

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

Tema:

“Determinación de la viabilidad de uso de métodos termográficos para la detección y localización de fugas en instalaciones hidrosanitarias y comparativa con métodos tradicionales”

Autor:

Israel Alejandro Ramos Córdova

QUITO, ENERO 2023

Tabla de contenidos

Resumen	8
Abstract	9
1. Capítulo I. Generalidades	10
1.1. Introducción	10
1.2. Justificación	11
1.3. Alcance	11
1.4. Planteamiento del problema	12
1.5. Objetivos	12
1.5.1. Objetivo General	12
1.1.2. Objetivos específicos	12
1.6. Antecedentes	13
1.6.1. Análisis de detección de fugas en tuberías en Ecuador	13
1.7. Hipótesis	13
2. Capítulo II. Marco Teórico	14
2.1. Termodinámica	14
2.1.1. Ley de Fourier	14
2.1.2. Ley de Stefan-Boltzmann	14
2.1.3. Propiedades termodinámicas de los materiales	15
2.1.3.1. Calor específico	15
2.1.3.2. Reflectividad	15
2.1.3.3. Conductividad térmica	16
2.1.3.4. Resistencia térmica	16
2.2. Detección de fugas	17
2.2.1. Métodos de prospección destructivos	17
2.2.2. Métodos de prospección no destructivos	18
2.3. Análisis de recurrencia de fugas	19
2.3.1. Factores que influyen en la recurrencia de fugas	19
2.3.1.1. Defectos constructivos	19
2.3.1.2. Cambios repentinos de presión	20
2.3.1.3. Obsolescencia del sistema	20
2.3.2. Métodos de prospección destructivos y no destructivos	21
2.4. Termografía	21

2.4.1.	Espectro visible de la luz	21
2.4.2.	Cámaras termográficas	21
2.4.2.1.	Descripción general de la cámara	22
2.4.2.2.	Sensibilidad	22
2.4.2.3.	Precisión	22
2.4.2.4.	Modo de imagen	23
2.4.2.5.	Escala de temperaturas	23
3.	Capítulo III. Estudios de campo y Ambiente controlado	24
3.1.	Análisis de caso en campo	24
3.1.1.	Análisis teórico de caso en campo	24
3.1.1.1.	Primera visita	24
3.1.1.2.	Segunda visita	30
3.1.2.	Mediciones base: Escenario térmico actual	37
3.1.3.	Tiempo de evidencia de gradientes térmicos	38
3.1.3.1.	Primera visita	38
3.1.3.3.	Segunda visita	38
3.1.4.	Determinación de fallas en las instalaciones	38
3.1.4.1.	Primera visita	38
3.1.4.3.	Segunda visita	39
3.1.5.	Repetición de análisis en otros casos propuestos	40
3.1.5.1.	Aplicación práctica	40
3.2.	Análisis de caso en ambiente controlado experimental	44
3.2.1.	Ambiente controlado propuesto	44
3.2.2.	Análisis teórico de caso en ambiente controlado	44
3.2.2.1.	Infraestructura	44
3.2.2.2.	Recubrimientos	45
3.2.2.3.	Tubería	45
3.2.2.4.	Presión	47
3.2.3.	Mediciones con gradiente de temperatura positivo	49
3.2.3.1.	Recubrimiento: Porcelanato	49
3.2.3.2.	Recubrimiento: Cerámico	50
3.2.3.3.	Recubrimiento: Estucado y pintado	51
3.2.4.	Mediciones con gradiente de temperatura negativo	52
3.2.5.	Tiempo de evidencia de gradientes térmicos	52
3.2.6.	Determinación de fallas en las instalaciones	52
3.3.	Análisis de rubros. Comparativas de metodologías de prospección	53
3.3.1.	Criterios de comparación	53
3.3.2.	Método destructivo	54
3.3.2.1.	Mano de obra involucrada	54

3.3.2.2.	Equipo y materiales utilizados	54
3.3.2.3.	Área prospectada	54
3.3.2.4.	Daños residuales	54
3.3.2.5.	Tiempo empleado	55
3.3.2.6.	Diagrama de flujo método destructivo	56
3.3.2.7.	Análisis de precios unitarios	57
3.3.2.8.	Costo total de aplicación del método destructivo para el caso planteado	60
3.3.3.	Método no destructivo	60
3.3.3.1.	Mano de obra involucrada	60
3.3.3.2.	Equipo y materiales utilizados	60
3.3.3.3.	Longitud prospectada	60
3.3.3.4.	Daños residuales	61
3.3.3.5.	Tiempo empleado	61
3.3.3.6.	Diagrama de flujo: Método termográfico	62
3.3.3.7.	Análisis de precios unitarios	63
4.	Capítulo IV: Análisis de resultados y discusión	64
4.1.	Caso en campo	64
4.1.1.	Escenario térmico actual	64
4.1.1.1.	Ambiente de prospección	64
4.1.2.	Tiempo de evidencia del gradiente térmico	65
4.1.2.1.	Primera visita	65
4.1.2.2.	Segunda visita	68
4.1.2.3.	Aplicación práctica	70
4.1.3.	Fallas en las instalaciones	74
4.2.	Caso en ambiente controlado	74
4.2.1.	Mediciones con gradiente de temperatura positivo	74
4.2.2.	Mediciones con gradiente de temperatura negativo	75
4.2.3.	Tiempo de evidencia de gradientes térmicos	75
4.3.	Análisis de incidencia de costos en la elección del método prospectivo	75
4.3.1.	Método destructivo	76
4.3.2.	Método no destructivo	76
5.	Conclusiones y recomendaciones	77
5.1.	Conclusiones	77
5.2.	Recomendaciones	78
	Bibliografía	79
	Anexos	82

Anexo 1: fotografías	82
Construcción del muro de pruebas	82
Anexo 2: entrevista	86

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Ley de Fourier. (Sears y Zemansky, 2013).....	14
Ecuación 2. Ley de Fourier simplificada. (Sears y Zemansky, 2013).....	14
Ecuación 3. Ley de Stefan-Boltzmann. (Resnick, Halliday, y Krane, 2007).	15
Ecuación 4. Resistencia térmica. (Sears y Zemansky, 2013)	16

