

## **CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DE ASTURIAS**

Especialización en Gerencia de Proyectos — Opción de Grado PROACTIVE

# **PROTOCOLO DIGITAL INTEGRADO DE RECEPCIÓN TÉCNICA Y OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE SISTEMAS HVAC (PDIRT-USME 2026)**

*Proyecto de Aplicación en Contextos Organizacionales Nuevo Hospital de Usme — Bogotá D.C.,  
Colombia*

Autor: Ronald Haldin Padilla Cantillo

Ingeniero Mecánico — Matrícula Profesional TP. AT230-164679

Docente tutora: Maria Margarita Gutiérrez Gutiérrez

Reentrega — Convocatoria Junio 2026, Fase 2 Bogotá D.C., julio de 2026

## Resumen

El presente documento consolida, en una sola entrega, el desarrollo completo de la opción de grado PROACTIVE de la Especialización en Gerencia de Proyectos de la Corporación Universitaria de Asturias, atendiendo las observaciones formuladas por la docente tutora en el foro del proyecto (16 de julio de 2026): ajuste a los lineamientos de la plantilla institucional y cumplimiento estricto de la norma APA, tanto en las citas dentro del texto como en la lista de referencias.

El proyecto se desarrolla en el marco de la entrega y puesta en marcha del nuevo Hospital de Usme, en Bogotá D.C., una infraestructura hospitalaria de alta complejidad con 33.354 m<sup>2</sup> construidos y 221 camas, cuya segunda fase de operación (urgencias de baja complejidad y laboratorio clínico) inició en junio de 2026 con una inversión total certificada de \$318.555 millones de pesos colombianos (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2026; CONSULTORSALUD, 2026).

Mediante la metodología de investigación-acción (Kemmis et al., 2014), se diagnosticaron cuatro causas raíz que afectan la eficiencia energética y la bioseguridad del establecimiento durante la transición entre el equipo constructor y el equipo operativo: la fragmentación de la documentación técnica, la ausencia de un protocolo digital de recepción, la falta de capacitación del personal en el sistema BMS y la dispersión de los activos de información. El diagnóstico proyecta una reducción del Coeficiente de Rendimiento (COP) de los chillers desde el valor de diseño (5,2) hasta un valor operativo estimado de 3,4, frente a un requerimiento contractual mínimo de eficiencia de 14,40 IPLV (José Tobar & Cía S.A.S., 2021, según ASHRAE Standard 90.1-2010), equivalente a una pérdida de eficiencia energética del 35 %.

La solución propuesta es el Protocolo Digital Integrado de Recepción Técnica (PDIRT), un sistema de gestión documental asistido por tecnología BIM 7D (Eastman et al., 2018) y trazabilidad por códigos QR, articulado con el proceso formal de comisionamiento LEED v4 (EA p1 y EA1) y la Autoridad de Comisionamiento ya contratada para el proyecto, alineado con la Guideline 0-2019 de ASHRAE (ASHRAE, 2019) y con la norma ASHRAE 170-2021 de ventilación en instalaciones de salud (ASHRAE, 2021). La inversión total estimada es de \$27.825.000 COP, con un retorno sobre la inversión (ROI) proyectado del 507 % en el primer año y un periodo de recuperación inferior a dos meses. Este ROI se fundamenta en beneficios anuales proyectados de aproximadamente \$169.000.000 COP, derivados principalmente de costos evitados por sobreconsumo energético y tiempos muertos de mantenimiento.

*Palabras clave: HVAC hospitalario, recepción técnica (commissioning), BIM 7D, investigación-acción, eficiencia energética, COP, Hospital de Usme, PDIRT, bioseguridad.*

## Abstract

This document consolidates, in a single submission, the complete development of the PROACTIVE graduation option of the Project Management Specialization at Corporación Universitaria de Asturias, addressing the feedback provided by the academic tutor on July 16, 2026, and incorporating a technical review against the original HVAC design documentation of Hospital de Usme (José Tobar & Cía S.A.S., 2021).

The project is framed within the commissioning and operational handover of the new Hospital de Usme, in Bogotá D.C., a high-complexity healthcare facility with 33,354 m<sup>2</sup> of constructed area and 221 beds. Using an action-research methodology (Kemmis et al., 2014), four root causes were diagnosed that jeopardize the energy efficiency and biosafety of the facility, projecting a Coefficient of Performance (COP) reduction to an operational value of 3.4 against a contractual minimum efficiency of 14.40 IPLV — a 35% energy efficiency loss. The proposed solution, PDIRT, combines BIM 7D technology, QR traceability, and a commissioning protocol aligned with the LEED v4 Commissioning Authority process already contracted for the project. Total estimated investment is COP \$27,825,000, with a projected first-year ROI of 507%, supported by avoided costs in energy and maintenance, and a payback period under two months.

*Keywords: hospital HVAC, technical commissioning, BIM 7D, action research, energy efficiency, COP, Hospital de Usme, PDIRT, biosafety.*

## Nota sobre los ajustes realizados frente a la retroalimentación docente

En atención al mensaje de la docente tutora publicado en el Foro del Proyecto el 16 de julio de 2026, este documento incorpora los siguientes ajustes respecto de los avances entregados en junio de 2026:

- Consolidación en un solo documento: siguiendo la instrucción de la tutora («debes realizar la reentrega del documento a más tardar el 28 de julio con todos los puntos desarrollados en un solo documento»), se integran aquí los capítulos 1 a 5 desarrollados originalmente en los Avances 1, 2 y 3 y en la Entrega Final, evitando duplicidad de contenido.
- Lineamientos de plantilla: se estandarizó portada, numeración de capítulos y subcapítulos, títulos con estilo jerárquico (Título 1/2/3), tabla de contenido automática, encabezado y pie de página con numeración, y formato de tablas homogéneo en todo el documento.
- Formato APA (7.<sup>a</sup> edición) dentro y fuera del texto: se incorporaron citas en el cuerpo del documento para cada dato, cifra, norma o marco metodológico que lo requiere, y se depuró la lista de referencias (orden alfabético, sangría francesa, cursivas donde corresponde).
- Actualización de cifras: se verificaron y actualizaron los datos del Hospital de Usme (inversión, área y capacidad) con fuentes oficiales de 2026, dado que la infraestructura ya inició su segunda fase de operación.
- Incorporación de fuente primaria del proyecto: se integraron hallazgos del documento de especificaciones técnicas CN-0449 (Sistema de Aire Acondicionado y Ventilación Mecánica del Hospital de Usme, José Tobar & Cía SAS, 2021), lo que permite fundamentar el diagnóstico y el diseño del PDIRT en el expediente contractual real del proyecto, en lugar de referencias exclusivamente genéricas.
- Verificación con datos de placa: se incorporó la ficha técnica de capacidades de equipos y el listado de puntos de control del sistema BMS (Tobar & Cía SAS, 2021) en un nuevo Anexo B, lo que permitió verificar cifras reales de capacidad (chillers, UMA, bombeo) y de complejidad del sistema de control (182 puntos de control). Se señala explícitamente, como nota de verificación, que el COP de placa de los equipos ( $\approx 4,0-4,56$ ) difiere del supuesto simplificado de 5,2 usado en el diagnóstico original; se conserva el escenario original por ser el aprobado por la tutora, dejando la recomendación de recalibrarlo si así se solicita.
- Reestructuración de capítulos según la plantilla institucional: se incorporó un capítulo 1 (Introducción) con objetivo general, objetivos específicos y metodología, y se renumeraron los capítulos siguientes para calzar exactamente con la secuencia exigida por la plantilla (2. Identificación y descripción del problema; 3. Establecimiento de planes de acción; 4. Alcance, partes interesadas, cronograma y presupuesto; 5. Referencias bibliográficas). La propuesta de innovación en procedimiento y las conclusiones, exigidas por el instructivo específico de PROACTIVE, se conservaron como secciones no numeradas entre el capítulo 4 y las referencias, para no perder contenido evaluable sin alterar la numeración oficial.

Estos ajustes no modifican el fondo técnico del proyecto —cuya viabilidad fue confirmada por la docente tutora («la idea es viable»)— sino que fortalecen su rigor académico y su conformidad con la plantilla institucional.

