). Esta última categoría incluye tanto a los trabajadores que ejecutaban actividades para las que no se prepararon instrucciones, como a los trabajadores poco calificados que no podían leer o entender dibujos, y no presentaban mayor interés más que desarrollar su trabajo de forma mecánica.

La encuesta evaluó el impacto del uso de instrucciones de terreno en el trabajo diario comparativamente al uso de instrucciones verbales tradicionales. Se consideraron cinco categorías (seguridad, productividad, re trabajo, dudas en terreno, y general) usando una escala Likert (Norman 2010) con puntuación entre 1 y 5 puntos (Figura 2-1). 1 punto

representa un impacto muy negativo, 3 puntos es un impacto neutral y 5 puntos representa un impacto muy positivo. Impacto positivo significa que el encuestado percibe que el uso de instrucciones formales de terreno es mejor para el criterio evaluado, que la instrucción verbal.

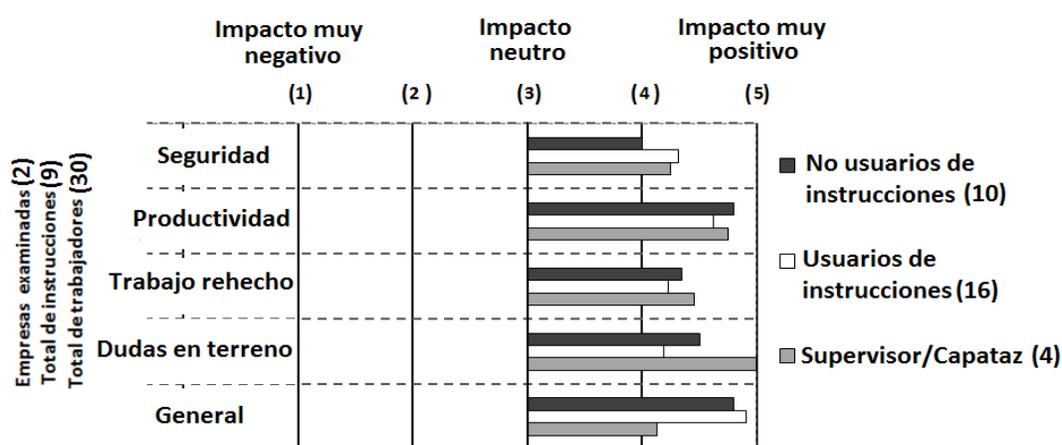


Figura 2-1: Resultados de validación de instrucciones (FI) en la disciplina HVAC.

Basado en estas valoraciones positivas, es posible concluir que la plantilla de instrucciones para terreno de FIPAPM, es mejor que las instrucciones tradicionales verbales en la disciplina de Climatización (HVAC). Por lo tanto, es válido llevar a cabo un estudio y desarrollo sobre esta disciplina usando FIPAPM como punto de partida.

### **2.4.2. FORMALIZACIÓN DE RETROALIMENTACIÓN A INSTRUCCIONES**

Durante la validación de FIPAPM para la disciplina HVAC, el investigador observo y registró el tipo de información de retroalimentación generada por los trabajadores mientras usaban instrucciones basadas en FIPAPM. Como se menciona anteriormente, esta retroalimentación está directamente asociada a la información entregada a los trabajadores (instrucciones de trabajo). Las instrucciones utilizadas (instrucciones FIPAPM) incluyen información acerca del alcance del trabajo, identifica los componentes constructivos requeridos e ilustra vistas de modelo relevantes. Además entrega las cantidades de materiales asociados, y describe los pasos constructivos para realizar una actividad según las mejores prácticas de la empresa de construcción.

Las observaciones del investigador en terreno identificaron varias instancias en que la información fue modificada, cuestionada o comentada. Estas observaciones incluyen: la necesidad de mayor detalles de construcción debido a inconsistencias del diseño, mayor cantidad de materiales o equipos requeridos en comparación con los valores originales, discrepancias en pasos constructivos; comentarios acerca del formato de la instrucción, y la necesidad de tener una comunicación formal con los supervisores de acerca de cambios en terreno y otros problemas que afectan la productividad, tales como interferencia entre contratistas o condiciones de seguridad e higiene de terreno.

Luego de este periodo de observación, el investigador de terreno entrevisto (entrevistas no estructuradas) al mismo grupo de trabajadores para validar y precisar las observaciones realizadas.

Por lo tanto, la formalización de retroalimentación de información que se propone a continuación, se basa en las observaciones del investigador de terreno y las entrevistas no estructuradas a los trabajadores.

**a) Cambios de diseño durante la ejecución del trabajo.**

- 1- Cambios dimensionales en los ejes X,Y y Z.
- 2- Cambios de materialidad de los elementos constructivos.
- 3- Cambios en detalles de diseño.

**b) Sugerencias del usuario de la instrucción.**

- 1- Sugerencias para modelos de procesos constructivos.
- 2- Sugerencias para configuración de la instrucción.

**c) Requerimientos por información deficiente.**

- 1- Especificaciones técnicas de construcción deficientes.
- 2- Falta de actualización de la información de diseño.
- 3- Falta de vistas de detalle para construcción.
- 4- Falta de herramientas y equipos de apoyo para construcción.
- 5- Cubicación o cantidad de materiales deficiente.

**d) Otras observaciones y condiciones de terreno.**

Esta formalización es la base de las instrucciones bidireccionales, ya que la incorporación de esta formalización en la plantilla de instrucciones permitirá la captura de retroalimentación directamente del usuario en terreno.

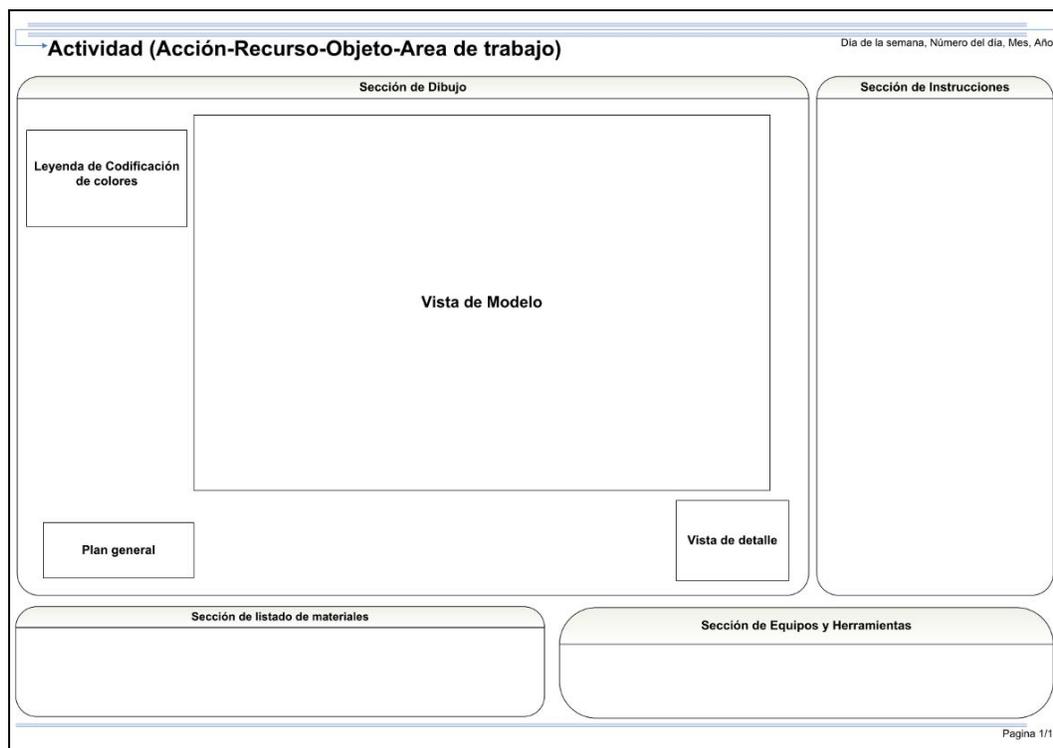
## **2.5. INSTRUCCIONES BIDIRECCIONALES DE TRABAJO**

Las instrucciones bidireccionales de trabajo fueron desarrolladas en base a la metodología FIPAPM. Esta sección describe los cambios y extensiones propuestos a la plantilla de instrucciones de FIPAPM, basados en la formalización de información de

retroalimentación presentada anteriormente. Mourgues y Fischer (2008) describen la plantilla de instrucciones FIPAPM en detalle.