Índice de figuras

Figura 1. Descripción general de la cámara FLIR C5 Fuente: (FLIR Systems, 2018) ..	22
Figura 2. Diferencias entre escalas de temperaturas. Fuente: (FLIR Systems, 2018)....	23
Figura 3. Esquema de ejecución de técnica de gradiente negativo.	29
Figura 4. Diagrama de ejecución de drenaje del ramal (ubicación teórica de tubería) ..	35
Figura 5. Diagrama de ejecución Técnica de gradiente positivo.....	36
Figura 6. Esquema de Tanque de suministro listo para la prospección.....	36
Figura 7. Esquema de acoplamiento del tanque	37
Figura 8. Esquema en planta de conexión a prospectar Baño común	41
Figura 9. Esquema en planta de ramal elegido (Posible localización)	42
Figura 10. Esquema en perfil de drenaje de ramal	43
Figura 11. Ilustración isométrica infraestructura de muro de pruebas	45
Figura 12. Distintos recubrimientos de muro de pruebas	45
Figura 13. Esquema de vista en perfil de muro y localización de fuga.....	46
Figura 14. Ilustración de emplazamiento de tubería.....	47
Figura 15. Ilustración del sistema de presurización a gravedad	48
Figura 16: Resultados recubrimiento porcelanato	49

Figura 17: Resultados recubrimiento cerámico	50
Figura 18: Resultados recubrimiento: Estucado y pintado	51
Figura 19. Diagrama de procesos Método destructivo	56
Figura 20. Diagrama de procesos Método termográfico	62
Figura 21. Esquema en planta del área de prospección	64
Figura 22. Resultados obtenidos Gradiente de temperatura negativo lavamanos	65
Figura 23. Resultados obtenidos Gradiente de temperatura negativo Inodoro	66
Figura 24. Esquema del resultado de aplicación de Técnica de Gradiente Negativo.....	67
Figura 25. Resultados técnica de gradiente positivo	68
Figura 26. Diagrama de resultados Técnica de gradiente positivo.....	69
Figura 27. Resultados de prospección. Aplicación práctica	71
Figura 28. Esquema de ubicación real de tubería Baño común.....	73
Figura 29. Diagrama de emplazamiento de nueva llave de paso.....	74

Índice de imágenes

Imagen 1. Pared dañada por humedad de un aula clausurada	24
Imagen 2. Pared dañada por humedad de un aula clausurada.	25
Imagen 3. Daño extendido por humedad (pared interior)	25
Imagen 4. Pared interior dañada por humedad sin baños cerca.....	25
Imagen 5. Pared dañada por fugas en tubería de baños contiguos	26
Imagen 6. Baños. Recubrimientos cerámicos representativos	26
Imagen 7. Cámara termográfica FLIR C5	27
Imagen 8. Medición con cámara termográfica	30
Imagen 9. Esquema despiezado de Tanque de suministro de agua caliente.....	31
Imagen 10. Recipiente térmico.....	32
Imagen 11. Válvula de paso de agua de media pulgada.....	32
Imagen 12. Neplo de conexión de mangueras de abasto.....	32
Imagen 13. Mangueras de abasto de inodoro (arriba) y lavamanos (abajo).....	33
Imagen 14. Tanque de suministro de agua caliente armado.....	33
Imagen 15. Tetera eléctrica usada en la prospección	34
Imagen 16. Acoplamiento de tanque de suministro de agua en llave de abasto lavamanos.	43
Imagen 17. Tanque de presión.....	47

Imagen 18. Medición termográfica	52
Imagen 19. Infraestructura de muro de pruebas	82
Imagen 20. Infraestructura de muro de pruebas (enlucido).....	82
Imagen 21. Infraestructura de muro de pruebas (colocación de tubería)	82
Imagen 22. Infraestructura del muro de pruebas (resane de tubería)	83
Imagen 23. Recubrimiento de porcelanato	83
Imagen 24. Recubrimiento cerámico.....	83
Imagen 25. Estucado y pintado.....	84
Imagen 26. Medición termográfica en muro de pruebas	84
Imagen 27. Medición termográfica en recubrimiento cerámico.....	85
Imagen 28. Drenaje de ramales con tanque de suministro de agua.	85

Índice de tablas

Tabla 1. Conductividad térmica de materiales usados en construcción. Fuente: (Sears y Zemansky, 2013)	16
Tabla 2. Resistencia térmica nominal de materiales de construcción. Fuente: (Sears y Zemansky, 2013)	17
Tabla 3. Características técnicas de imagen FLIR C5. Fuente: FLIR Systems.....	27
Tabla 4. Características técnicas secador de cabello	28
Tabla 5. Elementos y descripción Tanque de suministro de agua caliente	31
Tabla 6. Especificaciones de tetera.....	34
Tabla 7. Bitácora de la primera visita.....	39
Tabla 8. Bitácora de segunda visita	40
Tabla 9: APU Picado y resane de pared realizado a partir de: CAMICON (2022).....	57
Tabla 10: APU Enlucido interno realizado a partir de: CAMICON (2022).....	58
Tabla 11. APU Cerámica en pared 20x30 cm realizado a partir de: CAMICON (2022).	59
Tabla 12. Costo total por prospección del método destructivo	60
Tabla 13. Costo total de prospección termográfica de 3 horas.....	63
Tabla 14: Resultados de la comparación.	75

Resumen

De acuerdo con datos de la EPMAPS, de todas las fugas que se detectaron en la ciudad de Quito en el año 2021: el 20% se presentan en la tubería municipal de abastecimiento de agua a la vivienda, en cuyo caso, es responsabilidad de la EPMAPS su reparación; y el 80% restante dentro de la vivienda abastecida, en tal caso queda a criterio del propietario el manejo de la fuga, y la Norma Hidrosanitaria Ecuatoriana (NHE) no posee estándares para la reparación de la misma a más de las propias consideraciones que se tienen para la construcción de instalaciones sanitarias. Ninguno de los métodos vigentes de localización de fugas permiten su visualización previa a la destrucción de los recubrimientos; esto evidencia la necesidad de un método de prospección de tuberías no destructivo.

Su contenido teórico abarca los conceptos fundamentales de la transferencia de calor, el manejo y características de cámaras termográficas, las propiedades termodinámicas de ciertos materiales de construcción, contexto sobre las instalaciones hidrosanitarias en Ecuador y detección de fugas. Dentro de su contenido experimental se encuentra la construcción de un muro de pruebas en ambiente controlado, la contextualización de las propiedades termodinámicas de los materiales dentro de instalaciones hidrosanitarias, la determinación de un método eficaz para la realización de una prospección termográfica, visitas de campo y aplicación de caso en campo. Adicionalmente se realizó un presupuesto para la aplicación del método destructivo y termográfico con el fin de compararlos económicamente.