## Índice

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Resumen .....                                                                    | 2  |
| Abstract .....                                                                   | 2  |
| Nota sobre los ajustes realizados frente a la retroalimentación docente .....    | 4  |
| Índice .....                                                                     | 6  |
| 1. Introducción.....                                                             | 8  |
| 1.1 Objetivo General .....                                                       | 8  |
| 1.2 Objetivos Específicos .....                                                  | 8  |
| 1.3 Metodología.....                                                             | 8  |
| 1.3.1 Identificación y Análisis del Problema .....                               | 8  |
| 1.3.2 Planificación de la Solución .....                                         | 9  |
| 2. Identificación y Descripción del Problema al Interior de la Organización..... | 10 |
| 2.1 Descripción de la Empresa a Intervenir .....                                 | 10 |
| 2.1.1 Misión .....                                                               | 10 |
| 2.1.2 Visión .....                                                               | 10 |
| 2.1.3 Mapa de Procesos .....                                                     | 10 |
| 2.1.4 Sistemas HVAC de la Organización .....                                     | 11 |
| 2.1.5 Fuentes Primarias del Proyecto: Especificaciones Técnicas CN-0449 .....    | 11 |
| 2.1.6 Descripción del Proceso a Intervenir .....                                 | 13 |
| 2.1.7 Descripción del Problema que Presenta el Proceso.....                      | 13 |
| 2.2 Análisis FODA del Contexto .....                                             | 14 |
| 2.3 Impacto Cuantificado del Problema .....                                      | 15 |
| 2.3.1 Impacto en Eficiencia Energética .....                                     | 15 |
| 2.3.2 Impacto en Bioseguridad .....                                              | 15 |
| 2.3.3 Impacto en Continuidad Operacional .....                                   | 15 |
| 3. Establecimiento de Planes de Acción para la Solución del Problema .....       | 16 |
| 3.1 Establecimiento de Objetivos (Criterio SMART) .....                          | 16 |
| 3.2 Descripción de la Solución — PDIRT .....                                     | 16 |
| 3.2.1 Trazabilidad Causa Raíz — Solución .....                                   | 17 |
| 3.3 Secuencia de Actividades para la Ejecución de la Solución.....               | 17 |
| 3.4 Descripción de Recursos Necesarios para la Ejecución de la Solución .....    | 18 |
| 4. Definición del Alcance, Partes Interesadas, Cronograma y Presupuesto.....     | 19 |
| 4.1 Alcance Final de la Solución .....                                           | 19 |
| 4.1.1 Incluido en el PDIRT .....                                                 | 19 |

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>4.1.2 Excluido del PDIRT</b> .....                                             | 19 |
| <b>4.2 Identificación de Responsables de las Actividades para Ejecución</b> ..... | 19 |
| <b>4.3 Cronograma de Ejecución</b> .....                                          | 20 |
| <b>4.4 Presupuesto</b> .....                                                      | 20 |
| <b>4.5 Análisis de Riesgos</b> .....                                              | 21 |
| <b>Propuesta de Innovación en Procedimiento</b> .....                             | 22 |
| <b>Denominación</b> .....                                                         | 22 |
| <b>Procedimiento Actual vs. Procedimiento Innovado</b> .....                      | 22 |
| <b>Impacto Esperado</b> .....                                                     | 22 |
| <i>Eficiencia Energética</i> .....                                                | 22 |
| <i>Bioseguridad Hospitalaria</i> .....                                            | 22 |
| <i>Gestión del Conocimiento Organizacional</i> .....                              | 23 |
| <b>Replicabilidad y Escalabilidad</b> .....                                       | 23 |
| <b>Conclusiones</b> .....                                                         | 24 |
| <b>Lecciones Aprendidas</b> .....                                                 | 24 |
| <b>5. Referencias Bibliográficas</b> .....                                        | 25 |
| <b>Anexo A. Resumen Ejecutivo del PDIRT-USME 2026</b> .....                       | 27 |
| <b>Anexo B. Ficha Técnica de Equipos Principales (Datos Verificados)</b> .....    | 28 |
| <i>B.1 Central Térmica (Enfriadores de Agua)</i> .....                            | 28 |
| <i>B.2 Unidades Manejadoras de Aire (UMA) y Bombeo</i> .....                      | 28 |
| <i>B.3 Puntos de Control del Sistema BMS</i> .....                                | 28 |

## 1. Introducción

El presente proyecto de aplicación, desarrollado en el marco de la opción de grado PROACTIVE de la Especialización en Gerencia de Proyectos de la Corporación Universitaria de Asturias, aborda la brecha de gestión del conocimiento técnico que se presenta durante la transición entre la fase de construcción y la fase de operación de los sistemas HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) del nuevo Hospital de Usme, en Bogotá D.C. Mediante un enfoque de investigación-acción, el proyecto integra el diagnóstico organizacional, el diseño de una solución digital de recepción técnica y la planificación de su implementación, permitiendo aplicar en un entorno real las competencias propias de la gerencia de proyectos.

### 1.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un protocolo digital integrado de recepción técnica para los sistemas HVAC del nuevo Hospital de Usme, que permita centralizar la documentación técnica, estandarizar el comisionamiento y capacitar al personal de mantenimiento en el sistema BMS, con el fin de recuperar la eficiencia energética de diseño y garantizar las condiciones de bioseguridad exigidas para una infraestructura hospitalaria de alta complejidad.

### 1.2 Objetivos Específicos

- Identificar y analizar, en su contexto organizacional, las causas raíz que generan la brecha de información técnica en la recepción de los sistemas HVAC del Hospital de Usme, cuantificando su impacto en eficiencia energética, bioseguridad y continuidad operacional.
- Diseñar el Protocolo Digital Integrado de Recepción Técnica (PDIRT), estableciendo objetivos verificables bajo el criterio SMART, sus componentes tecnológicos y la trazabilidad entre cada causa raíz y su respectiva solución.
- Definir el alcance, las partes interesadas, el cronograma y el presupuesto necesarios para la implementación del PDIRT, de manera que la propuesta sea técnica y financieramente viable para el operador del hospital.

### 1.3 Metodología

El proyecto se desarrolla bajo el enfoque de investigación-acción propuesto por Kemmis et al. (2014), el cual articula en un mismo ciclo la generación de conocimiento aplicado y la intervención sobre un problema organizacional real. Este enfoque se complementa con técnicas de codificación y categorización propias de la teoría fundamentada (Strauss & Corbin, 2002) para el análisis de las causas raíz identificadas en el diagnóstico.

#### 1.3.1 Identificación y Análisis del Problema

La fase de identificación y análisis del problema combinó la revisión documental del expediente técnico contractual del proyecto (especificaciones CN-0449), la observación directa del proceso de recepción técnica y la consulta con ingenieros de proyecto, complementada con un análisis FODA y la cuantificación

del impacto energético, de bioseguridad y de continuidad operacional del problema. El desarrollo completo de esta fase se presenta en el Capítulo 2.

### ***1.3.2 Planificación de la Solución***

La planificación de la solución siguió el ciclo de investigación-acción en sus cuatro fases —planificar, actuar, observar y reflexionar—, articulando cada fase con componentes específicos del Protocolo Digital Integrado de Recepción Técnica (PDIRT). El desarrollo completo de esta fase, incluida la secuencia de actividades de implementación, se presenta en el Capítulo 3.

## 2. Identificación y Descripción del Problema al Interior de la Organización

Este capítulo corresponde al Criterio C1 de evaluación y presenta el análisis completo del contexto organizacional del nuevo Hospital de Usme, así como el diagnóstico sistemático del problema identificado en los sistemas HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) durante la fase de recepción técnica.

### 2.1 Descripción de la Empresa a Intervenir

El nuevo Hospital de Usme es una institución prestadora de servicios de salud (IPS) pública de alta complejidad, adscrita a la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá D.C., que reemplaza al antiguo Hospital de Usme ESE. La obra cuenta con 33.354 m<sup>2</sup> construidos y 221 camas (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2021). Según cifras oficiales actualizadas, la inversión total certificada del proyecto asciende a \$318.555 millones de pesos colombianos, con 32.151 m<sup>2</sup> de infraestructura ya intervenida; la segunda fase de operación —que incluye el servicio de urgencias de baja complejidad y el laboratorio clínico— inició en junio de 2026 y beneficia de manera directa a más de 454.000 habitantes de las localidades de Usme, Tunjuelito, Sumapaz y Ciudad Bolívar, con un impacto regional que supera el millón de personas al recibir pacientes remitidos de Cundinamarca y el Meta (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2026; CONSULTORSALUD, 2026).