### **2.5.1. CAMBIOS EN LA PLANTILLA DE INSTRUCCIONES**

La Figura 2-2 ilustra la plantilla de instrucciones de trabajo de FIPAPM, donde se identifican cuatro secciones: Dibujo, instrucciones, equipos y herramientas, y listado de materiales. (BOM). Estas secciones agrupan la información de diseño extraída de los modelos de producto y proceso. Su diseño permite contener la información para el trabajo de una cuadrilla en formato de papel A3 u 11”x17”, al igual que los métodos para apoyar la comunicación en los procesos *lean* (Rafferty, 2009). Eventualmente, la instrucción puede incluir trabajo para una unidad de tiempo mayor o menor a un día.



Actividad (Acción-Recurso-Objeto-Area de trabajo) Día de la semana, Número del día, Mes, Año

**Sección de Dibujo**

Leyenda de Codificación de colores

Vista de Modelo

Plan general Vista de detalle

**Sección de Instrucciones**

**Sección de listado de materiales** **Sección de Equipos y Herramientas**

Página 1/1

Figura 2-2: Plantilla de instrucciones de trabajo.

La Figura 2-3 ilustra el anverso de la plantilla de instrucción bidireccional indicando las secciones de la plantilla FIPAPM que incluyen modificaciones. Estos cambios extienden las secciones originales para incluir información de retroalimentación y permitir su captura desde terreno por los trabajadores.

Actividad (Acción-Recurso-Objeto-Area de trabajo)		Dia de la semana, Número del día, Mes, Año			
<p><b>Sección de Dibujo</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"> <p><b>Leyenda de Codificación de Colores</b> (Codificación de captura desde terreno)</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;"> <p><b>Vista de Modelo</b> (Ingreso de modificaciones geométricas)</p> </div> <div style="width: 20%;"> <p><b>Sección de Instrucciones</b></p> <p>Numeración correlativa de pasos constructivos y uso de ID</p> <p>1.....(ID=i)</p> <p>2.....(ID=j)</p> <p>3.....(ID=i)</p> <p>4.....(ID=jk)</p> <p>5.....(ID=...)</p> <p>6.....(ID=...)</p> <p>7.....(ID=...)</p> <p>...</p> <p>..</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Escala sección de dibujo</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Plan general</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Vista de detalle</div> </div>		<p><b>Sección de listado de materiales</b></p> <p>Material – Cantidad - Uso real</p>		<p><b>Sección de Equipos y Herramientas</b></p>	
* Plantilla de instrucción bidireccional de trabajo FIPAPM (Simón Torreba © 2011), basada en metodología FIPAPM (Mourgues © 2008), Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile					
Página 1/2					

Figura 2-3: Anverso de la plantilla de instrucciones bidireccional.

La nueva sección de Dibujo permite capturar cambios de diseño, durante la ejecución del trabajo. Cambios dimensionales de tipo horizontal (ejes X e Y) se deben indicar directamente en la sección “vista de modelo”, y modificaciones de tipo vertical o de elevación (eje Z), se registran en la “leyenda de colores” de la sección, identificando nuevas cotas en los elementos constructivos. En esta sección, también es posible identificar cambios en las “vistas de detalle” con las mismas reglas.

En la Figura 2-4 A) se ilustra la codificación de colores regular de FIPAPM, la parte B) indica la sección propuesta para capturar información en la plantilla bidireccional, y finalmente la parte C) muestra un ejemplo práctico de su uso.

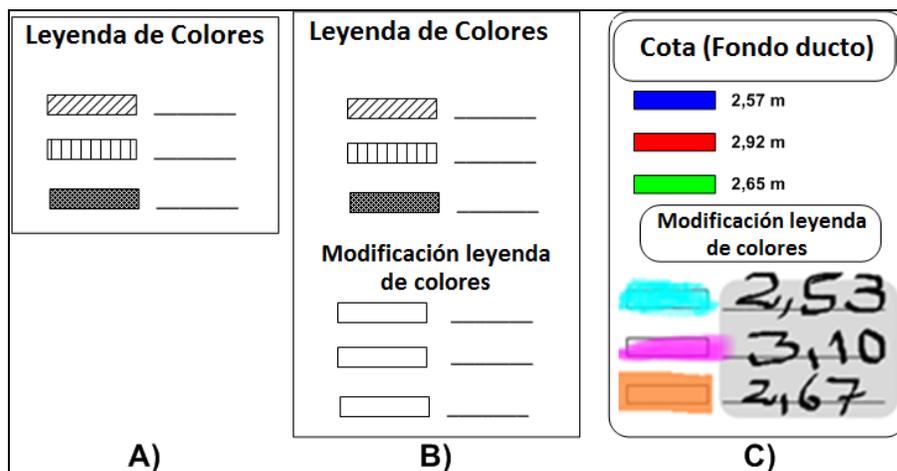


Figura 2-4: A) Leyenda de colores FIPAPM B) Leyenda de colores bidireccional C) Ejemplo de uso en HVAC.

En la nueva sección de “instrucciones”, se incluye un identificador (ID) que permite el seguimiento de los pasos constructivos según el modelo de procesos asociados a cada actividad. Esto facilita una posible actualización de los modelos con las sugerencias del usuario de la instrucción, ya que se indica cada paso con un código único (ver sección 2.5.2).

La nueva sección de “listado de materiales” permite a los trabajadores indicar inexactitudes de la especificación de la cantidad de materiales requeridos. La Figura 2-5 ilustra un ejemplo práctico de la sección de “listado de materiales” donde los trabajadores pueden indicar su uso actual. Las discrepancias entre los listados de materiales y su uso actual, puede indicar problemas con los métodos de cubicación o bien con el uso de materiales en terreno.

listado de materiales		
	Cantidad	Uso actual
Pernos:	598	750
Tuercas:	1320	1485
HVAC Clips:	313	390

Figura 2-5: Ejemplo de uso sección Listado de Materiales.

### 2.5.2. NUEVAS SECCIONES DE LA PLANTILLA

La Figura 2-6 describe las tres nuevas secciones de información que se agregan al reverso del formato de la plantilla de instrucciones de trabajo: Sugerencias para la sección de instrucciones, Sugerencias para la sección de Dibujo, e información adicional. Estas secciones permiten completar la formalización de captura de información de terreno según la estructura de la sección 2.4.2.

Información de Terreno		Información Adicional
<p><b>Sugerencias para la sección de instrucciones</b></p> <p>Para mejorar las instrucciones de trabajo seleccione (M) ó (A):</p> <p>M.- Modificar <input type="checkbox"/> Paso constructivo N° <input type="checkbox"/></p> <p>A.- Agregar después de <input type="checkbox"/></p> <p>Descripción: _____ Dibujo de ayuda visual _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>¿Necesita una vista de detalle para construir? <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO</p> <p>¿Necesita herramienta(s) o equipo(s) adicional(es)? <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO</p> <p>¿Cuáles? _____</p>	<p><b>Sugerencias para la sección de Dibujo</b></p> <p><b>Plano (Vista de modelo) n° 1</b></p> <p>¿Qué tipo de vista de plano prefiere y es más clara para trabajar?</p> <p>A.- Vista disponible 1 <input type="checkbox"/></p> <p>B.- Vista disponible 2 <input type="checkbox"/></p> <p>C.- Vista disponible 3 <input type="checkbox"/></p> <p>¿Qué tipo de escala prefiere para la vista seleccionada?</p> <p>A.- Escala X <input type="checkbox"/></p> <p>B.- Escala Y <input type="checkbox"/></p> <p>C.- Escala Z <input type="checkbox"/></p> <p>¿Qué contenido debería incluir la vista de plano para ayudar a su trabajo?</p> <p>Indique (M) para mostrar y (O) para ocultar:</p> <p>A.- Elemento constructivo 1 <input type="checkbox"/></p> <p>B.- Elemento constructivo 2 <input type="checkbox"/></p> <p>C.- Elemento constructivo 3 <input type="checkbox"/></p>	<p><b>Observaciones y Notas de:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Seguridad <input type="checkbox"/> Calidad <input type="checkbox"/> Condiciones de terreno</p> <p><input type="checkbox"/> Condiciones laborales <input type="checkbox"/> Otra: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p><b>integrantes de cuadrilla</b></p> <p>1. _____</p> <p>2. _____</p> <p>... _____</p> <p>n. _____</p>
<small>* Plantilla de instrucción bidireccional de trabajo BFIPAPM (Simón Torrealba © 2011) LL basada en metodología FIPAPM (Mourguet © 2009). Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile</small>		<small>Página 2/2</small>

Figura 2-6: Reverso de la plantilla de instrucciones bidireccional.