Se determinó que, si bien el método termográfico prueba ser más costoso a pequeña escala, es viable la utilización de termografía tanto para localizar las tuberías como las fugas presentes en ellas mediante la circulación artificial a presión de agua caliente, ofreciendo un método de localización de fugas que no recurre a la destrucción de los recubrimientos de la tubería.

Palabras clave: Estándares, detección de fugas, localización de fugas, cámaras termográficas, propiedades termodinámicas, instalaciones hidrosanitarias, método destructivo.

Abstract

According to EPMAPS data, of all the leaks that were detected in Quito in 2021: 20% occur in the municipal water supply pipe attached to the home, in which case EPMAPS workers are required to repair it; and the remaining 80% within the supplied home, in which case the management of the leak is left to the discretion of the owner, and the Ecuadorian Hydro-sanitary Standard (NHE) does not have standards for its repair, apart from the considerations it has for hydro-sanitary installations construction. None of the current methods of locating water leaks allow their visualization prior to the destruction of the coatings; this evidences the need for a non-destructive pipeline prospecting method.

Its theoretical content covers the fundamental concepts of heat transfer, the management and characteristics of thermographic cameras, the thermodynamic properties of certain construction materials, context of hydro-sanitary facilities in Ecuador and leak detection. Within its experimental content figure, the construction of a test wall in a controlled environment, the contextualization of the thermodynamic properties of materials within hydro-sanitary facilities, the determination of an effective method for conducting a thermographic prospection, field visits and an experimental application in the field. Additionally, a budget for the cost of applying the destructive and thermographic method was made to compare both methods economically.

It was decided that, though the thermographic method has proven to be more expensive on a short scale, the use of thermography is possible both to locate the pipes and the leaks present in them through the artificial circulation of hot, pressurized water, offering a method of locating leaks that does not resort to the destruction of the pipe coatings.

Keywords: Standards, leak detection, leak location, thermographic cameras, thermodynamic properties, hydro-sanitary installations, destructive method.

Capítulo I. Generalidades

1.1. Introducción

Desde siempre el ser humano se ha caracterizado por su sentido de intuición en la búsqueda de soluciones a problemas comunes mediante la aplicación de principios tecnológicos y científicos. Tal es el caso que, desde su descubrimiento por William Herschel en 1800, el rango infrarrojo del espectro electromagnético de la luz y su estrecha relación con la temperatura de los objetos ha ofrecido un enfoque distinto al desarrollo de tecnología que permite valorar diferencias en dichas magnitudes, tal es el caso de los termómetros y cámaras termográficas.

En Ecuador, el uso de cámaras termográficas está concentrado en la vigilancia o en la detección de elementos calientes en unidades eléctricas; sin embargo, este trabajo propone la investigación y desarrollo de una metodología que permita la localización exacta de fugas de agua en sistemas hidrosanitarios domésticos sin transgredir de ninguna forma las Normas vigentes; para que, en lugar de recurrir directamente a la destrucción de los recubrimientos de la tubería, se localice la fuga y se minimice el área a desalojar para repararla.

Según lo expuesto por Duque (2015), en Ecuador el método principal de localización de fugas es un ensayo destructivo. Sin embargo destruir los recubrimientos de una tubería sin la certeza de localizar la falla que en ésta se presenta resulta en una práctica poco eficiente y susceptible a errores. La tecnología termográfica ofrece la oportunidad de ampliar el espectro bajo el cual se evalúan las fugas presentes en tuberías reduciendo el riesgo de realizar una prospección en el lugar equivocado.

Es importante mantener en cuenta que desarrollar un método aplicable de prospección de tuberías mediante termografía requiere la contextualización de las propiedades termodinámicas de los materiales empleados en su construcción, especialmente su resistencia térmica, puesto que será la barrera que el método deberá sobrellevar para mostrar cambios en la temperatura superficial medida por la cámara.

Con el fin de determinar si la tecnología termográfica es una alternativa viable para detectar tuberías y localizar fugas se desarrolló la presente investigación.

1.2. Justificación

Dentro de la ingeniería civil las instalaciones sanitarias juegan un rol clave para la habitabilidad y confort en un proyecto, es así que es el trabajo de la ingeniería civil proveer soluciones apropiadas cuando se presentan problemas en dichas instalaciones. El presente estudio tiene como objeto la determinación de una metodología diferente en el campo de detección de fallas en las instalaciones hidrosanitarias usando criterios y dispositivos más acordes con la tecnología disponible en la actualidad. Tomando en cuenta el tiempo y dinero que son necesarios para la detección y arreglo de las instalaciones hidrosanitarias, es notable que los métodos tradicionales para la detección de fallas en este tipo de instalaciones son ineficientes, ya que se basan en la destrucción del recubrimiento de la tubería sin conocer exactamente la localización de la falla. Con el método propuesto en la presente disertación se pretende encontrar el daño en la tubería en mucho menos tiempo y sin correr el riesgo de, en caso de inspeccionar, dañar un tramo de la tubería donde no se presenta la falla como resulta común en los métodos destructivos. Adicionalmente, se trata de una metodología que permite encontrar tuberías cuando no se cuenta con información en campo, planos *as-built*, o se hayan presentado defectos o inexactitudes en la etapa constructiva y se optó por cambiar su localización. Además, es factible conocer la localización de desagües y posibles nuevas rutas de estos en caso de ser necesarias.

1.3. Alcance

La presente disertación comprende la investigación y desarrollo de una metodología más eficiente para la inspección de instalaciones hidrosanitarias, basada en la termografía.

Se realizarán estudios termográficos en campo en distintos escenarios térmicos, diferentes horas del día, diferentes temperaturas y distintos lugares con el fin de determinar una metodología que permita evidenciar las tuberías de instalaciones hidrosanitarias para luego aplicarla en el estudio de determinación de fugas en un ambiente controlado.

Se levantará una pared experimental con recirculación artificial de agua por medio de tuberías recubiertas con diferentes materiales con el fin de estudiar en diferentes escenarios térmicos el uso de calorimetría en un ambiente controlado para determinar

fugas y establecer líneas base que permitirán la comparación de metodologías de prospección de instalaciones hidrosanitarias.