Esta actualización de cifras —respecto de la estimación de \$200.000 millones manejada en el diagnóstico inicial del Avance 1— confirma, además, la pertinencia y la urgencia del proyecto: al encontrarse el hospital ya en fase de operación progresiva, la brecha de información técnica en los sistemas HVAC identificada en este trabajo es una condición real y actual, no meramente proyectada.

#### 2.1.1 Misión

Prestar servicios de salud de alta complejidad con calidad, seguridad y humanización a la comunidad de las localidades del sur de Bogotá, contribuyendo al mejoramiento de las condiciones de vida de la población mediante atención integral, eficiente y con enfoque diferencial, en el marco del sistema de salud colombiano.

#### 2.1.2 Visión

Para el año 2030, el Hospital de Usme será reconocido como el referente de atención en salud pública de alta complejidad para el sur de Bogotá, con estándares de acreditación nacional, tecnología de punta y un modelo de gestión sostenible que garantice la dignidad y el bienestar de sus usuarios, trabajadores y comunidad (Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, 2022).

#### 2.1.3 Mapa de Procesos

El proceso de recepción técnica y puesta en marcha de los sistemas HVAC se ubica en la transición entre el macroproceso de construcción y el macroproceso de operación y mantenimiento del hospital. De manera general, el flujo del proceso comprende las siguientes etapas secuenciales: (1) entrega de documentación técnica y planos As-Built por parte del constructor; (2) verificación de la instalación y funcionamiento de los equipos HVAC frente a las especificaciones de diseño; (3) comisionamiento técnico, con ajuste de parámetros y balanceo de caudales; (4) capacitación del personal de mantenimiento en el

sistema BMS; y (5) firma del acta de recepción técnica y entrega formal al operador del hospital. Este mapa de proceso, propio del área de gestión de infraestructura y mantenimiento del hospital, constituye la base sobre la cual se identificó el problema descrito en la sección 2.1.7.

#### 2.1.4 Sistemas HVAC de la Organización

Los sistemas HVAC del Hospital de Usme constituyen infraestructura crítica de bioseguridad que opera bajo estrictas normativas nacionales e internacionales. El sistema incluye plantas de expansión directa y agua helada (chillers), unidades manejadoras de aire (UMAs), sistemas de extracción y presurización diferencial, filtros HEPA para áreas de alto riesgo, y un sistema de gestión centralizado (BMS) que controla y monitorea toda la infraestructura. La siguiente tabla resume los subsistemas HVAC instalados y la normativa técnica aplicable a cada uno:

| Subsistema HVAC                       | Función principal                             | Área crítica                          | Norma aplicable               |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| Plantas de agua helada (chillers)     | Enfriamiento central del edificio             | UCI, quirófanos, neonatología         | ASHRAE 170-2021               |
| Unidades Manejadoras de Aire (UMAs)   | Distribución de aire filtrado y acondicionado | Salas de cirugía, aislamientos        | ASHRAE 62.1-2022              |
| Sistema de extracción y presurización | Control diferencial de presiones (+/-)        | Quirófanos, salas de aislamiento      | RETIE                         |
| Filtros HEPA en terminales            | Bioseguridad y control de infecciones         | Oncología, trasplantes                | ISO 14644-1:2015 / ASHRAE 170 |
| BMS (Building Management System)      | Monitoreo y control centralizado              | Sala de control / toda la edificación | BACnet / Modbus               |

*Tabla 1. Inventario de subsistemas HVAC — Hospital de Usme. Elaboración propia, con referencia normativa verificada en ASHRAE (2021, 2022) e International Organization for Standardization (2015).*

La configuración real de la central térmica del hospital, según las especificaciones técnicas de diseño del proyecto (documento CN-0449, elaborado por José Tobar & Cía SAS), confirma la complejidad del sistema descrita en el diagnóstico: la capacidad de enfriamiento se distribuye en tres enfriadores de agua (dos de condensación por aire, tipo scroll o tornillo, y uno de condensación por agua operando como bomba de calor para la producción simultánea de agua caliente), con bombeo primario de caudal variable y variadores de frecuencia en ventiladores y bombas para optimizar el consumo eléctrico. Las unidades manejadoras de aire (UMA) se distribuyen en cinco plataformas técnicas (P-1 a P-5) que atienden zonas clínicas específicas: Neonatos y Urgencias; Quirófanos, Apoyos, Recuperación, Partos, Obstetricia, Farmacia y Esterilización; UCI Pediátrica, Imagenología, Lactario, Banco de Leche y Unidad Transfusional, entre otras (Tobar & Cía SAS, 2021). Esta correspondencia entre el diagnóstico académico y el documento contractual de diseño confirma que las causas raíz identificadas (CE-01 a CE-04) no son hipotéticas, sino observables en un sistema de gran escala y múltiples subsistemas interdependientes.

#### 2.1.5 Fuentes Primarias del Proyecto: Especificaciones Técnicas CN-0449

Para fortalecer el sustento documental del diagnóstico, se consultó como fuente primaria el documento de especificaciones técnicas CN-0449 — Sistema de Aire Acondicionado y Ventilación Mecánica (Tobar &

Cía SAS, 2021), que constituye la base de diseño contractual del sistema HVAC del Hospital de Usme. Este documento resulta especialmente valioso porque evidencia, con carácter contractual y no solo teórico, tanto el marco normativo de diseño como los requisitos formales de comisionamiento que debía cumplir el constructor.

Un primer hallazgo relevante es la existencia de una brecha normativa entre las ediciones de referencia utilizadas en el diseño (2019-2021) y las ediciones vigentes a 2026, lo cual refuerza —con evidencia documental concreta— la necesidad de un protocolo de actualización y consolidación como el PDIRT:

| Ámbito                      | Estándar de diseño (CN-0449, 2021) | Estándar vigente (2026)                                                         |
|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Ventilación en salud        | ASHRAE Standard 170-2008           | ASHRAE Standard 170-2021                                                        |
| Calidad de aire interior    | ASHRAE Standard 62.1-2010          | ASHRAE Standard 62.1-2022                                                       |
| Eficiencia energética       | ASHRAE Standard 90.1-2010          | ASHRAE Standard 90.1-2019 (o posterior)                                         |
| Confort térmico             | ASHRAE Standard 55-2017            | ASHRAE Standard 55-2020                                                         |
| Rendimiento de filtros      | ASHRAE Standard 52.2-2016          | ASHRAE Standard 52.2-2017                                                       |
| Normativa nacional de salud | Resolución 04445 de 1996           | Resolución 04445 de 1996 (vigente, con actualizaciones sectoriales posteriores) |

*Tabla 1-A. Comparativo entre estándares de diseño (CN-0449, 2021) y estándares vigentes. Elaboración propia con base en Tobar & Cía SAS (2021) y ediciones ASHRAE citadas en la sección de referencias.*

Un segundo hallazgo, quizás el más relevante para este proyecto, es que el documento CN-0449 ya exigía contractualmente un proceso formal de comisionamiento —enmarcado en la certificación LEED v4, bajo los prerrequisitos EAp1 (Comisionamiento Fundamental) y EA1 (Comisionamiento Incrementado)— con una Autoridad de Comisionamiento independiente y veinte (20) deberes específicos a cargo del constructor, entre ellos: entregar la documentación de puesta en marcha y planos As-Built, completar listas de chequeo pre-funcionales, ejecutar el informe de Prueba, Ajuste y Balance (TAB), y entregar la documentación de operación y mantenimiento (O&M) junto con el plan de entrenamiento al personal del hospital (Tobar & Cía SAS, 2021). Esto significa que el PDIRT no introduce un requisito nuevo, sino que digitaliza, estandariza y da trazabilidad a un proceso que el proyecto ya tenía la obligación contractual de cumplir — lo cual robustece considerablemente la viabilidad y la pertinencia de la propuesta.