**Sugerencias para la sección de instrucciones (Figura 2-7):** Esta sección permite capturar sugerencias del usuario de la instrucción con respecto a los pasos constructivos originalmente especificados en la sección “instrucciones”. Adicionalmente, permite hacer requerimientos por información deficiente de vistas de detalle, y herramientas o equipos. Es importante notar que la metodología FIPAPM genera estos pasos a partir de modelos de procesos constructivos que reflejan las mejores prácticas de la empresa. Por lo tanto, cuando un trabajador cree que estas prácticas se pueden mejorar, puede proponer agregar (A) o modificar (M) pasos constructivos, generar apoyo visual para la comprensión de un paso, solicitar vista de detalle para construcción asociadas a un paso, y especificar la necesidad de alguna herramienta/equipo adicional para completar la tarea. Estas modificaciones serán revisadas por el grupo de expertos de construcción de la empresa usuaria de la instrucción para evaluar si se incluirán en el modelo de

procesos constructivos de la empresa. La Figura 2-7 ilustra en detalle esta sección con sus componentes. Esta sección considera la numeración correlativa incluida en los pasos constructivos al anverso de la instrucción para identificar la sugerencia.

**Sugerencias Para la Sección de Instrucciones**

Para mejorar las instrucciones de trabajo seleccione (M) ó (A):

M.- Modificar		Paso constructivo N°
A.- Agregar después de		

Descripción: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Dibujo de ayuda visual

¿Necesita una vista de detalle para construir?  SI  NO

¿Necesita herramienta(s) o equipo(s) adicional(es)?  SI  NO

¿Cuál(es)? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Figura 2-7: Detalle de la sección “Sugerencias para instrucciones”.

**Sugerencias para la sección de Dibujo** (Figura 2-8): Esta sección permite capturar sugerencias del usuario con respecto al contenido y formato de la vista de modelo (en la sección “Dibujo” de la instrucción) para mejorar la comprensión de la misma. La sección ofrece alternativas de vistas de modelo disponibles (secciones, elevaciones, vistas de planta, cielo reflejado, entre otras), la escala que mejor ayuda a comprender esta información (1:25, 1:50, 1:100, etc.), y finalmente los elementos constructivos que se prefiere mostrar (M) u ocultar (O) en vistas futuras. Estos elementos constructivos pueden pertenecer a la especialidad de la instrucción (HVAC, en este caso) u otra, de forma que apoye la ejecución del trabajo descrito en la instrucción (por ej., artefactos sanitarios, tabique, red de agua potable, etc.). La Figura 2-8 A) ilustra los detalles esta sección, mientras que la parte B) muestra un ejemplo práctico de su uso.

Sugerencias para la sección de Dibujo	Sugerencias para la sección de Dibujo
<p><b>Plano (Vista de modelo) n° 1</b></p> <p>¿Qué tipo de vista de plano prefiere y es más clara para trabajar?</p> <p>A.- Vista disponible 1 <input type="checkbox"/></p> <p>B.- Vista disponible 2 <input type="checkbox"/></p> <p>C.- Vista disponible 3 <input type="checkbox"/></p>	<p><b>Plano (Vista de modelo) n°1</b></p> <p>¿Qué tipo de vista de plano prefiere y es más clara para trabajar ?</p> <p>A.- Planta 1 <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>B.- Elevación perfil2 <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>C.- Corte Sección A-A <input type="checkbox"/></p>
<p>¿Qué tipo de escala prefiere para la vista seleccionada?</p> <p>A.- Escala X <input type="checkbox"/></p> <p>B.- Escala Y <input type="checkbox"/></p> <p>C.- Escala Z <input type="checkbox"/></p>	<p>¿Qué tipo de escala prefiere para la vista seleccionada?</p> <p>A.- 1:100 <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>B.- 1:50 <input type="checkbox"/></p> <p>C.- 1:25 <input type="checkbox"/></p>
<p>¿Qué contenido debería incluir la vista de plano para ayudar a su trabajo?</p> <p>Indique (M) para mostrar y (O) para ocultar:</p> <p>A.- Elemento constructivo 1 <input type="checkbox"/></p> <p>B.- Elemento constructivo 2 <input type="checkbox"/></p> <p>C.- Elemento constructivo 3 <input type="checkbox"/></p>	<p>¿Qué contenido debería incluir la vista de plano para ayudar a su trabajo?</p> <p>Indique (M) para mostrar y (O) para ocultar</p> <p>A.- Muros <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>B.- Vigas y Columnas <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>C.- Escalerillas Eléctricas <input checked="" type="checkbox"/></p>
<b>A)</b>	<b>B)</b>

Figura 2-8: A) Sugerencias para la sección de Dibujo B) Ejemplo.

**Información adicional** (Figura 2-9): Esta sección permite la captura de otras observaciones y condiciones de terreno. Esta información ayuda a comprender y mejorar algunos problemas de construcción, identificar responsabilidades, alcances, y hacer seguimiento a otros aspectos que pueden ser relevantes para el proyecto. El impacto que pueda tener esta información está directamente relacionado con el interés que se le otorgue en cada organización en materia de seguridad, calidad, recursos humanos, condiciones de terreno, entre otros. Esta información también puede ser revisada por el grupo de expertos de construcción de la empresa y evaluar si podría generar cambios en sus mejores prácticas constructivas. Esta investigación no profundiza en los beneficios o utilidad que se le pueda otorgar a esta sección.

**Información Adicional**

Observaciones y Notas de:

Seguridad     Calidad     Condiciones de terreno  
 Condiciones laborales     Otra: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Figura 2-9: Sección de información adicional.

## **2.6. ACTUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**

Si bien el alcance de esta investigación no incluye el desarrollo de una metodología de actualización de la información de diseño y construcción usando información capturada en terreno, se llevo a cabo una prueba para ejemplificar este proceso y evaluar el impacto de usar información de retroalimentación capturada con las instrucciones bidireccionales propuestas. Para esta prueba, se utilizó FIPAPM como metodología base, donde la información de diseño y construcción está contenida en modelos de producto y proceso. El modelo de procesos constructivos incluye las mejores prácticas constructivas de una empresa y define el formato de la instrucción de trabajo. El modelo 3D incluye información de diseño.

### **2.6.1. ACTUALIZACIÓN DEL MODELO DE PROCESOS**

Mourgues y Fischer (2008) sugieren que estos modelos deben ser desarrollados por un grupo de expertos de construcción, y que deben ser revisados y actualizados por lo

menos cada 6 meses o cada vez que se introduce una nueva tecnología, regulación o procedimiento de trabajo en la empresa.

La información capturada desde terreno utilizando una instrucción bidireccional, considera sugerencias para mejorar pasos constructivos y configuración de la vista de modelo, lo que afecta directamente al modelo de procesos constructivos concebido para FIPAPM. La actualización de esta información en el modelo de proceso está sujeta a la revisión, edición y aprobación final por parte del grupo de expertos de la organización. Esto hace que el proceso de actualización sea bastante personalizado por lo que no entregaría mucho valor el testear la actualización a partir de la información capturada con las instrucciones bidireccionales. Esto nos llevó a testear sólo la actualización del modelo de producto.