1.4. Planteamiento del problema

El objeto de estudio es la determinación de una metodología no destructiva que se basa en las cualidades termodinámicas de los materiales y su comportamiento e interacciones, para la inspección de instalaciones hidrosanitarias de forma moderna, exacta y completa que ahorre tiempo y recursos en comparación con las metodologías destructivas tradicionales.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar la viabilidad de uso de la termografía, basándose en las propiedades termodinámicas de los materiales para la detección y localización de fugas en instalaciones hidrosanitarias.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar cuáles son los métodos comúnmente utilizados por contratistas en el medio local para la inspección de instalaciones hidrosanitarias.
- Caracterizar las propiedades termodinámicas de materiales de construcción comunes y conceptualizar su comportamiento cuando existen instalaciones hidrosanitarias dentro de paredes de una edificación.
- Realizar una comparación entre los métodos tradicionales de detección de fugas y el método termográfico.
- Realizar un estudio termográfico sobre una pared prototipo con instalaciones de agua embebidas para estimar la efectividad con la que se visualizan fugas de agua y la posición de las tuberías en distintos escenarios térmicos.
- Realizar un estudio de caso aplicando este método de inspección de instalaciones hidrosanitarias en una edificación real.

1.6. Antecedentes

1.6.1. Análisis de detección de fugas en tuberías en Ecuador

De acuerdo con Duque (2015), en Ecuador el método de inspección de tuberías usado con más frecuencia, además del método acústico (geófono), es el de prospección basada en los sentidos; es decir, se detecta la fuga mediante el tacto y la inspección visual. Del mismo modo, Lahlou (2012) explica que este método resulta inexacto y arriesgado por el hecho de tener que destruir los recubrimientos de la tubería para acceder al sitio donde se halla la posible fuga, esto sin saber si la misma se encuentra allí en primer lugar, corriendo el riesgo de un trabajo infructuoso e incluso de provocar más daños en la tubería.

Según expone Sandoval (2017), si bien existen casos en los que la prospección visual es suficiente para la correcta localización de la fuga, el tiempo que debe transcurrir para que el agua pase los recubrimientos y sea visible es demasiado largo y el daño se extiende a recubrimientos; además se generan gastos económicos derivados de un mal sistema de instalaciones hidrosanitarias y el indeseado impacto ambiental debido al desperdicio del agua.

De acuerdo con lo expuesto por Arias y Carrasco (2016), resulta una gran desventaja el carecer de la tecnología necesaria para la detección de fugas de manera especial en tuberías de desagües, los desagües son particularmente complicados de localizar debido a sus recubrimientos, ya que están en el suelo, generalmente se tratan de materiales menos permeables como baldosas o pisos de hormigón.

1.7. Hipótesis

La utilización de la termografía en la detección de fugas en instalaciones hidrosanitarias es más eficiente que el uso de métodos destructivos tradicionales, basado en un análisis tiempo/costo/riesgo.

Capítulo II. Marco teórico

2.1. Termodinámica

2.1.1. Ley de Fourier

De acuerdo con Sears y Zemansky (2013), la Ley de Fourier para la transferencia de calor establece que, en caso de existir diferencia de temperatura entre dos objetos pertenecientes al mismo sistema, el calor “ H ” fluirá del objeto más caliente al menos caliente en un área de difusión “ A ” de forma proporcional a la diferencia de temperaturas que exista entre ellos.

La constante de proporcionalidad que hace posible esta relación es la constante “ k ”, una cualidad intrínseca del material llamada conductividad térmica (Puig, 1950).

$$H = -kA \frac{dT}{dx}$$

Ecuación 1. Ley de Fourier. (Sears y Zemansky, 2013)

La derivada de la temperatura respecto de una dimensión espacial “ x ” y el signo negativo de la ecuación están basados en que el gradiente de temperatura es negativo ya que decrece la temperatura “ T ” mientras aumenta el valor de “ x ”.

Se puede simplificar dicha ecuación al considerar que el gradiente de temperatura es igual a la diferencia de temperaturas entre los cuerpos dividida para la longitud de conducción del calor.

$$H = -kA \frac{(T_2 - T_1)}{L}$$

Ecuación 2. Ley de Fourier simplificada. (Sears y Zemansky, 2013)

De esta ecuación se puede dividir la longitud de conducción para la conductividad térmica y el área de conducción para obtener el coeficiente de resistencia térmica, una cualidad única de cada material que se conoce como la resistencia natural que tiene el calor de fluir en dos puntos de un mismo elemento (Sears y Zemansky, 2013).

2.1.2. Ley de Stefan-Boltzmann

La radiación es la emisión de energía por medio de partículas u ondas electromagnéticas (Muñoz, Creus, Sanjuan, Rabal, y Gallego, 2013). De acuerdo a Resnick, Halliday, y Krane (2007), se define como radiación térmica a la que emite un

cuerpo por su temperatura y su intensidad es medible en el espectro electromagnético gracias a que se distribuye continuamente en longitud de onda. La ecuación que gobierna la cantidad de calor que expide un cuerpo debido a su temperatura es la ley de radiación de Stefan-Boltzmann, que según Sears y Zemansky (2013), es:

$$H = Ae\sigma T^4$$

Ecuación 3. Ley de Stefan-Boltzmann. (Resnick, Halliday, y Krane, 2007).

De acuerdo con Cañas, Martín, y González (2003), el calor “ H ” que expide el cuerpo analizado es directamente proporcional a su temperatura elevado a la cuarta potencia, a la emisividad, “ e ”; al área o superficie por la cual se expide la temperatura y a la constante de Boltzmann “ σ ”. Esta última es una constante fundamental de la naturaleza que se deriva de otras como la constante de Planck y la velocidad de la luz y cuyo valor es: $\sigma = 5.6704001402 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$.

Según Muñoz, Creus, Sanjuan, Rabal, y Gallego (2013), la emisividad es un número adimensional que puede tomar valores entre 0 y 1 que relaciona la tasa de radiación de una superficie con otra de la misma área que se comporta como un radiador ideal (cuerpo negro).

2.1.3. Propiedades termodinámicas de los materiales

2.1.3.1. Calor específico

De acuerdo con Resnick, Halliday, y Krane (2007), el calor específico es la cantidad de calor que debe ser administrada a un cuerpo para que su temperatura global cambie en un grado. Es una propiedad intrínseca de los materiales que depende de la masa del objeto de estudio y del cambio de temperatura que se espera generar en el mismo.