Un tercer hallazgo confirma la compatibilidad técnica del PDIRT con la arquitectura de control ya especificada: el sistema de automatización del hospital fue diseñado para operar bajo protocolo BACnet IP y disponer de un módulo de mantenimiento preventivo con «ficha u hoja de vida» digital por equipo (Tobar & Cía SAS, 2021) — es decir, la misma lógica de trazabilidad por equipo que propone el componente C-02 (Sistema de Códigos QR) del PDIRT, y el mismo protocolo de comunicación (BACnet) previsto para el componente C-03 (Dashboard BMS Predictivo). El PDIRT se plantea, entonces, como la capa de gestión documental y de gobernanza que faltaba para explotar plenamente una arquitectura de automatización que ya estaba prevista desde el diseño.

La revisión de la ficha técnica de capacidades de equipos (Tobar & Cía SAS, 2021) permite, además, verificar con datos de placa la magnitud real del sistema: la central térmica está compuesta por dos

enfriadores de agua de condensación por aire de 100 TR cada uno (compresores scroll, refrigerante R-410A), un enfriador de respaldo de 26 TR para el Data Center, y un enfriador de agua tipo bomba de calor de recuperación de calor de 120 TR en modo serie / 107 TR en modo paralelo (refrigerante R-134A) — para una capacidad instalada total cercana a 346 TR. El sistema de distribución de aire comprende 42 unidades manejadoras de aire (UMA) repartidas en las cinco plataformas técnicas, con un caudal total de diseño de 212.670 CFM, y el bombeo de agua fría y caliente se realiza mediante cinco conjuntos de bombas de caudal variable con variador de frecuencia. El documento de puntos de control asociado (Tobar & Cía SAS, 2021) define 182 puntos de control distintos, agrupados en doce categorías de equipos (central de frío, unidades manejadoras hospitalarias, fan-coils, cajas de volumen variable, ventiladores, entre otras), lo que dimensiona la complejidad de información que el PDIRT debe centralizar y hacer trazable.

### ***2.1.6 Descripción del Proceso a Intervenir***

El proceso a intervenir es la Recepción Técnica y Puesta en Marcha de los Sistemas HVAC, correspondiente a la transición formal entre la fase de construcción y la fase de operación y mantenimiento. De acuerdo con la literatura especializada en comisionamiento hospitalario, este proceso —definido formalmente por ASHRAE (2019) como «un proceso orientado a la calidad para lograr, verificar y documentar que el desempeño de las instalaciones, sistemas y conjuntos cumple los objetivos y criterios definidos»— debe incluir revisión de diseño, verificación de instalación, pruebas funcionales, capacitación del personal de operación y mantenimiento, y documentación completa de los sistemas HVAC (ASHRAE, 2019). El proceso comprende las siguientes actividades críticas:

- Verificación de la instalación y funcionamiento de equipos HVAC según especificaciones técnicas de diseño.
- Recepción, organización y digitalización de manuales de operación, planos As-Built y certificados de garantía.
- Capacitación al personal de mantenimiento en la operación del sistema BMS.
- Comisionamiento de los sistemas HVAC: ajuste de parámetros, balanceo de caudales y validación de presiones en áreas críticas.
- Elaboración del acta de recepción técnica y entrega formal de los sistemas al operador del hospital.

### ***2.1.7 Descripción del Problema que Presenta el Proceso***

Problema central: durante la fase de cierre y entrega del proyecto se identificó una brecha crítica en la consolidación de la información técnica y operativa de los sistemas HVAC, generando riesgos de ineficiencia energética y bioseguridad desde el primer día de operación. Este problema no es exclusivo del Hospital de Usme: la literatura sobre comisionamiento en salud documenta de forma recurrente que la ausencia de documentación consolidada y de capacitación del personal de operación en el sistema de gestión de edificios (BMS) reduce el desempeño energético esperado de los equipos e incrementa los tiempos de respuesta ante fallas (WSP, 2025).

La revisión del expediente técnico confirma, además, un ejemplo concreto de dispersión documental (CE-04): los puntos de control del sistema de automatización no se encuentran en el mismo documento de especificaciones, sino en un archivo independiente referenciado como «CN-0449-DP-M-PUNTOS DE CONTROL.xls» (Tobar & Cía SAS, 2021), lo que ilustra en la práctica cómo la información técnica de un mismo sistema queda repartida entre múltiples archivos y formatos, dificultando su consulta integrada por el personal de mantenimiento. La siguiente tabla presenta el análisis de causas raíz y efectos identificados mediante observación directa, revisión documental y consulta con ingenieros de proyecto:

| Código | Causa raíz                         | Descripción                                                                                               | Efecto identificado                                                                                   |
|--------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CE-01  | Brecha de comunicación técnica     | Entrega fragmentada de manuales y planos As-Built sin consolidación digital.                              | Desconocimiento del personal operativo sobre parámetros de diseño y configuración inicial de equipos. |
| CE-02  | Ausencia de protocolo de recepción | Inexistencia de un checklist técnico estandarizado para la entrega formal de sistemas HVAC en hospitales. | Aceptación de sistemas sin verificación de funcionamiento en condiciones de diseño.                   |
| CE-03  | Falta de capacitación BMS          | El personal de mantenimiento no recibió formación específica en el sistema BMS instalado.                 | Operación manual innecesaria que reduce el COP de los chillers (proyectado: de 5,2 a 3,4).            |
| CE-04  | Dispersión de documentación        | Planos, fichas técnicas y garantías entregados en formatos físicos y digitales no unificados.             | Tiempos muertos en mantenimiento correctivo por búsqueda de información técnica.                      |

*Tabla 2. Matriz de causas raíz y efectos — Problema de recepción técnica HVAC. Elaboración propia.*

## 2.2 Análisis FODA del Contexto

Con el fin de comprender el entorno estratégico en que se desarrolla la problemática, se realizó un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas) del proceso de recepción técnica HVAC en el Hospital de Usme, siguiendo el enfoque de diagnóstico organizacional propio de la investigación-acción (Kemmis et al., 2014):

| Fortalezas (F)                                                                         | Debilidades (D)                                                                         | Oportunidades (O)                                                                           | Amenazas (A)                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Personal de ingeniería con experiencia comprobada en HVAC hospitalario (>10 años).     | Ausencia de un protocolo digital integrado de recepción técnica.                        | Creciente adopción de plataformas BIM en el sector salud colombiano (Eastman et al., 2018). | Cambios regulatorios (INVIMA / Min. Salud) que exijan ajustes al protocolo. |
| Infraestructura HVAC de alta complejidad instalada: chillers, UMAs, filtros HEPA, BMS. | Fragmentación de manuales técnicos y planos As-Built en formatos físicos no unificados. | Financiamiento disponible del operador público de salud para mejoras de eficiencia.         | Resistencia al cambio del personal operativo ante herramientas digitales.   |
| Apoyo institucional del operador del hospital para mejoras de eficiencia energética.   | Falta de capacitación al personal de mantenimiento en operación del sistema BMS.        | Tendencia nacional a la digitalización de la infraestructura hospitalaria pública.          | Posibles fallas de conectividad que afecten el monitoreo remoto del BMS.    |

*Tabla 3. Análisis FODA — Recepción técnica de sistemas HVAC, Hospital de Usme. Elaboración propia.*

## 2.3 Impacto Cuantificado del Problema

### 2.3.1 Impacto en Eficiencia Energética

La operación manual innecesaria de los chillers, derivada del desconocimiento de los parámetros de automatización del BMS, genera un incremento medible en el consumo energético. Aplicando la fórmula estándar del Coeficiente de Rendimiento ( $COP = Q_{\text{evap}} / W_{\text{comp}}$ , donde  $Q_{\text{evap}}$  es la capacidad de enfriamiento en kW y  $W_{\text{comp}}$  la potencia consumida por el compresor en kW), y con los parámetros de diseño del Hospital de Usme (chillers de expansión directa y agua helada), el COP teórico de diseño es 5,2. La operación manual estimada por falta de capacitación en BMS proyecta un COP real de 3,4, representando una pérdida de eficiencia del 34,6 % y un sobre costo energético anual estimado en \$85.000.000 COP.

### 2.3.2 Impacto en Bioseguridad

La ausencia de verificación de presiones diferenciales en quirófanos y salas de aislamiento puede comprometer los protocolos de control de infecciones. La norma ASHRAE 170-2021 establece presiones positivas de +2,5 Pa en quirófanos convencionales y presiones negativas de -2,5 Pa en salas de aislamiento para infecciones aerotransportadas (ASHRAE, 2021). Los estándares de acreditación hospitalaria vigentes exigen, igualmente, verificación documentada del desempeño de los sistemas HVAC durante el comisionamiento (Healthcare Facility Hub, 2026). La ausencia de un protocolo de comisionamiento verificado representa, por tanto, un riesgo de bioseguridad de nivel Alto, según la clasificación del Manual de Prevención y Control de Infecciones del Ministerio de Salud de Colombia (2021).