### **2.6.2. ACTUALIZACIÓN DEL MODELO DE PRODUCTO**

Realizamos una experiencia de laboratorio conocida como “*The Charrette Test Method*” (Clayton et al., 1998) para probar que la información de retroalimentación capturada con instrucciones bidireccionales puede ser utilizada para actualizar información de diseño contenida en un modelo de producto. Esta experiencia permite evaluar el proceso de actualización en un ambiente controlado.

La Charrette consistió en comparar el desempeño de dos grupos de sujetos al actualizar modelos de producto 3D.

Un grupo realizó actualizaciones con información recopilada a través de instrucciones bidireccionales de trabajo (método propuesto). El otro grupo - grupo de control - contaba

con instrumentos tradicionales de información como órdenes de cambio y acceso al capataz con información informal (método base). El investigador jugó el rol de capataz durante el ejercicio. Los instrumentos tradicionales de información entregaron datos con algunos problemas de calidad (información incompleta, poco precisa, no oportuna y con errores) para reflejar problemas típicos de la comunicación en terreno. Estos problemas de calidad de la información fueron muy escasos y validado por profesionales de terreno.

Los participantes de la Charrette corresponden a catorce estudiantes avanzados en sus estudios de Ingeniería Civil. Los sujetos tenían en promedio 19 horas de modelación con la herramienta BIM utilizada en la Charrette para realizar actualizaciones en el modelo de producto 3D (Autodesk Revit Architecture® 2010). Los estudiantes estaban autorizados a hacer consultas verbales acerca de la información capturada de terreno y del uso de la herramienta BIM. La experiencia se llevó a cabo en dos sesiones con tiempo limitado a 80 minutos. Los sujetos completaron 3 actualizaciones con cada uno de los métodos, por lo tanto, generaron 42 modelos 3D procedentes de la misma fuente.

Las métricas de comparación de desempeño son dos: (1) Esfuerzo de actualización, medido en el tiempo usado para realizar las actualizaciones; y (2) la calidad de las actualizaciones realizadas por los usuarios, obtenida según la evaluación de los criterios indicados en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1: Criterios para evaluar la calidad de las actualizaciones de modelo.

<b>Criterio</b>	<b>Definición</b>	<b>Referencia</b>
<i>Precisión</i>	Describe la precisión de los datos de entrada después de haber realizado el proceso de ingreso en las fuentes de información, en nuestro caso en los modelos de producto.  El grado en el que el dato tiene atributos que representan correctamente el valor verdadero del atributo instanciado en un concepto o evento en un contexto específico de uso. En este caso la precisión de la ubicación de los elementos constructivos luego de la actualización con los cambios capturados de terreno.	(Jarke et al., 1999) (ISO/IEC 25012, 2008)
<i>Compleitud</i>	Los datos son completos si no les falta una parte de información considerada para un elemento o instancia.  Para esta evaluación se considera que estén los cambios completos, sin importar precisión y correctitud de los mismos.	(Gomes et al., 2007) (ISO/IEC 25012, 2008)
<i>Correctitud</i>	Los datos son correctos si transmiten declaraciones léxica, sintáctica y semánticamente correctas. Para la evaluación se consideran correctos si representan los cambios y actualizaciones según la captura realizada.	(Gomes et al., 2007)

La Figura 2-10 muestra los resultados del esfuerzo de actualización para cada método, indica el valor promedio y su desviación estándar del tiempo gastado en las actualizaciones. Ambos valores, el promedio y la desviación estándar, son mayores para el método propuesto. Esta tendencia era esperada ya que las instrucciones bidireccionales incluyen más información y con mayor nivel de detalle que los instrumentos tradicionales de información utilizados en el método base.

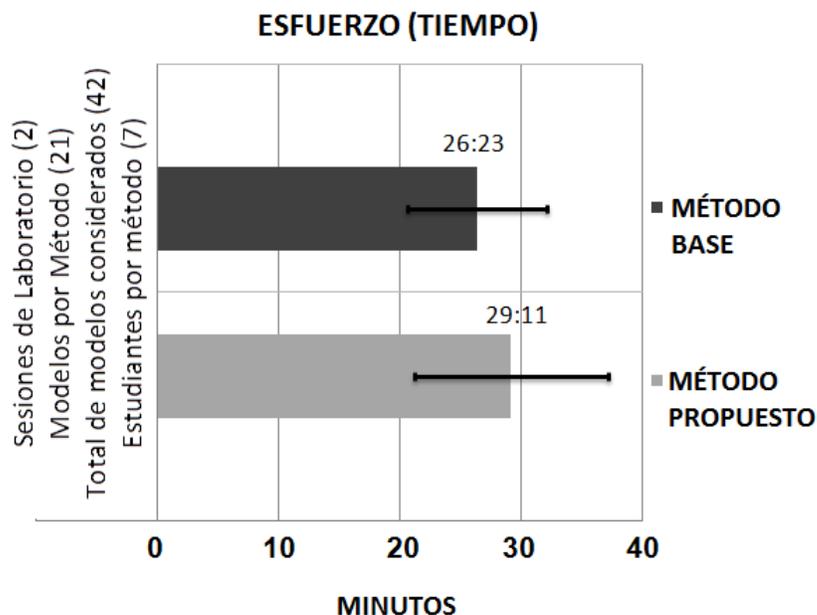


Figura 2-10: Esfuerzo para actualizar el modelo de producto

La segunda métrica de comparación es la calidad de las actualizaciones de modelo, que se define con tres criterios, de acuerdo a la revisión de literatura (Tabla 2-1). El investigador evaluó estos criterios cualitativamente utilizando una escala de 0 a 3 puntos, donde cero indica que el criterio no se cumplió y tres, que se cumplió plenamente. Por lo tanto, la evaluación de la calidad corresponde al promedio de la puntuación obtenida en cada criterio.

La Figura 2-11 resume los resultados de esta evaluación. Las actualizaciones realizadas con el método propuesto (utilizando información de retroalimentación capturada formalmente) son claramente y consistentemente superiores en calidad que los cambios realizados con el método de base. Por otro lado, las desviaciones estándar (líneas sobre cada barra) son menores para el método propuesto.

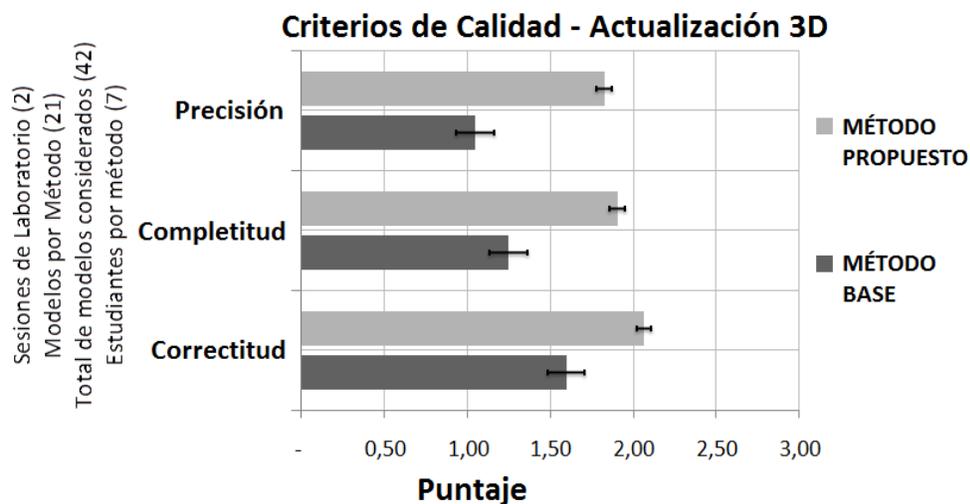


Figura 2-11: Puntuación de criterios de calidad para la actualización 3D.

Es importante destacar que el método propuesto si bien alcanza puntajes superiores, no llega al valor máximo (3). Esto puede deberse a problemas de legibilidad de la información escrita a mano en la plantilla, o a la corta inducción que tuvieron los sujetos de la Charrette con el formato de la instrucción bidireccional.