2.1.3.2. Reflectividad

De acuerdo con Royo (2015), la reflectividad o índice de reflexión es una cualidad específica de los materiales y se define como el cociente entre la magnitud de la radiación reflejada y la incidente sobre un cuerpo. Un espejo funciona por tener un índice de reflectividad muy alto; de manera análoga, todas las superficies brillantes tienen un coeficiente de reflectividad asociado al material que las conforman y a sus condiciones superficiales. (Resnick, Halliday, y Krane, 2007).

La elevada reflectividad, al ser una característica de las superficies brillantes, se puede disminuir al opacar las superficies. (Cañas, Martín, y González, 2003).

2.1.3.3. Conductividad térmica

Según lo expuesto por Sears y Zemansky (2013), la conductividad termica “*k*” es una cualidad de los materiales que representa la facilidad o dificultad de transferencia de calor en un área determinada, es así que los materiales con “*k*” elevado son buenos conductores del calor mientras aquellos que poseen una conductividad pequeña son malos conductores o aisladores.

Conductividad Térmica	
Sólidos	
Sustancia	"k" (W/m* K)
Ladrillo aislante	0,15
Bloque de Cemento	0,6
Hormigón	2,5
Corcho	0,04
Fieltro	0,04
Fibra de Vidrio	0,04
Vidrio	1
Madera	0,13
Acero	50,2
Cerámica	0,8
Gases	
Aire	0,024
Líquidos	
Agua	0,58

Tabla 1. Conductividad térmica de materiales usados en construcción. Fuente: (Sears y Zemansky, 2013)

2.1.3.4. Resistencia térmica

Sears y Zemansky (2013), mencionan que la resistencia térmica es la capacidad que poseen los materiales de oponerse a un flujo de temperatura que se extiende sobre él. Es el concepto opuesto a la conductividad térmica y depende de las características físicas geométricas del objeto como el área por donde se extiende el calor y la longitud de conducción del mismo.

$$R_t = \frac{L}{k * A}$$

Ecuación 4. Resistencia térmica. (Sears y Zemansky, 2013)

Según Resnick, Halliday, y Krane (2007), la longitud y área de conducción toman lugar en el cálculo de la resistencia térmica debido a que son indicadores geométricos de la cantidad de masa por la que deberá transferirse el calor.

Resistencia Térmica	
Sólidos	
Sustancia	"Rt" (K*m²/W)
Ladrillo aislante	6,67
Bloque de Cemento	1,67
Hormigón	0,40
Corcho	25,00
Fieltro	25,00
Fibra de Vidrio	25,00
Vidrio	1,00
Madera	7,69
Acero	0,02
Cerámica	1,25
Gases	
Aire	41,67
Líquidos	
Agua	1,72

Tabla 2. Resistencia térmica nominal de materiales de construcción. Fuente: (Sears y Zemansky, 2013)

2.2. Detección de fugas

2.2.1. Métodos de prospección destructivos

De acuerdo con Fuentes Mariles, Palma Nava, y Rodríguez Vásquez (2011), una fuga es una salida no controlada de agua en cualquiera de los componentes del sistema de distribución de agua potable; con mayor frecuencia ocurren en uniones de tuberías, codos, roturas de conductos y válvulas.

Sin embargo, determinar que existe una fuga en la práctica conlleva que la misma haya existido por una larga cantidad de tiempo y que sus efectos se volvieron notorios (Lahlou, 2012). Además se suma la dificultad de carecer de la tecnología que hace posible la localización exacta de la falla y los servicios de plomería, que a menudo resultan poco técnicos (Jimbo , Jimbo, y Aguilera, 2017).

En Ecuador, debido a diversas circunstancias y protocolos derivados del contexto en el que se realiza la obra o el mantenimiento de la misma, para detectar una fuga en una red hidrosanitaria, sea esta pública o privada, se suele esperar a que los daños en los recubrimientos sean evidentes (Duque, 2015). En tal caso, expone Lahlou (2012), el área

superficial que presenta los daños por humedad será mayor cuanto más tiempo haya permanecido la fuga lo que dificulta los esfuerzos para localizarla.

Según Arias y Carrasco (2006) si no se dispone de la tecnología necesaria para la exacta localización de la fuga se requiere realizar la prospección física que resulta en la destrucción de un área sustancial previa a encontrarla. De acuerdo a Jimbo, Jimbo, y Aguilera (2017), esto resulta ineficiente ya que al intervenir destructivamente la tubería se interrumpe el servicio de agua y se inutiliza el área que esta siendo intervenida.

2.2.2. Métodos de prospección no destructivos

Los principales métodos de prospección no destructivos para determinar si existe fugas en tuberías están basados en la ecuación de continuidad, si el caudal que sale de una red de tuberías es menor al caudal que ingresa se tiene una fuga en el sistema (Gómez-Camperos, 2020).

Dentro de la NHE vigente no se encuentran incisos que estandaricen los procedimientos de reparación de las redes hidrosanitarias domésticas; sin embargo según expone Simbaña (2021), existe en la EPMAPS (Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento) dos equipos técnicos que se encargan de encontrar y reparar fugas mediante el uso de métodos acústicos como el geófono.

De acuerdo con Fonseca Pérez y Rodríguez Sastoque (2017), el geófono es un instrumento que permite captar movimientos o vibraciones que produce el agua al salir por el orificio de la fuga.

Simbaña (2021) expone que dentro de las técnicas usadas en la EPMAPS para detectar fugas se encuentra el uso del geófono; sin embargo, comunica que el factor determinante no es el equipo, sino el técnico que lo maneja.

De acuerdo con datos de la EPMAPS (2021), el 20% de las fugas localizadas se dan en la tubería matriz y el otro 80% en las instalaciones domiciliarias, dejando a discreción de los afectados la rehabilitación de las mismas u ofreciendo sus servicios como empresa pública como un rubro más en la planilla mensual para solucionar la fuga.

Además, Fonseca Pérez y Rodríguez Sastoque (2017) exponen que el uso del geófono depende de las condiciones del ambiente debido a que la lluvia, el sonido del tránsito vehicular o de origen animal entre otros factores producen ruido que dificulta el

correcto manejo del aparato dejando el método aplicable solo en circunstancias ventajosas.

De acuerdo con Gómez-Camperos (2020), existen sistemas computacionales aplicados a la detección de fugas, dichos sistemas se encargan de determinar si existe una fuga y no de localizarla mediante la detección de cambios en la presión de las tuberías. Sin embargo, dicho método de detección de fugas es aplicable en redes extensas que hayan previsto la infraestructura de sensores para la recopilación de datos desde un principio.