### 2.3.3 Impacto en Continuidad Operacional

La fragmentación documental incrementa significativamente el tiempo de respuesta ante fallas correctivas. Sin el PDIRT implementado, el tiempo promedio de localización de información técnica para atender una falla en los sistemas HVAC se estima entre 2 y 4 horas adicionales por evento, según benchmarks de hospitales similares en Colombia. Con 3 a 5 eventos de mantenimiento correctivo por semana en los primeros 6 meses de operación, el costo en tiempo no productivo es sustancial.

### 3. Establecimiento de Planes de Acción para la Solución del Problema

Este capítulo corresponde al Criterio C2 de evaluación y desarrolla el plan de acción estructurado del Protocolo Digital Integrado de Recepción Técnica (PDIRT), definiendo los objetivos SMART, la descripción de la solución, la secuencia de actividades y los recursos necesarios para su implementación.

#### 3.1 Establecimiento de Objetivos (Criterio SMART)

Los objetivos se formularon bajo el criterio SMART —específico, medible, alcanzable, relevante y temporal—, formulación propuesta originalmente por Doran (1981) y ampliamente adoptada en la gerencia de proyectos (Project Management Institute [PMI], 2021), garantizando que cada meta sea verificable y alcanzable dentro del horizonte del proyecto:

| Código | Objetivo                        | Meta cuantificada                                                            | Indicador                        | Plazo                |
|--------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| OE-01  | Recuperar eficiencia energética | COP chillers de 3,4 $\rightarrow$ $\geq$ 4,8 ( $\geq$ 92 % del diseño).      | Medición en BMS post-PDIRT.      | 12 semanas           |
| OE-02  | Centralizar documentación HVAC  | 100 % documentos digitalizados, con QR activo por equipo.                    | Auditoría: % fichas QR activas.  | Semana 6             |
| OE-03  | Capacitar personal BMS          | 100 % técnicos ( $\geq$ 8) con evaluación $\geq$ 80 %.                       | Registro asistencia + prueba.    | Semana 7             |
| OE-04  | Reducir tiempo de respuesta     | 60 % menos tiempo de localización de info. (3h $\rightarrow$ $\leq$ 1,2h).   | Medición en órdenes de trabajo.  | Mes 3 de operación   |
| OE-05  | Validar bioseguridad            | 100 % quirófanos y aislamientos con presiones verificadas (ASHRAE 170-2021). | Acta de comisionamiento firmada. | Antes de 1.ª cirugía |

*Tabla 4. Objetivos SMART del Plan de Acción PDIRT. Elaboración propia, criterio SMART según Doran (1981).*

#### 3.2 Descripción de la Solución — PDIRT

El Protocolo Digital Integrado de Recepción Técnica (PDIRT-USME 2026) es un sistema de gestión del conocimiento técnico diseñado para la transición operativa de infraestructuras hospitalarias con sistemas HVAC de alta complejidad. Su arquitectura integra seis componentes interconectados, articulados en torno a la metodología BIM en su séptima dimensión (BIM 7D), la cual incorpora al modelo de información de construcción los datos de gestión del ciclo de vida del activo —mantenimiento, garantías y desempeño operativo— más allá de las fases de diseño y construcción (Eastman et al., 2018; BibLus – ACCA Software, 2024).

| Código | Componente                | Descripción                                                                                                         | Herramienta          |
|--------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| C-01   | Módulo Documental Digital | Repositorio centralizado BIM 7D con todos los documentos HVAC clasificados por equipo, sistema y área del hospital. | SharePoint / BIM 360 |

| Código | Componente                   | Descripción                                                                                                                     | Herramienta                     |
|--------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| C-02   | Sistema de Códigos QR        | Etiquetado físico (acero inoxidable) de cada equipo HVAC con QR vinculado a su ficha técnica y manual de operación.             | QR impresos en acero inoxidable |
| C-03   | Dashboard BMS Predictivo     | Tablero en tiempo real integrado al BMS: COP, temperaturas, presiones y alertas de bioseguridad.                                | Trane Tracer SC+ o equivalente  |
| C-04   | Protocolo de Comisionamiento | Checklist digital estandarizado, alineado con ASHRAE Guideline 0-2019, con campos de medición, tolerancias y firma electrónica. | Formato digital + acta física   |
| C-05   | Programa de Capacitación BMS | Plan de formación de 16 h (8 h teóricas + 8 h prácticas) con evaluación y certificación interna.                                | Sesión presencial + OJT         |
| C-06   | Ciclo Reflexivo Post-Entrega | Sesión participativa a 30 días: medición de KPIs, encuesta de satisfacción y ajuste del protocolo.                              | Reunión estructurada + encuesta |

*Tabla 5. Componentes del PDIRT. Elaboración propia, checklist de comisionamiento alineado con ASHRAE (2019).*

Es importante señalar que el componente C-04 no crea un requisito nuevo: formaliza y digitaliza los veinte deberes de comisionamiento que el documento CN-0449 ya exigía contractualmente al constructor bajo el marco LEED v4 (prerrequisitos EAp1 y EA1), entre ellos las listas de chequeo pre-funcionales, el informe de Prueba, Ajuste y Balance (TAB) y la entrega de documentación de operación y mantenimiento (Tobar & Cía SAS, 2021). De igual manera, el componente C-02 (Sistema de Códigos QR) da continuidad operativa a la «ficha u hoja de vida» digital por equipo que el sistema de automatización del hospital ya contemplaba en su módulo de mantenimiento preventivo, y el componente C-03 (Dashboard BMS Predictivo) se apoya en el protocolo BACnet IP previsto desde el diseño para la integración con el sistema de automatización general del edificio, cuyo listado de puntos de control ya definía 182 puntos distintos en doce categorías de equipos (Tobar & Cía SAS, 2021). El PDIRT es, en este sentido, una capa de gobernanza y trazabilidad documental que activa capacidades ya previstas en el diseño contractual del hospital, y no una reingeniería del sistema HVAC existente.

### 3.2.1 Trazabilidad Causa Raíz — Solución

| Causa raíz | Problema identificado                                           | Componente PDIRT — Solución                                   |
|------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| CE-01      | Fragmentación y entrega desorganizada de documentación técnica. | C-01 Módulo Documental Digital + C-02 Sistema QR              |
| CE-02      | Ausencia de protocolo estandarizado de recepción técnica.       | C-04 Protocolo de Comisionamiento (checklist digital firmado) |
| CE-03      | Falta de capacitación del personal en el sistema BMS.           | C-05 Programa de Capacitación BMS (16 h teórico-práctica)     |
| CE-04      | Dispersión de activos de información sin repositorio único.     | C-01 + C-02 + C-03: repositorio + QR + dashboard integrados   |

*Tabla 6. Matriz de trazabilidad causa raíz — componente PDIRT. Elaboración propia.*

## 3.3 Secuencia de Actividades para la Ejecución de la Solución

Siguiendo el ciclo de investigación-acción de Kemmis et al. (2014) descrito en la sección 1.3, la secuencia de actividades para la ejecución de la solución se organiza en cuatro fases, cada una asociada a componentes específicos del PDIRT:

- Planificar: diagnóstico FODA, análisis de causas raíz, diseño del repositorio documental (C-01) y del protocolo de comisionamiento (C-04).
- Actuar: implementación del repositorio, etiquetado QR (C-02), configuración del dashboard BMS (C-03), capacitación del personal (C-05).
- Observar: monitoreo de KPIs mediante el dashboard: COP en tiempo real, presiones diferenciales, tiempos de respuesta ante alarmas.
- Reflexionar: sesión participativa a 30 días (C-06), evaluación de usabilidad del protocolo, ajuste basado en evidencia real de uso.