Para dar validez estadística a los resultados obtenidos y dado que se cuenta menos de 30 observaciones, se analizaron los datos estadísticamente usando la prueba T de *Student* para muestras independientes (datos no relacionados) (Pértega y Pita, 2001). Esto probó que la calidad de las actualizaciones de modelos de producto 3D realizadas con ayuda de instrucciones bidireccionales, es superior a la del método base con más de 90% de confianza.

## **2.7. VALIDACION DE LA PLANTILLA BIDIRECCIONAL Y PRINCIPALES RESULTADOS**

La naturaleza dinámica, compleja y de alta variabilidad del proyecto hizo muy difícil obtener datos confiables y con el nivel de detalle apropiado para una validación cuantitativa del impacto de las instrucciones bidireccionales. Por este motivo, validamos su impacto a través de la evaluación cualitativa realizando entrevistas estructuradas.

La validación del contenido y formato de la instrucción bidireccional consistió de tres pasos: (1) Entrega de 8 instrucciones bidireccionales de trabajo durante dos semanas para el proyecto de estudio, (2) observación del uso de las instrucciones por parte de 30 trabajadores distribuidos en 6 cuadrillas para ejecutar la construcción, y (3) la evaluación del impacto de estas instrucciones.

La muestra de los trabajadores entrevistados es similar a los que participaron en la validación FIPAPM para la disciplina HVAC (sección 2.4.1).

Esta validación también considera tres categorías de encuestados según su relación con las instrucciones: (1) los supervisores o capataces de terreno, (2) trabajadores que utilizaron las instrucciones durante la ejecución de sus actividades y (3) trabajadores que no usaron las instrucciones debido a su escasa calificación y falta de interés Esta categoría es considerada ya que puede representar una distorsión de los datos obtenidos, por lo tanto su observación y análisis puede ayudar a tener un panorama más acabado y representativo de la validación.

La encuesta contiene 3 preguntas iniciales que buscan evaluar la percepción de los encuestados sobre el uso de las instrucciones bidireccionales de terreno en tres aspectos: (1) su percepción general acerca del uso, (2) acerca de su contenido y (3) acerca de su formato. Las respuestas se midieron usando una escala Likert de puntuación entre 1 y 5 puntos, donde 5 representa un impacto muy positivo. Impacto positivo significa que el encuestado tiene una percepción favorable con respecto al criterio consultado. La Figura 2-12 presenta los resultados obtenidos de la encuesta.

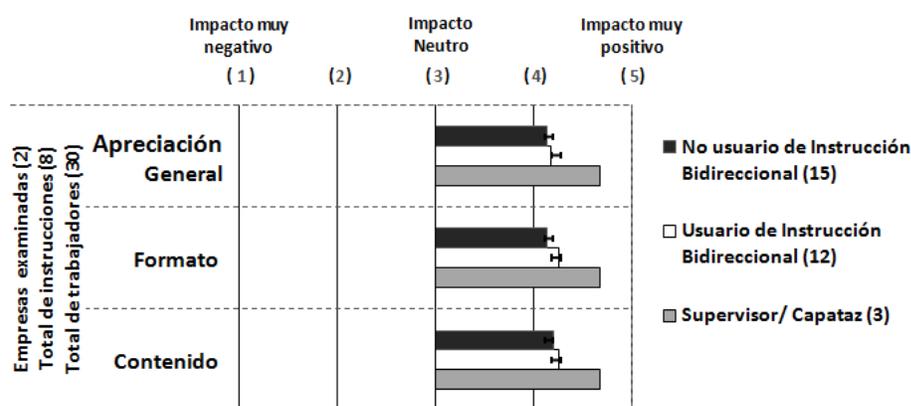


Figura 2-12: Resultados de la validación de instrucciones bidireccionales para la disciplina HVAC.

Los entrevistados tuvieron evaluaciones positivas para las tres categorías consideradas. Es interesante notar, que el superintendente / capataz evaluó los impactos considerablemente mejor que los obreros. Esto puede deberse a su capacidad para apreciar estratégicamente los impactos de las instrucciones. Sobre la base de estas

valoraciones positivas, es posible concluir que el contenido y el formato de la plantilla de instrucción bidireccional son válidos para ser utilizada en la disciplina HVAC.

Además, la entrevista incluyó dos preguntas para evaluar cómo el uso de estas instrucciones afectado la satisfacción de los trabajadores. Todos los entrevistados consideran que las instrucciones bidireccionales mejoran su satisfacción laboral ya que pueden convertirse en un medio de comunicación oficial para los trabajadores que muchas veces no tienen esta oportunidad. En este sentido, el 93% de los entrevistados declaró que, en la actualidad, no existen instancias para comunicar formalmente algunos aspectos del trabajo a la administración

## **2.8. CONCLUSIONES**

Esta investigación formaliza la información de retroalimentación generada en terreno a partir del uso de instrucciones de trabajo para construcción. Además, en base a esta formalización y a la plantilla de instrucciones utilizada por FIPAPM, esta investigación propone una plantilla de instrucciones bidireccionales capaz de capturar y transmitir información a la administración. Esto permitirá a los contratistas registrar cambios y comentarios generados en terreno, y propiciar la actualización de información de diseño que origina las instrucciones de trabajo.

### **2.8.1. CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO**

Este trabajo presenta dos contribuciones al área de gestión de la información de construcción: una formalización de retroalimentación a instrucciones de trabajo, y una plantilla de instrucciones bidireccionales para la captura de esa retroalimentación.

La formalización propuesta en este estudio extiende la formalización de la información de diseño y construcción entregada a los trabajadores (instrucciones de trabajo) propuesto por Mourgues y Fischer (2008). Esta formalización puede ser utilizada por otros investigadores para profundizar la comprensión de la información de retroalimentación de terreno, y por desarrolladores de tecnología para habilitar la automatización en la captura y manejo de esta información.

La plantilla de instrucciones bidireccionales propone un formato y contenido concreto en el que se integran la formalización de instrucciones de trabajo propuestas por Mourgues y Fischer (2008), y la formalización de retroalimentación propuesta por este estudio.

### **2.8.2. VALOR PRÁCTICO**

**Mejorar comunicación en terreno:** La generación y uso de instrucciones de trabajo bidireccionales tiene una connotación positiva en la comunicación organizacional de la industria, ya que se abre un puente entre personal de terreno y personal administrativo. Permite a los trabajadores realizar comentarios acerca de la calidad de lo construido, de los materiales utilizados, reportar problemas y observaciones con respecto al lugar de trabajo, el estado de los equipos y de la limpieza, entre otros.

**Mejora continua al contenido y formato de las instrucciones de trabajo:** La actualización de información de diseño y construcción en los modelos digitales asociados, permiten mejorar la plantilla (contenido y formato de la instrucción). Además, se puede identificar problemas en la información entregada oportunamente, para generar instrucciones consistentes, correctas y de mejor calidad en el futuro.

**Actualizar el conocimiento de la empresa (*know how*):** La actualización de información de construcción, permite a la empresa revisar y actualizar las buenas prácticas de construcción.

**Actualizar los modelos de producto (3D) durante la construcción:** Las instrucciones bidireccionales permiten capturar cambios de diseño realizados durante la ejecución de la obra directamente desde su fuente (información *As-Built*). Estos cambios no se basan sólo en las órdenes de cambio oficiales del proyecto, sino también sobre información informal como *field sketches*, *redlines drawings* o errores de construcción. Esta información acerca de cambios, reduce latencias de espera y desafíos de actualizar y generar esta información una vez terminado el proyecto de construcción.

**Identificar oportunamente puntos de conflicto:** Las instrucciones bidireccionales también permiten capturar información relativa a productividad, calidad, seguridad, entre otras. Por ejemplo si otro contratista está trabajando en la misma área de trabajo o no se cuenta con electricidad, entre otros. Con esta herramienta, los administradores pueden precisar causas, mejorar planificación y hacer seguimiento a problemas de coordinación.

Otras implicancias prácticas identificadas por los supervisores durante el uso de instrucciones bidireccionales, es que permite identificar las obras extraordinarias realizadas y el trabajo rehecho por problemas de calidad. También sirve como comprobante de lo efectivamente comunicado al trabajador.