2.3. Análisis de recurrencia de fugas

2.3.1. Factores que influyen en la recurrencia de fugas

2.3.1.1. Defectos constructivos

2.3.1.1.1. Mala fiscalización

Según explica el gerente de la EPMAPS, Othón Zevallos (2022), se calcula que hay más de 30.000 fugas al año en la ciudad de Quito y la mayoría se presentan en las instalaciones domiciliarias. De igual manera, Zevallos explica que tales cifras son anormales y se dan por la utilización de malas prácticas constructivas o por contratistas inescrupulosos que realizan trabajos de mala calidad en pro de recibir beneficios económicos.

Los descuidos o irregularidades generales en la labor de fiscalización conducen inevitablemente a la disminución de calidad en la obra y contribuye a que se originen daños en la misma en su etapa de servicio (Freire, 2007).

2.3.1.1.2. Mal control de calidad

De acuerdo con lo expuesto por Freire (2007), un mal control de calidad es el resultado derivado de una mala fiscalización de la obra ya que es trabajo del fiscalizador controlar los componentes, materiales y mano de obra en la construcción. La calidad de los materiales empleados en las redes hidráulicas, así como su correcta instalación, son factores importantes ya que son indicadores del desempeño futuro de la red (Fonseca Pérez y Rodríguez Sastoque, 2017).

Esto implica, dice Freire (2007), que la utilización de materiales inadecuados, viejos o que presentan defectos de fabricación incrementan la posibilidad de fallas en las edificaciones.

2.3.1.1.3. Asentamientos diferenciales

De acuerdo con Pineda y Natafi (2006), los esfuerzos aplicados a las tuberías por asentamientos diferenciales suelen ser omitidos o subestimados al momento de diseñar la red y pueden producir fisuras, desacoples e incluso roturas en las tuberías afectadas.

2.3.1.2. Cambios repentinos de presión

Según explican Martínez Codina, Saavedra, Cueto Felgueroso, y Garrote (2016), gestionar la presión a la que se encuentra una tubería reduce la probabilidad de roturas en la misma debido a que, si la presión en las tuberías se mantiene dentro de los criterios considerados en su etapa de diseño, disminuyen los esfuerzos a los cuales se someten las uniones o cambios de dirección de las tuberías evitando separaciones o fugas.

De acuerdo con Jaraba Lozano, Méndez Navarro, y Salazar Cantor (2009), los cambios repentinos de presión se producen en redes domésticas por irregularidades en los sistemas municipales de conducción de agua tales como cortes y reparación de sectores de tubería que producen el fenómeno de golpe de ariete. El golpe de ariete es un fenómeno en el que la presión en una tubería aumenta repentinamente por una variación brusca en la velocidad del fluido dentro de la misma (Giles, 1979).

2.3.1.3. Obsolescencia del sistema

Según lo explica Duque (2015), el tiempo de vida de una tubería depende de los materiales de los que está hecha y las condiciones de servicio de la misma ya que los materiales son indicadores de las propiedades mecánicas de la tubería y las condiciones de servicio contextualizan dichos indicadores con el fin de estimar posibles fallas futuras en la red. Una tubería es obsoleta cuando sus condiciones de servicio logran desgastar la misma hasta el punto en el que se afecta la capacidad de conducir caudales y presiones o la calidad del agua (Ortega, 2014).

Es importante mencionar, de acuerdo con Heinselman (2020), que un factor a considerar para juzgar la obsolescencia de un sistema es el tiempo de servicio ya que tuberías hechas de materiales como el hierro galvanizado se erosionan y oxidan con el

pasar del tiempo, afectando las características mecánicas de la tubería y provocando su fragilidad.

2.3.2. Métodos de prospección destructivos y no destructivos

Al estar únicamente ligados a la rehabilitación de la fuga y no a los factores que facilitan su aparición, los métodos de prospección de fugas no brindan criterios importantes acerca de porqué una fuga podría ser recurrente.

Sin embargo, de acuerdo con lo expuesto por Lahlou (2012), si se destruye el recubrimiento de una tubería y no se encuentra la fuga, se corre el riesgo de producir daños a la tubería en el sitio donde se realice la prospección errónea.

2.4. Termografía

Según lo expuesto por Revillas (2011), la termografía infrarroja etimológicamente significa “*escritura con calor de lo que está por debajo del rojo*”. Se refiere al espectro electromagnético de la luz que posee una longitud de onda que la excluye de la luz visible.

2.4.1. Espectro visible de la luz

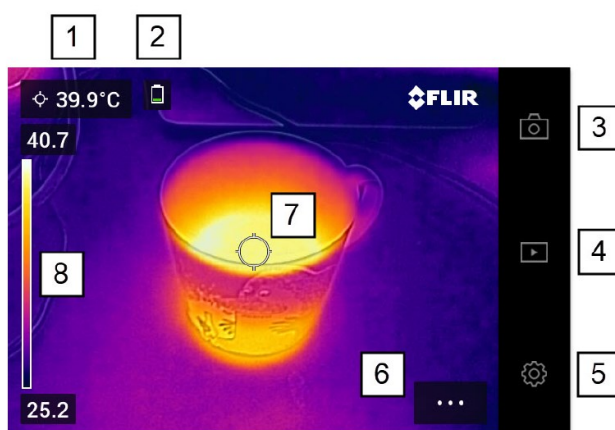
De acuerdo con Resnick, Halliday, y Krane (2007), la longitud de onda que los seres humanos podemos observar es de 380-750 nanómetros. La temperatura es un tipo de radiación del espectro electromagnético que se transmite en longitudes de onda mayores a este umbral, es por eso que no podemos observar la intensidad calórica intrínseca de los materiales (Sears y Zemansky, 2013).

2.4.2. Cámaras termográficas

Para poder observar la temperatura de los elementos es necesario de equipos especializados que perciben las excitaciones del espectro electromagnético a longitudes de onda mayores, estos equipos se llaman cámaras termográficas (Revillas, 2011).

Para efectos de la presente investigación se usará la cámara termográfica FLIR C5.

2.4.2.1. Descripción general de la cámara



1. Tabla de resultados.
2. Iconos de estado.
3. Botón de vista en tiempo real.
4. Botón Galería.
5. Botón de ajustes.
6. Botón Menú.
7. Puntero de medida.
8. Escala de temperatura.