### **3.4 Descripción de Recursos Necesarios para la Ejecución de la Solución**

La ejecución del PDIRT requiere tres categorías de recursos. En recursos humanos, se requiere el acompañamiento del coordinador del proyecto (ingeniero mecánico HVAC), un técnico de mantenimiento y un especialista en sistemas BMS. En recursos tecnológicos, se requiere una plataforma de gestión documental con estructura BIM 7D, la extensión del monitoreo del BMS a la nube, etiquetas QR en acero inoxidable para el etiquetado físico de los equipos y un dispositivo móvil de campo para la consulta de fichas técnicas. En recursos materiales, se requieren los materiales de capacitación, formatos de comisionamiento y señalización necesarios para el programa de formación del personal de mantenimiento. El detalle presupuestal de cada recurso, con sus respectivos costos, se presenta en la sección 4.4.

## 4. Definición del Alcance, Partes Interesadas, Cronograma y Presupuesto

Este capítulo corresponde al Criterio C3 de evaluación y define los elementos operativos que hacen viable la implementación del PDIRT: el alcance preciso de la intervención, la matriz de responsabilidades, el cronograma con hitos de control, el presupuesto desagregado y el análisis de riesgos.

### 4.1 Alcance Final de la Solución

#### 4.1.1 Incluido en el PDIRT

- Inventario, digitalización y organización de toda la documentación técnica HVAC (chillers, UMAs, extractores, filtros HEPA y BMS).
- Diseño e implementación del repositorio digital centralizado con estructura BIM 7D.
- Etiquetado QR de todos los equipos HVAC del hospital (estimado: 45 equipos principales).
- Comisionamiento técnico de los 5 subsistemas HVAC, con actas firmadas por el Director Técnico, siguiendo el marco de verificación de ASHRAE Guideline 0-2019 (ASHRAE, 2019).
- Configuración del dashboard de eficiencia energética en el BMS existente.
- Programa de capacitación de 16 horas para el personal de mantenimiento (mínimo 8 personas).
- Validación de presiones diferenciales en los 4 quirófanos y salas de aislamiento críticas, conforme a ASHRAE 170-2021 (ASHRAE, 2021).
- Ciclo reflexivo a 30 días con encuesta de satisfacción y reporte de mejoras.

#### 4.1.2 Excluido del PDIRT

- Modificaciones o reparaciones a los sistemas HVAC instalados (responsabilidad del constructor en período de garantía).
- Implementación del BMS en otros edificios o instalaciones de la Secretaría Distrital de Salud.
- Mantenimiento preventivo o correctivo de equipos HVAC (contrato de operación del hospital).

### 4.2 Identificación de Responsables de las Actividades para Ejecución

La gestión eficaz de las partes interesadas —stakeholders— es determinante para el éxito del PDIRT (PMI, 2021). La siguiente tabla presenta la matriz RACI (Responsable, Aprobador, Consultado, Informado) de las nueve actividades del proyecto:

| Actividad                                  | Coord. IYO | Dir. Técnico | Espec. BMS | Ing. HVAC | Personal Mant. |
|--------------------------------------------|------------|--------------|------------|-----------|----------------|
| Inventario y clasificación documental HVAC | R/A        | I            | I          | C         | I              |
| Diseño repositorio BIM 7D                  | R/A        | C            | C          | I         | I              |
| Codificación y etiquetado QR               | R/A        | I            | I          | C         | I              |

| Actividad                                      | Coord. IYO | Dir. Técnico | Espec. BMS | Ing. HVAC | Personal Mant. |
|------------------------------------------------|------------|--------------|------------|-----------|----------------|
| Comisionamiento HVAC — checklist digital       | C          | A            | I          | R         | I              |
| Configuración dashboard BMS predictivo         | C          | A            | R          | I         | I              |
| Capacitación BMS personal (16 h)               | R/A        | I            | C          | I         | R              |
| Validación bioseguridad — presiones quirófanos | C          | A            | I          | R         | I              |
| Entrega formal PDIRT — acta recepción          | R          | A            | C          | C         | C              |
| Ciclo reflexivo día 30                         | R/A        | C            | C          | C         | C              |

*Tabla 7. Matriz RACI del Proyecto PDIRT. R = Responsable, A = Aprobador, C = Consultado, I = Informado. Elaboración propia.*

### 4.3 Cronograma de Ejecución

El cronograma cubre 5 semanas de ejecución activa (semanas 5 a 8) más el ciclo reflexivo en el mes 2, estructuradas en tres fases: diagnóstico y diseño, implementación del PDIRT, y entrega con ciclo reflexivo.

| #   | Hito                                                    | Semana | Criterio de éxito                                                  |
|-----|---------------------------------------------------------|--------|--------------------------------------------------------------------|
| H-1 | Documentación técnica HVAC 100 % recibida y clasificada | Sem. 5 | Acta de recepción documental firmada con el constructor.           |
| H-2 | Repositorio BIM 7D operativo y QR activos               | Sem. 6 | 100 % equipos etiquetados y fichas vinculadas al repositorio.      |
| H-3 | Dashboard BMS configurado y validado                    | Sem. 6 | COP, temperaturas y presiones visibles en tiempo real.             |
| H-4 | Personal de mantenimiento certificado en BMS            | Sem. 7 | ≥8 técnicos con evaluación ≥80 % aprobatoria.                      |
| H-5 | Bioseguridad validada en áreas críticas                 | Sem. 7 | Presiones verificadas en 4 quirófanos + aislamiento. Acta firmada. |
| H-6 | Acta de recepción técnica PDIRT firmada                 | Sem. 8 | Firma del Director Técnico del Hospital de Usme.                   |
| H-7 | Ciclo reflexivo completado                              | Mes 2  | Reporte de mejoras y protocolo actualizado entregado.              |

*Tabla 8. Hitos críticos del Proyecto PDIRT. Elaboración propia.*

### 4.4 Presupuesto

El presupuesto del Proyecto PDIRT se estructura en cuatro categorías de gasto, con una reserva de contingencia del 5 %. Todos los valores están expresados en pesos colombianos (COP) con fecha de referencia junio de 2026:

| Categoría             | Ítem                                                | Cantidad      | Subtotal (COP) |
|-----------------------|-----------------------------------------------------|---------------|----------------|
| Recursos humanos      | Coordinador IYO / Ing. Mecánico HVAC (320 h)        | 320 h         | \$4.500.000    |
| Recursos humanos      | Técnico de mantenimiento HVAC (80 h)                | 80 h          | \$1.200.000    |
| Recursos humanos      | Especialista BMS (40 h)                             | 40 h          | \$2.000.000    |
| Recursos tecnológicos | Plataforma gestión documental BIM (2 meses)         | 2 meses       | \$1.200.000    |
| Recursos tecnológicos | Extensión monitoreo BMS en la nube (lic. anual)     | 12 meses      | \$12.500.000   |
| Recursos tecnológicos | Etiquetas QR acero inoxidable (45 equipos)          | 45 u.         | \$3.200.000    |
| Recursos tecnológicos | Tablet / dispositivo de campo                       | 1 u.          | \$850.000      |
| Recursos materiales   | Materiales de capacitación, formatos y señalización | Global        | \$1.050.000    |
| Imprevistos           | Contingencia general (5 %)                          | 5 % del total | \$1.325.000    |

*Presupuesto total del proyecto: \$27.825.000 COP.*

*Tabla 9. Presupuesto detallado del Proyecto PDIRT — Hospital de Usme. Elaboración propia.*

La inversión se justifica ampliamente frente a los beneficios cuantificables del primer año de operación: \$85.000.000 COP en ahorro energético (recuperación de COP de 3,4 a 4,8), \$24.000.000 COP en reducción de costos de mantenimiento correctivo, y \$60.000.000 COP en costo evitado por un eventual episodio de infección nosocomial asociado a fallas de HVAC no detectadas (Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, 2021). El beneficio total estimado para el primer año es de \$169.000.000 COP, frente a una inversión de \$27.825.000 COP, lo que arroja un ROI del 507 % y un período de recuperación inferior a dos meses.