### **2.8.3. LIMITACIONES**

La formalización de la retroalimentación y validación de la plantilla de instrucciones bidireccionales se centró en la disciplina HVAC, considerando un universo de 30 individuos, de dos empresas contratistas, en un proyecto hospitalario. Además, la validación realizada fue de carácter cualitativo. Estas características limitan el alcance del trabajo presentado.

Por otro lado, la prueba realizada para actualizar modelos de producto 3D a partir de instrucciones bidireccionales de trabajo, se basa en la información que ingresan los usuarios. Por lo tanto, la precisión, legibilidad y comprensión de lo que se quiere expresar desde terreno, puede verse afectado por problemas de entendimiento. No incluimos la prueba de la actualización de modelos de procesos en este trabajo ya que esta actualización no tiene límite de tiempo definido e intervienen múltiples actores por lo que su evaluación es compleja.

### **2.8.4. OTRAS CONSIDERACIONES**

Las instrucciones de trabajo basadas en modelos de procesos y de producto (instrucciones FIPAPM), fueron desarrolladas para cubrir un alcance de trabajo y una frecuencia de entrega diaria. Además, se utiliza papel de entrega formato A3, al igual que el método para apoyar la comunicación en los procesos *lean* (Rafferty, 2009). Sin embargo, es posible definir una frecuencia y formato de entrega óptima para cada organización y disciplina.

Para implementar el uso de instrucciones bidireccionales en una organización, es importante considerar los siguientes puntos.

- La implementación debe incluir una etapa de inducción al personal de terreno y administrativo, definiendo los alcances y requerimientos de cada participante. El administrador de la instrucción bidireccional en terreno, debe tener un nivel educacional mínimo para incluir información desde terreno de manera comprensible.
- Las instrucciones se deben devolver a la administración para realizar la actualización de modelos con una frecuencia consistente con la duración del alcance de trabajo contenido en la instrucción. En oficina debe existir un administrador de esta información, que realice la actualización de los modelos de producto 3D y envíe a revisión las sugerencias para modelos de procesos. Además, debe ser capaz de producir instrucciones bidireccionales de trabajo para el periodo siguiente.

#### **2.8.5. INVESTIGACIÓN PROPUESTA**

El potencial desarrollo en el área de las comunicaciones in-situ para construcción es muy amplia y el aporte de esta investigación puede significar un importante punto de partida para futuras investigaciones. Algunas sugerencias en esta línea se explican a continuación.

- Extender y complementar esta investigación con una validación cuantitativa de la formalización de la información de retroalimentación, e incluir otras disciplinas de construcción. Generalizar esta investigación con el fin de abordar las diferencias entre las especialidades en vez de desarrollar nuevas plantillas y esquemas de información para cada disciplina.

- Estudiar la mejor tecnología de entrega de instrucciones bidireccionales de trabajo para optimizar la captura de información (papel, documentos digitales, PDA, Tablet u otros).
- Automatizar una metodología de generación de instrucciones bidireccionales, tanto como las metodologías de actualización de modelos a fin de facilitar su implementación en organizaciones.
- Estudiar la mejor forma de implementación de estas instrucciones al interior de una organización, y desarrollar una pauta que optimice su funcionamiento y minimice externalidades negativas asociadas a la resistencia al cambio de las empresas.
- Actualmente existen varias herramientas y tecnologías que han abierto posibilidades para procesar y capturar información desde terreno de manera precisa y oportuna. Se recomienda estudiar la integración y combinación de tecnologías para desarrollar una herramienta práctica que ayude a la correcta ejecución de la construcción en terreno con información de alta calidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abudayyeh, O.; Dibert DeYoung, A.; Jaselskis, E. 2004. Analysis of trends in construction research: 1985-2002, *Journal of Construction Engineering and Management*, 130(3): 433-439.
- Abudayyeh, O.; Dibert DeYoung, A.; Rasdorf, W.; Melhem, H. 2006. Research publication trends and topics in computing in civil engineering, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 20(1): 2-12.
- Agrawala, M.; Phan, D.; Heiser, J.; Haynaker, J.; Klingner, J.; Hanrahan, P.; Tversky, B. 2003. Designing effective step-by-step assembly instructions, *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 22(3): 828-837.
- Alarcón, L. F., Mourgues, C., O’Ryan, C., Fischer, M. 2010. Designing a benchmarking platform to select VDC/BIM implementation Strategies , in *CIB W78 2010 - Applications of IT in the AEC Industry, 27th International Conference –Cairo, Egypt, November, 2010*.
- Bakos, J. 1997. Communication skills for the 21st century, *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 123(1): 14-16.
- Clayton, M., Kunz, J., Fischer, M. 1998. The charrette test method, *CIFE Technical Report No. 120*, Center For Integrated Facility Engineering, Stanford University, USA.
- Dai, J.; Goodrum, P.; Maloney, W. 2007. Analysis of craft workers' and foremen's perceptions of the factors affecting construction labour productivity, *Construction Management and Economics*, 25(11): 1139-1152.
- Dawood, N.; Akinsola, A.; Hobbs, B. 2002. Development of automated communication of system for managing site information using internet technology, *Automation in Construction*, 11(5): 557-572.
- Dawood, N.; Sriprasert, E.; Mallasi, Z.; Scott, D. 2005. An industrial evaluation of the virtual construction site (VIRCON) tools, *ITcon*, 10: 43-54.
- Eastman, C.; Teicholz, P.; Sacks, R.; Liston, K. 2008. BIM handbook introduction. In *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, architects, engineers, contractors, and fabricators*. 1<sup>st</sup> ed., pp. 1-63. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- El-Omari, S. and Moselhi, O. 2011. Integrating automated data acquisition technologies for progress reporting of construction projects, *Automations in Construction*, 20: 699-705.

Emmitt, S.; Gorse, C. 2003. *Construction communication*. 1<sup>st</sup> ed. Oxford: Blackwell Publishing

Fox, S. and Hietanen, J. 2007. Interorganizational use of building information models: Potential for automational, informational and transformational effects, *Construction Management and Economics*, 25(3): 289-296.

Gilleard, J. and Gilleard, J. 2002. Developing cross-cultural communication skills, *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 128(4): 187-200.

Gomes, P.; Farinha, J.; Trigueiros, M. J. 2007. A data quality metamodel extension to CWM, *APCCM '07 Proceedings of the Fourth Asia-Pacific Conference on Conceptual Modelling*, 67: 17-26.

C. Gray. , 2011, Performing classic as-builts with laser scanning, *Professional Surveyor Magazine*. 161 [cited Sept 04, 2011]. Available from internet: <http://www.profsurv.com/magazine/article.aspx?i=1557>

Hewage, K. and Ruwanpura, J. 2009. A novel solution for construction on-site communication - the information booth. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 36(4): 659-671.

Hicks, B.; Culley, S.; Allen, R.; Mullineux, G. 2002. A framework for the requirements of capturing, storing and reusing information and knowledge in engineering design, *International Journal of Information Management*, 22(4): 263-280.

Hoezen, M., Reymen, I., Dewulf, G. 2006. The problem of communication in construction, in *CIB W96 Adaptable Conference, Eindhoven, Netherlands, July 3-5, 2006*.

ISO/IEC 25012:2008, Software Engineering - Software Product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Data Quality Model, ISO/IEC 25012. (2008).

Jarke, M.; Jeusfeld, M. A.; Quix, C.; Vassiliadis, P. 1999. Architecture and quality in data warehouses - an extended repository approach . *10th International Conference on Advanced Information Systems Engineering*, 24(3): 229-253.

Kim, J. and Ibbs, C. 1995. Work-Package-Process model for piping construction, *Journal of Construction Engineering and Management*, 121(4): 381-387.

Kunz, J., and Fischer, M. 2012. Virtual design and construction: Themes, case studies and implementation suggestions. *CIFE Working Paper No 097*, Center For Integrated Facility Engineering, Stanford University, USA.