Figura 1. Descripción general de la cámara FLIR C5 Fuente: (FLIR Systems, 2018)

2.4.2.2. Sensibilidad

De acuerdo a lo expuesto por Balageas (2007), la diferencia de temperatura equivalente al ruido, o NETD por sus siglas en inglés, es una medida que describe la menor diferencia en la temperatura de dos píxeles que la cámara puede medir. En efecto, cuanto más bajo es el NETD mejor se puede detectar un contraste térmico significativo observable emergiendo por sobre el ruido del sistema.

La diferencia de temperatura equivalente al ruido de la cámara FLIR C5 es menor a 70 mK (mili-kelvin) lo que hace posible evidenciar gradientes térmicos de pixel a pixel desde 70 mK (FLIR Systems, 2018).

2.4.2.3. Precisión

Según Balageas (2007), es la medida de cuán precisa es la temperatura medida de un objeto con relación a su verdadera temperatura.

La precisión de la cámara FLIR C5 es de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ (FLIR Systems, 2018).

2.4.2.4. Modo de imagen

La cámara posee tres modos de imagen; térmica, digital y multiespectral. Al momento de realizar una fotografía, la misma se almacena en la memoria interna de la cámara de ambos modos para su posterior análisis (FLIR Systems, 2018).

2.4.2.5. Escala de temperaturas

Al funcionar mediante diferencias de temperaturas, la escala de temperatura que maneja la cámara será el indicador de cómo se mostrará la imagen (Revillas, 2011).

Se puede ajustar una imagen infrarroja de forma manual y automática. La forma automática la realiza la cámara al establecer el punto más frío (coloración azul) y el punto más caliente (coloración roja o anaranjada) y así muestra todos los gradientes térmicos presentes en la pantalla (FLIR Systems, 2018).

La configuración de una escala manual de temperaturas se realiza para priorizar ciertas zonas de la imagen eliminando la “contaminación” proveniente de la temperatura del ambiente (Revillas, 2011).

De acuerdo con el manual de operación de la cámara provisto por FLIR Systems (2018), la *figura 2 (izquierda)*, con ajuste automático aplicado, posee un amplio intervalo de temperaturas entre el ambiente y el objeto lo que dificulta realizar un análisis correcto. Se obtiene una imagen con mayor detalle del edificio si cambia la escala de temperatura a valores cercanos a la temperatura del edificio *figura 2 (derecha)*.



Figura 2. Diferencias entre escalas de temperaturas. Fuente: (FLIR Systems, 2018)

Esta variabilidad en la escala de temperaturas de la cámara hace que las condiciones ambientales dependientes del clima o la hora del día sean irrelevantes en la medición.

3. Capítulo III. Estudios de campo y Ambiente controlado

3.1. *Análisis de caso en campo*

3.1.1. Análisis teórico de caso en campo

Para el diseño del experimento en ambiente controlado se deben analizar de forma práctica las variables que toman lugar en la prospección termográfica, es ésta la razón por la que se planificaron 2 visitas de campo. El objetivo de dichas visitas es la recopilación de información enfocada a encontrar las tuberías mediante termografía para luego, en el estudio de ambiente controlado, aplicar dichos conocimientos en la detección de fugas.

3.1.1.1. Primera visita

El día 2 de junio del presente año se realizó la primera visita técnica en el Centro de Educación Inicial Nro. 1 ubicada en la calle Azuay 2215 entre República y Amazonas. La visita fue posible debido a informes de fallas en la infraestructura hidrosanitaria enviados hacia el Ministerio de Educación por parte de las autoridades del Centro que permitieron el conocimiento de la existencia de tales problemas y motivaron la visita.

De acuerdo con autoridades y trabajadores del Centro, existe un problema de humedad general en todas las edificaciones que afecta no solo a la infraestructura sanitaria sino a paredes y pisos en general causando el cierre de los espacios afectados entre los que se encuentran dos baños y dos aulas de clase.



Imagen 1. Pared dañada por humedad de un aula clausurada



Imagen 2. Pared dañada por humedad de un aula clausurada.

Se realizó un recorrido guiado tanto en el exterior como en el interior de todo el Centro en compañía del encargado de mantenimiento. En dicho recorrido se evidenció que existe un daño generalizado provocado por humedad en paredes y pisos.



Imagen 3. Daño extendido por humedad (pared interior)

Los daños están presentes en el 80% de la totalidad de paredes y se encuentran focalizados en la zona inferior hasta una altura media de 60 centímetros.



Imagen 4. Pared interior dañada por humedad sin baños cerca

En el área administrativa, con una ocupación de 3 personas, dos baños contiguos que comparten una pared se encuentran inhabilitados debido a que la pared compartida evidencia daños de humedad.



Imagen 5. Pared dañada por fugas en tubería de baños contiguos

El 100% del área hidrosanitaria se encuentra recubierta por cerámica brillante.



Imagen 6. Baños. Recubrimientos cerámicos representativos

3.1.1.1.1. Materiales y equipos

3.1.1.1.1.1. Cámara termográfica

Para la obtención de imágenes térmicas en la presente investigación se utilizará la cámara termográfica marca FLIR C5 que cuenta con una precisión de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ (grados centígrados) y una sensibilidad térmica menor a 70 mK (mili-kelvin).

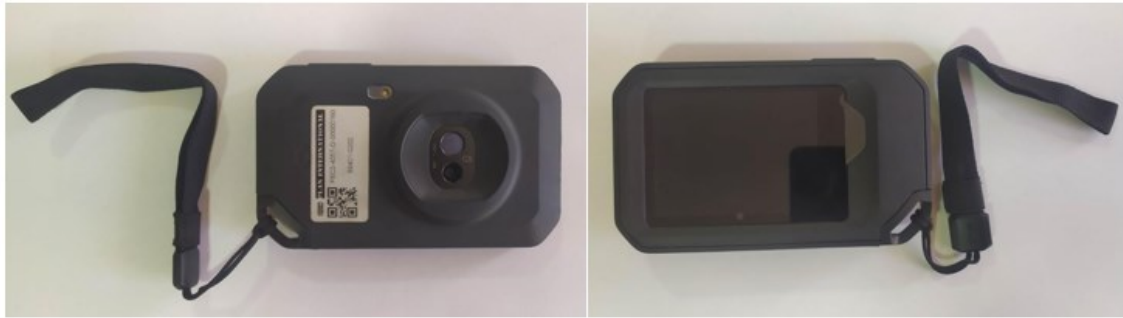


Imagen 7. Cámara termográfica FLIR C5

Especificaciones técnicas

Características ópticas de Imagen	
Resolución infrarroja	160 × 120 píxeles
Precisión	±3°C
Sensibilidad térmica	< 70 mK
Campo de Vista	54° × 42°
Distancia mínima de enfoque	Térmica: 0.1 m MSX: 0.3 m
Resolución espacial	6.3 mrad/píxel
Número F	1.1
Frecuencia de imagen	8.7 Hz
Enfoque	Enfoque libre
Rango espectral	8–14 μm