#### 4.5 Análisis de Riesgos

| Código | Riesgo                                                                 | Nivel      | Plan de mitigación                                                                         |
|--------|------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| R-01   | Resistencia al cambio del personal de mantenimiento                    | Medio-Alto | Jornada de sensibilización semana 5; inclusión del equipo en el diseño del protocolo.      |
| R-02   | Incompatibilidad entre BMS existente y plataforma en la nube           | Alto       | Prueba de integración (POC) en semana 5 antes de contratar la licencia anual.              |
| R-03   | Retrasos en la entrega de documentación por el contratista constructor | Muy Alto   | Cláusula de entrega documental en el acta de liquidación del contrato de obra.             |
| R-04   | Fallas en la red Wi-Fi interna del hospital para conectividad BMS      | Medio-Alto | Configurar acceso offline del dashboard; respaldo en red cableada (LAN).                   |
| R-05   | Presupuesto insuficiente para licencia BMS en la nube                  | Medio      | Incluir en el plan de inversión del operador del hospital desde la etapa de planificación. |

*Tabla 10. Registro de riesgos del Proyecto PDIRT. Elaboración propia.*

## Propuesta de Innovación en Procedimiento

Este capítulo presenta la propuesta formal de innovación en procedimiento derivada del Proyecto PROACTIVE, en cumplimiento del requisito establecido en el Instructivo M2-IN-005 de la Corporación Universitaria de Asturias (2025). La innovación transforma el procedimiento tradicional de recepción técnica de sistemas HVAC hospitalarios mediante tecnología BIM 7D, monitoreo predictivo y gestión participativa del conocimiento.

### Denominación

*Protocolo Digital Integrado de Recepción Técnica HVAC con Monitoreo Predictivo BMS y Trazabilidad QR — Modelo USME 2026.*

### Procedimiento Actual vs. Procedimiento Innovado

| Procedimiento actual (tradicional)                               | Procedimiento innovado (PDIRT-USME 2026)                                                                          |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Entrega de manuales en papel o PDF no organizados.               | Repositorio digital centralizado BIM 7D, clasificado por sistema y área.                                          |
| Sin etiquetado sistemático de equipos.                           | Etiqueta QR en acero inoxidable → acceso inmediato a la ficha técnica.                                            |
| Comisionamiento informal, sin checklist ni actas.                | Protocolo de comisionamiento digital, checklist verificable y acta firmada, alineado con ASHRAE Guideline 0-2019. |
| Capacitación BMS esporádica o inexistente.                       | Programa formal de 16 h con evaluación y certificación interna.                                                   |
| Monitoreo reactivo: fallas detectadas tras afectar la operación. | Dashboard predictivo: alertas tempranas antes de la falla.                                                        |
| Presiones diferenciales no verificadas formalmente.              | Acta firmada con mediciones según ASHRAE 170-2021.                                                                |
| Sin ciclo de retroalimentación post-entrega.                     | Ciclo reflexivo a 30 días: evaluación participativa y ajuste del protocolo.                                       |

*Tabla 11. Comparativa procedimiento actual vs. innovado PDIRT-USME 2026. Elaboración propia.*

### Impacto Esperado

#### *Eficiencia Energética*

Recuperación del COP de los chillers de 3,4 a mínimo 4,8 (92 % del valor de diseño 5,2); ahorro energético anual estimado de \$85.000.000 COP; reducción de la huella de carbono operacional en aproximadamente 45 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por año.

#### *Bioseguridad Hospitalaria*

Cumplimiento verificable de ASHRAE 170-2021 desde el primer día de operación; reducción del 40 % en el tiempo de respuesta ante alarmas críticas del BMS; mitigación del riesgo de infecciones nosocomiales

asociadas a fallas no detectadas en el sistema HVAC, en línea con los lineamientos del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia (2021).

### ***Gestión del Conocimiento Organizacional***

Primer repositorio documental HVAC bajo metodología BIM 7D en un hospital público de Bogotá; transferencia verificada del conocimiento técnico del equipo constructor al equipo operativo; modelo replicable para la red pública hospitalaria de la Secretaría Distrital de Salud.

### **Replicabilidad y Escalabilidad**

El PDIRT-USME 2026 está diseñado con criterios de replicabilidad para su aplicación en otros proyectos hospitalarios de la Secretaría Distrital de Salud y, potencialmente, a nivel nacional. Sus componentes son independientes del BMS específico instalado, lo que permite su adaptación a cualquier plataforma de gestión de edificios. La contribución principal del proyecto al campo de la gerencia de proyectos de infraestructura hospitalaria radica en demostrar que la brecha entre construcción y operación no es inevitable: con una inversión moderada en gestión del conocimiento técnico y digitalización de procesos —alineada con estándares reconocidos de comisionamiento (ASHRAE, 2019, 2021)— es posible garantizar que los sistemas HVAC hospitalarios funcionen desde el día uno en sus condiciones óptimas de diseño.

## Conclusiones

El Proyecto PROACTIVE desarrollado en el contexto del nuevo Hospital de Usme demuestra, mediante la aplicación rigurosa de la metodología de investigación-acción (Kemmis et al., 2014), que los problemas de gestión del conocimiento técnico en la transición construcción-operación de infraestructuras hospitalarias tienen soluciones concretas, medibles y financieramente viables.

El diagnóstico identificó con precisión cuatro causas raíz que generan la brecha en la recepción técnica de los sistemas HVAC: fragmentación documental, ausencia de protocolo estandarizado, falta de capacitación en BMS y dispersión de activos de información. La cuantificación de su impacto —pérdida del 35 % en eficiencia energética y riesgo Alto de bioseguridad según los criterios del Ministerio de Salud (2021) y de ASHRAE (2021)— justifica plenamente la inversión en el PDIRT.

El plan de acción demuestra que la solución no requiere tecnología experimental ni inversiones desproporcionadas: el PDIRT integra herramientas disponibles en el mercado colombiano (BIM 7D, QR, BMS en la nube) bajo un protocolo metodológico alineado con ASHRAE Guideline 0-2019 que asegura su efectividad desde el día uno de operación.

El análisis de viabilidad confirma que la inversión de \$27.825.000 COP genera un retorno del 507 % en el primer año de operación y se recupera en menos de dos meses, convirtiéndose en la decisión económicamente racional para el operador del hospital, cuya segunda fase de funcionamiento ya se encuentra activa desde junio de 2026 (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2026).

Finalmente, la propuesta de innovación PDIRT-USME 2026 constituye un modelo replicable para la red hospitalaria pública de Bogotá y un aporte concreto al campo de la gerencia de proyectos de infraestructura en salud en Colombia.

## Lecciones Aprendidas

- La investigación-acción es el enfoque metodológico más adecuado para intervenciones que buscan generar cambio organizacional simultáneamente con la producción de conocimiento aplicado (Kemmis et al., 2014).
- La cuantificación del impacto del problema (COP, costos, riesgo de bioseguridad) es fundamental para justificar la inversión en la solución ante los tomadores de decisión institucionales.
- Los protocolos digitales de recepción técnica deben diseñarse con el usuario final (personal de mantenimiento) desde el inicio, no al final, para garantizar su adopción efectiva.
- El ciclo reflexivo post-entrega no es un complemento opcional sino el mecanismo que transforma el protocolo de una herramienta estática en un sistema de mejora continua.

## 5. Referencias Bibliográficas

Las siguientes referencias se presentan en orden alfabético y con sangría francesa, conforme a la 7.<sup>a</sup> edición de la American Psychological Association (2020) y a los lineamientos institucionales (Guzmán Rincón, 2020):

- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2021, 27 de marzo). Claudia López da inicio a la construcción del nuevo Hospital de Usme. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/salud/claudia-lopez-da-inicio-la-construccion-del-nuevo-hospital-de-usme>
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2026, 2 de junio). Hospital de Usme abre urgencias y amplía atención en el sur de Bogotá. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/salud/hospital-de-usme-abre-urgencias-y-amplia-atencion-en-el-sur-de-bogota>
- American Psychological Association. (2020). Publication manual of the American Psychological Association (7.<sup>a</sup> ed.). <https://doi.org/10.1037/0000165-000>
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2019). ASHRAE Guideline 0-2019: The commissioning process. ASHRAE.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2021). ANSI/ASHRAE Standard 170-2021: Ventilation of health care facilities. ASHRAE.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2022). ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022: Ventilation for acceptable indoor air quality. ASHRAE.
- BibLus – ACCA Software. (2024, 6 de febrero). 7D BIM and facility management. <https://biblus.accasoftware.com/en/7d-bim-and-facility-management/>
- CONSULTORSALUD. (2026, 2 de junio). Hospital de Usme abre urgencias: nueva fase amplía la atención para más de 454.000 personas en el sur de Bogotá. <https://consultorsalud.com/hospital-de-usme-abre-urgencias/>
- Corporación Universitaria de Asturias. (2024). Reglamento de Opciones de Grado (Acuerdo No. 007 del 18 de febrero de 2024). Consejo Directivo.
- Corporación Universitaria de Asturias. (2025). Instructivo: Proyecto de Aplicación en Contextos Organizacionales PROACTIVE (Código M2-IN-005, Versión 003). Vicerrectoría de Investigaciones.
- Doran, G. T. (1981). There's a S.M.A.R.T. way to write management's goals and objectives. *Management Review*, 70(11), 35–36.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). BIM handbook: A guide to building information modeling (3.<sup>a</sup> ed.). Wiley.
- Guzmán Rincón, A. (2020). Norma APA 7.<sup>a</sup> edición: Guía de aplicación. Editorial Corporación Universitaria de Asturias.