- Mourgues, C. and Fischer, M. 2008. A work instruction template for cast-in-place concrete construction laborers, *CIFE Working Paper, No 109*, Center For Integrated Facility Engineering, Stanford University, USA.
- Mourgues, C.; Fischer, M.; Kunz, J. 2012. Method to produce field instructions from product and process models for cast-in-place concrete operations, *Automation in Construction*, 22: 233-246.
- Mourgues, C.; Fischer, M.; Hudgens, D. 2007. Using 3D and 4D models to improve jobsite communication - virtual huddles case study. *CIB 24th W78 Conference Maribor 2007. Bringing ITC Knowledge to Work*, Maribor, July, 2007: 91-95.
- Navarro, E. 2008. Revisión de la motivación de los trabajadores de la construcción : 1968 - 2008, *Revista de la Construcción*, 17-29.
- Norman, G. 2010. Likert scales, levels of measurement and the "laws" of statistics. *Advances in Health Sciences Education: Theory and Practice*, 15(5): 625-632.
- Oglesby, C. H.; Parker, H. W.; Howell, G. A. 1989. *Productivity improvement in construction*, 1<sup>st</sup> ed. New York: McGraw-Hill.
- Pértega, S. and Pita, S. 2001. Métodos paramétricos para la comparación de dos medias. t de student, *Cadernos De Atención Primaria*, 8(1): 37-41.
- Rafferty, B. 2009. Understanding A3 thinking: A critical component of toyota's PDCA management system, *The Journal of Product Innovation Management*, 26(2): 243-244.
- Saidi, K.; Haas, T.; Balli, N. 2002. The value of handheld computers in construction, *The Proceedings of the 19 Th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, Washington, DC, September, 2002: 557-562.
- Senescu, R., and Haymaker, J. 2009. *Improving design processes through collaborating, sharing, and understanding. CIFE Working Paper No 124*. Center For Integrated Facility Engineering, Stanford University, USA.
- Serpell, A. 2002. *Administración de operaciones de construcción*. 2<sup>nd</sup>. ed. Mexico: Alfaomega., p. 81.
- Skibniewski, M. and Won-Suk, J. 2008. A wireless network system for automated tracking of construction materials on project sites, *Journal of Civil Engineering and Management*, 14(1): 11-19.
- Sriprasert, E.; Dawood, N. 2002. Next generation of construction planning and control system: The lewis approach. *ECPPM: EWork and eBusiness in architecture, engineering and construction*. Ed. by Ž. Turk, and R. Scherer, 2002. Porotož, Slovenia: Taylor and Francis, p. 175-189.

Streilein, A. 1994. Towards automation in architectural photogrammetry: CAD-based 3D-feature extraction, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 49(5): 4-15.

Tan, H., Carrillo, P., Anumba, C., Kamara, J., Bouchlaghem, D., & Udeaja, C. (2006). Live capture and reuse of project knowledge in construction- A prototype development, *in Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering, Montreal, Canada*. 3857-3866.

Trupp, T., Soibelman, L., Hashash, Y., Liu, L. 2004. Novel technologies for construction field data collection, *in International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, ICCCB, Weimar, Bauhaus-Universität*.

**ANEXOS**

## ANEXO A: ANTECEDENTES ADICIONALES PARA LA VALIDACIÓN DE FIPAPM

Esta sección incluye una tabla con la distribución de la muestra de encuestados y las categorías de impacto de la validación cualitativa de FIPAPM en HVAC.

Tabla A-1: Muestra de encuestados para validación de FIPAPM (HVAC)

**Proyecto:** Hospital Regional de Rancagua

**Disciplina:** Climatización (HVAC)

**Empresa**

**Entrevistados**

**Total    A    B**

Supervisor/ Capataz

**4    3    1**

Usuario de Instrucciones

**16    5    11**

NO usuario de Instrucciones

**10    5    5**

**Total    30    13    17**

Tabla A-2: Categorías de impacto para validación cualitativa (Mourgues,  
2008).

<b>Categoría de impacto</b>	<b>Explicación</b>	<b>Propiedades de instrucciones (Emmit y Gorse, 2003)</b>
Impacto General	Evaluación general del apoyo para realizar su trabajo.	Todas
Dudas durante el trabajo	Preguntas que tienen los trabajadores mientras realizan su trabajo.	Clara, completa, precisa y oportuna.
Trabajo rehecho	Trabajo que los trabajadores deben rehacer por contar con información errónea o por no interpretarla correctamente.	Clara, libre de errores y precisa.
Productividad	Eficiencia en el uso de tiempo y otros recursos (personas, materiales, equipos y herramientas).	Clara, concisa, relevante, significativa y oportuna.
Seguridad	Evaluación de la seguridad cuando realizan su trabajo.	N/A

## ANEXO B: ANTECEDENTES ADICIONALES PARA LA VALIDACIÓN DE LA PLANTILLA BIDIRECCIONAL

Esta sección de anexos incluye el detalle de la distribución de encuestados y las categorías evaluadas para la validación cualitativa de la plantilla de instrucciones bidireccionales.

Tabla B-1: Muestra de encuestados para validación de plantilla bidireccional.

**Proyecto:** Hospital Regional de Rancagua

**Disciplina:** Climatización (HVAC)

**Empresa**

**Entrevistados**

**Total    A    B**

Supervisor/ Capataz

**3    2    1**

Usuario de Instrucciones

**12    0    12**

NO usuario de Instrucciones

**15    12    3**

**Total    30    14    16**

Tabla B-2: Categorías de validación cualitativa para plantilla bidireccional

Categorías de evaluación de impacto.	Explicación
Apreciación General	Evaluación general de la existencia de esta instancia de comunicación a través de una plantilla bidireccional para instrucciones de trabajo.
Formato de la plantilla bidireccional	Evaluación de si el formato de la instrucción es claro, sencillo y comprensible para comunicar información desde terreno.
Contenido de la plantilla bidireccional	El contenido de la instrucción es completo y capaz de comunicar toda la información que se quiera transmitir y que se genere durante la ejecución del trabajo.

## **ANEXO C: EVALUACIÓN ESTADÍSTICA PARA TEST DE *CHARRETTE***

Para darle validez estadística a los resultados obtenidos durante el test de Charrette, y dado que se cuenta menos de 30 observaciones, se analizaron los datos estadísticamente usando la prueba T de Student para muestras independientes (datos no relacionados) (Pértega y Pita, 2001). El método propuesto corresponde a actualizaciones realizadas con información capturada en instrucciones bidireccionales, mientras que el método base corresponde a una simulación de condiciones de terreno para transmitir información de manera informal.

Para proceder con este análisis paramétrico, observamos que se cumplen los siguientes requisitos:

- i) Se realizan observaciones independientes en dos grupos (métodos).
- ii) Los intervalos entre las mediciones tienen la misma magnitud.
- iii) Suponemos que el universo poblacional distribuye normal.
- iv) La variabilidad de los datos es semejante (homogénea).

Con estas condiciones, los pasos seguidos para desarrollar el test T fueron:

### 1. Planteamiento de la hipótesis

**Hipótesis alterna** (Ha): La calidad de las actualizaciones de modelos de producto (3D) realizadas con el método propuesto, es mayor a la del método base.

**Hipótesis nula (Ho):** La calidad de las actualizaciones de modelos de producto (3D) realizadas con ambos métodos no presentan diferencia significativa.

**Nivel de significación:** En este caso, debido a que el tamaño muestral considerado es  $n < 30$ , consideramos que para todo valor de probabilidad igual o menor que 10%, se acepta  $H_a$  y se rechaza  $H_0$ , y para todo valor de probabilidad mayor que 10%, se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_a$ .

## 2. Media aritmética y cálculo de la homogeneidad de varianzas

La Tabla C-1 muestra que los datos y resultados parciales cumplen variabilidad (homogeneidad) para una muestra  $n=14$  para cada método examinado.

Tabla C-1: Datos y resultados parciales de la muestra.

Estudiante	Método utilizado	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio Muestras
1	Propuesto	2,56	2,50	2,44	2,50
2	Propuesto	1,89	0	2,00	1,30
3	Propuesto	0,78	0	1,56	0,78
4	Base	1,78	0,83	0,89	1,17
5	Base	0,67	0	1,11	0,59
6	Base	0	0,50	1,78	0,76
7	Base	2,67	1,33	1,89	1,96
8	Base	0,22	1,00	0,67	0,63
9	Propuesto	2,56	2,50	2,33	2,46
10	Base	1,44	3,00	2,11	2,19
11	Propuesto	2,89	3,00	0	1,96
12	Propuesto	2,67	2,50	3,00	2,72
13	Propuesto	0	2,50	2,89	1,80
14	Base	2,00	1,00	2,33	1,78

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio Muestras
Varianza (M. Propuesto)	1,22	1,64	1,05	0,50
Varianza (M. Base)	0,97	0,89	0,42	0,45
Probabilidad ( $\alpha$ )	0,05			
F estimada	1,25	1,85	2,51	1,10
F de Fisher	4,28			
Grados de libertad (n-1)	6			

### 3. Suma de cuadrados y desviación estándar ponderada

La Ecuación 1 corresponde al modelo matemático utilizado para el análisis de dos muestras independientes para el test t.

Ecuación 1: Valor estadístico de la prueba t de *Student*

$$t = \frac{\overline{X}_1 - \overline{X}_2}{\sigma_p \sqrt{\frac{1+1}{N_1 \cdot N_2}}}$$

Donde:

$\overline{X}_1$  = valor promedio del grupo 1.

$\overline{X}_2$  = valor promedio del grupo 2.

$N_1$  = tamaño de la muestra del grupo 1.

$N_2$  = tamaño de la muestra del grupo 2.

Ecuación 2: Desviación estándar ponderada de ambos grupos

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{SC_1 + SC_2}{N_1 + N_2 - 2}}$$

Donde:

SC = Suma de cuadrados de cada grupo de datos.

4. Diferencia absoluta entre los grupos, valor estadístico de t y grados de libertad.

La Tabla C-2 resume el análisis del promedio de los datos obtenidos durante la experiencia.

Tabla C-2: Análisis Estadístico de resultados

	<b>Muestra Base</b>	<b>Muestra Propuesto</b>	$(X_1 - \bar{X}_1)$	$(X_1 - \bar{X}_1)^2$	$(X_2 - \bar{X}_2)$	$(X_2 - \bar{X}_2)^2$
	1,17	2,50	-0,13	0,02	0,57	0,32
	0,59	1,30	-0,70	0,50	-0,63	0,40
	0,76	0,78	-0,54	0,29	-1,15	1,33
	1,96	2,46	0,67	0,44	0,53	0,28
	0,63	1,96	-0,67	0,44	0,03	0,00
	2,19	2,72	0,89	0,79	0,79	0,63
	1,78	1,80	0,48	0,23	-0,13	0,02
<b>Promedio</b>	<b>1,30</b>	<b>1,93</b>		<b>2,71</b>		<b>2,98</b>
$\sigma =$	<b>0,69</b>					
$t_0 =$	<b>-1,724</b>					
gl =	<b>12,00</b>					

### 5. Probabilidad del valor t en la tabla “t-Student”.

El valor de  $t_0$  se compara con los valores críticos de la tabla de distribución t con 12 grados de libertad, y se obtiene que en el valor más cercano al calculado sin interpolar, cuenta con probabilidad entre 0,1(10%) y 0,005 (5%). En la Tabla C-3 se muestra la probabilidad interpolando los valores

Tabla C-3: Resultados de análisis Estadístico t de *Student*.

	Probabilidad	Valor de t critico
$t$ tabular	0,1	1,356
$t$ tabular	0,05	1,782
$t_0$ calculado	0,056	1,724

### 6. Resultado

Como el valor de  $t_0$  (1,724) tiene una probabilidad de significancia menor que 0.01 (10%), propuesto como nivel de significancia, se acepta  $H_a$  y se rechaza  $H_0$ .

Por lo tanto, la calidad de las actualizaciones de los modelos de producto (3D) realizadas con las dos metodologías difiere notoriamente, con un nivel de confianza de  $p$  menor que 0.01 (10%). Específicamente, la calidad de las actualizaciones realizadas con la metodología propuesta es superior a la metodología del caso base con más de un 90% de confianza.

## ANEXO D: EJEMPLO DE INSTRUCCIÓN BIDIRECCIONAL

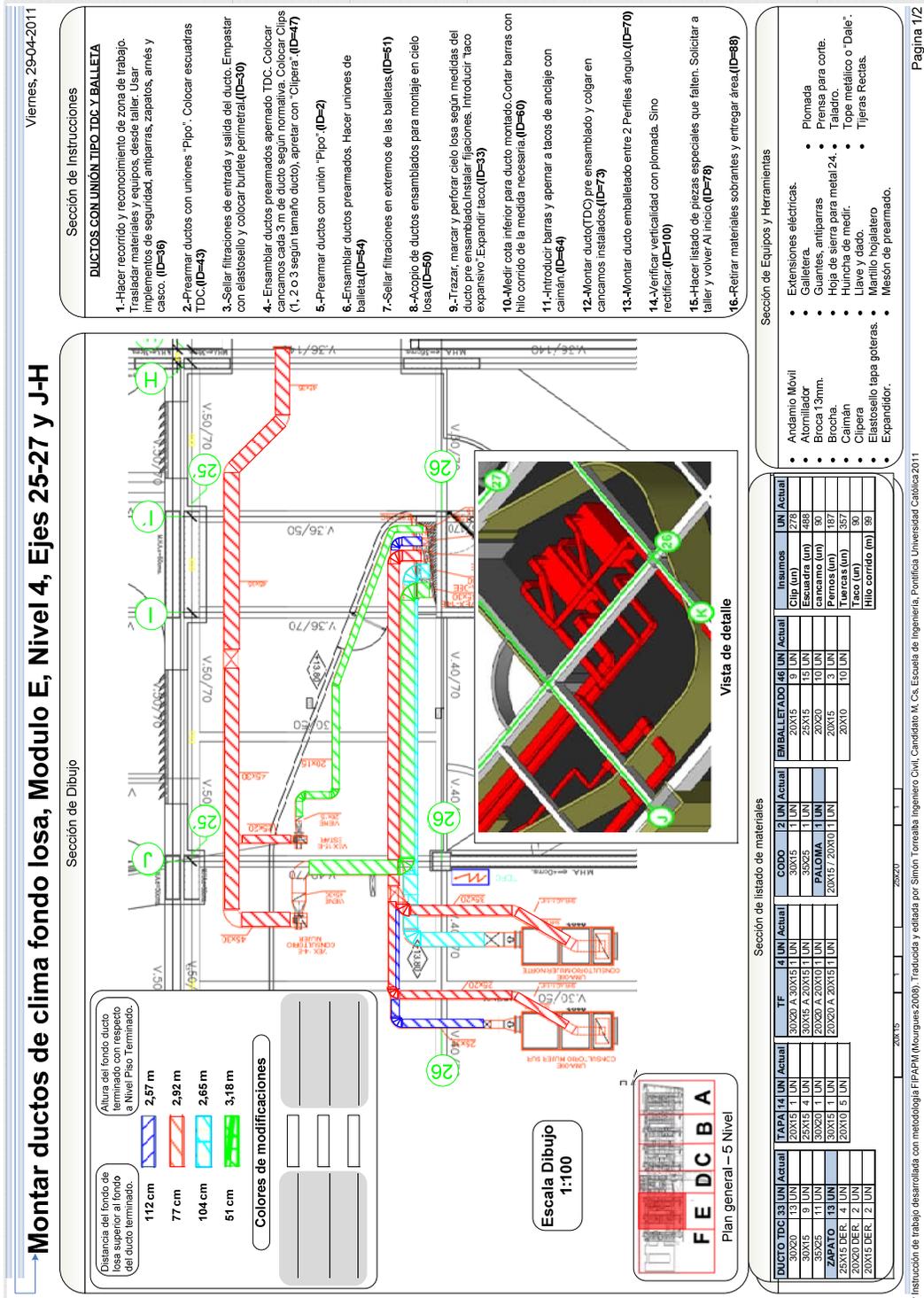


Figura D-1: Ejemplo de instrucciones bidireccional: Anverso.