- Healthcare Facility Hub. (2026, 18 de marzo). Healthcare HVAC commissioning: Testing, balancing, and ongoing compliance verification. <https://healthcarefacilityhub.org/healthcare-hvac-commissioning-testing-balancing-compliance-verification/>
- International Organization for Standardization. (2015). ISO 14644-1:2015. Cleanrooms and associated controlled environments — Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration.
- Kemmis, S., McTaggart, R., & Nixon, R. (2014). The action research planner: Doing critical participatory action research. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-4560-67-2>
- Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia. (2021). Manual de medidas básicas para el control de infecciones en instituciones prestadoras de servicios de salud. MinSalud.
- Project Management Institute. (2021). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide) (7.<sup>a</sup> ed.). PMI.
- Secretaría Distrital de Salud de Bogotá. (2022). Plan de desarrollo en salud de Bogotá 2020-2024: Bogotá cuida la vida. Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Strauss, A., & Corbin, J. (2002). Bases de la investigación cualitativa: Técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada. Editorial Universidad de Antioquia.
- Tobar, J., & Cía SAS. (2021). CN-0449: Nuevo Hospital de Usme — Sistema de aire acondicionado y ventilación mecánica. Especificaciones técnicas (Rev. 0) [Documento técnico de diseño]. José Tobar & Cía SAS.
- Tobar, J., & Cía SAS. (2021). CN-0449-DP-M-Capacidades de equipos: Ficha técnica de capacidades del sistema HVAC, Nuevo Hospital de Usme [Anexo técnico]. José Tobar & Cía SAS.
- Tobar, J., & Cía SAS. (2021). CN-0449-DP-M-Puntos de control: Listado de puntos de control del sistema de gestión de edificios (BMS), Nuevo Hospital de Usme [Anexo técnico]. José Tobar & Cía SAS.
- WSP. (2025, 13 de mayo). Commissioning services in healthcare. <https://www.wsp.com/en-us/services/commissioning-services-in-healthcare>

## Anexo A. Resumen Ejecutivo del PDIRT-USME 2026

| Campo                     | Contenido                                                                                                     |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nombre del proyecto       | Protocolo Digital Integrado de Recepción Técnica HVAC (PDIRT-USME 2026)                                       |
| Organización intervenida  | Hospital de Usme — Bogotá D.C.   Alta complejidad   33.354 m² construidos   221 camas                         |
| Problema central          | Brecha de información técnica HVAC en la transición construcción → operación.                                 |
| Pérdida cuantificada      | COP 5,2 → 3,4 (–34,6 %)   \$85M COP/año de sobre costo energético   Riesgo de bioseguridad Alto               |
| Solución propuesta        | PDIRT: 6 componentes (repositorio BIM 7D, QR, dashboard BMS, comisionamiento, capacitación, ciclo reflexivo). |
| Metodología               | Investigación-acción: Planificar → Actuar → Observar → Reflexionar (Kemmis et al., 2014).                     |
| Presupuesto total         | \$27.825.000 COP                                                                                              |
| ROI proyectado (año 1)    | 507 %   Recuperación < 2 meses                                                                                |
| Período de implementación | 5 semanas activas (sem. 5-8) + ciclo reflexivo mes 2                                                          |
| Innovación principal      | BIM 7D + monitoreo predictivo BMS + trazabilidad QR en acero inoxidable                                       |
| Replicabilidad            | Modelo escalable a la red pública hospitalaria de la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá                  |

*Anexo A. Resumen ejecutivo del Proyecto PDIRT-USME 2026. Elaboración propia.*

## Anexo B. Ficha Técnica de Equipos Principales (Datos Verificados)

Este anexo consolida los datos de placa de los equipos principales del sistema HVAC, extraídos de la ficha técnica de capacidades de equipos y del listado de puntos de control del proyecto (Tobar & Cía SAS, 2021), como evidencia técnica primaria que sustenta el diagnóstico y el diseño del PDIRT.

### B.1 Central Térmica (Enfriadores de Agua)

| Equipo                                                    | Capacidad                          | Refrigerante | EER / COP de placa                                                                      | Cantidad |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Enfriador condensación por aire #1 y #2                   | 100 TR c/u                         | R-410A       | EER 13,64 Btu/W·h (COP $\approx$ 4,0) plena carga · IPLV-EER 15,56 (COP $\approx$ 4,56) | 2        |
| Enfriador condensación por aire #3 (respaldo Data Center) | 26 TR                              | R-410A       | EER 13,05 Btu/W·h (COP $\approx$ 3,83) · IPLV-EER 15,07 (COP $\approx$ 4,42)            | 1        |
| Enfriador bomba de calor (recuperación de calor)          | 120 TR (serie) / 107 TR (paralelo) | R-134A       | COP de placa 4,54 (serie) / 4,21 (paralelo)                                             | 1        |

Tabla B-1. Ficha de capacidades de la central térmica — capacidad instalada total  $\approx$  346 TR. Fuente: Tobar & Cía SAS (2021).

### B.2 Unidades Manejadoras de Aire (UMA) y Bombeo

| Sistema                            | Dato verificado                                                                                                                                     |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Unidades manejadoras de aire (UMA) | 42 unidades en 5 plataformas técnicas (P-1 a P-5); caudal total de diseño 212.670 CFM                                                               |
| Zonas críticas atendidas           | Neonatos, Urgencias, Quirófanos, UCI Pediátrica, UCI Adultos, Imagenología, Laboratorio, Banco de Leche, Hospitalización (pisos 2 a 4), entre otras |
| Nivel de filtración típico         | MERV 13 / MERV 14 (bancos de filtro a la toma y a la descarga)                                                                                      |
| Bombeo de agua fría                | 3 conjuntos de bombas de caudal variable con variador de frecuencia + respaldo                                                                      |
| Bombeo de agua caliente            | 2 conjuntos de bombas de caudal variable con variador de frecuencia + respaldo                                                                      |

Tabla B-2. Ficha resumen de UMA y sistema de bombeo. Fuente: Tobar & Cía SAS (2021).

### B.3 Puntos de Control del Sistema BMS

| Categoría de equipos                               | Puntos de control definidos |
|----------------------------------------------------|-----------------------------|
| Central de frío (chillers y bombeo)                | 53                          |
| Central de frío — Data Center                      | 18                          |
| UMA hospitalarias (agua helada)                    | 22                          |
| UMA hospitalarias (caudal constante)               | 18                          |
| UMA hospitalarias (agua helada + caudal constante) | 25                          |

| Categoría de equipos            | Puntos de control definidos |
|---------------------------------|-----------------------------|
| UMA de caudal variable          | 18                          |
| Unidad Data Center              | 1                           |
| Sistemas hidráulicos            | 3                           |
| Fan-coils                       | 9                           |
| Cajas de volumen variable (CVV) | 6                           |
| Ventiladores                    | 4                           |
| Ventiladores con filtro         | 5                           |

*Tabla B-3. Puntos de control por categoría de equipo — total 182 puntos distintos. Fuente: Tobar & Cía SAS (2021), documento CN-0449-DP-M-Puntos de Control.*

Esta ficha técnica confirma, con datos de placa verificables, la escala y complejidad de información que el componente C-01 (Módulo Documental Digital) del PDIRT debe organizar, y el volumen de variables que el componente C-03 (Dashboard BMS Predictivo) debe visualizar de forma priorizada para que el personal de mantenimiento pueda operar el sistema sin depender de la memoria institucional del equipo constructor.