Tabla 3. Características técnicas de imagen FLIR C5. Fuente: FLIR Systems

3.1.1.1.2. Polvo ligero – Fécula de maíz

Para mitigar los posibles errores en las mediciones debidos a temperaturas reflejadas en las superficies se prevé la aplicación de un polvo ligero para opacar las mismas. Se puede usar cualquier polvo ligero que no provoque una reacción térmica en contacto con el agua. En este caso se optó por la fécula de maíz.

3.1.1.1.3. Atomizador de agua

Se prevé el uso de un atomizador de agua común para humedecer la superficie a estudiar para facilitar la adherencia del polvo ligero.

3.1.1.1.4. Secador de cabello

Con el fin de inducir el cambio de temperatura en la superficie se utilizará un secador de cabello con una potencia de 1000W.

Especificaciones técnicas

Especificaciones Secador	
Uso	Doméstico
Potencia	1000W
Frecuencia	50 Hz
Voltaje	110V

Tabla 4. Características técnicas secador de cabello

3.1.1.1.2. Técnicas y procedimientos

3.1.1.1.2.1. Delimitación del ambiente a ensayar

Dentro de las consideraciones para delimitar el ambiente donde se realizará el estudio termográfico se incluyó:

- **Distribución de llaves de paso de tuberías en sitio:** Se debe conocer y delimitar las llaves de paso que controlan el paso del flujo en el área donde se realizará la prospección.
- **Acceso a agua caliente:** Hay que considerar que, debido a la naturaleza del método, se necesita inducir cambios de temperatura para estimar la localización de la tubería. Si el ambiente posee una tubería que transporta agua caliente no será necesario inducir el gradiente de temperatura.
- **Aparatos hidrosanitarios presentes:** Cada aparato sanitario posee una toma de abasto de agua conectado a la red de tubería global. De ser necesario, se puede usar dichas tomas de abasto para vaciar el agua presente en la tubería o reemplazarla con agua caliente para generar el gradiente de temperatura necesario.
- **Instalaciones cercanas:** Las instalaciones hidrosanitarias se suelen colocar cerca unas a otras con la finalidad de minimizar el número de tuberías a usarse en la fase constructiva. De ser posible resulta ventajoso seleccionar tales instalaciones para comenzar la prospección debido a que, al ser circuitos independientes pero cercanos entre sí, permiten formar una idea más general acerca de la distribución de tuberías y la localización de desagües.

Es importante recalcar que las consideraciones expuestas cumplen la función de una línea base para evaluar la posibilidad de aplicación de los métodos y técnicas en el sitio donde se realizará la prospección.

3.1.1.1.2.2. Técnica de inducción de gradiente negativo.- Agua fría

La cámara funciona volviendo notorios los pequeños cambios de temperatura que existen en la superficie, es decir vuelve evidente la diferencia de temperatura entre dos puntos. Para la utilización de un método que no necesite calentar el agua para mostrar el gradiente térmico será necesario calentar la zona de la pared donde se estima esté la tubería de forma artificial, es decir, sortear sus recubrimientos y calentar los elementos que tienen contacto directo con la misma y esperar a que el agua que fluye por la tubería enfríe la superficie de la pared que se encuentra en contacto con la misma volviendo notorio el gradiente de temperatura en la cámara. Se deberán seguir los siguientes pasos:

1. Para establecer de forma aproximada el área donde se debe calentar la pared es necesario localizar una manguera de abasto de agua en alguno de los aparatos hidrosanitarios. La superficie a calentar será el área periférica donde se encuentra la manguera de abasto.
2. Calentar la superficie de la pared con el secador el durante al menos 3 minutos.
3. Dejar fluir el agua por la entrada que se acaba de calentar para que el agua enfríe la pared.
4. Observar en la cámara si se muestra un gradiente térmico.

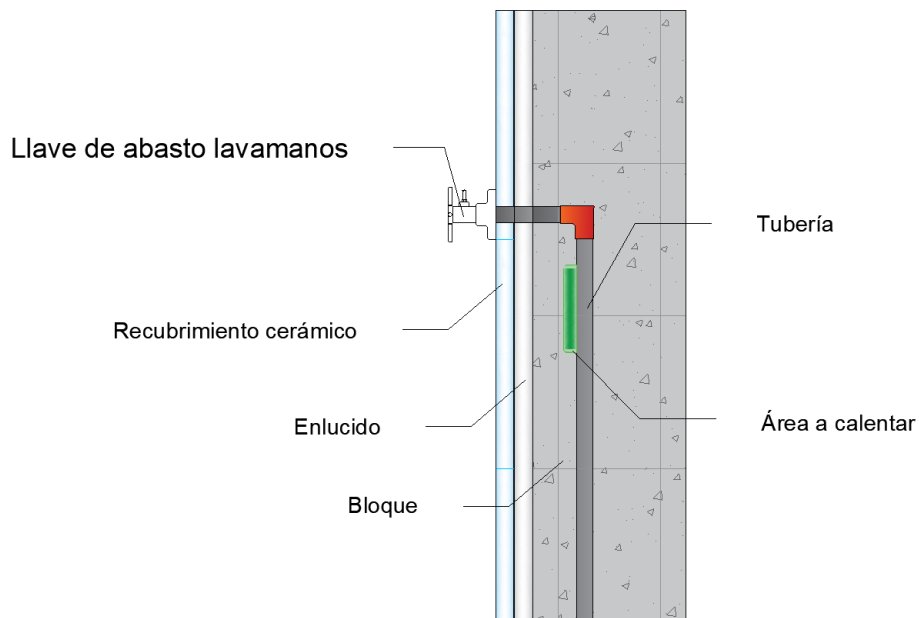


Figura 3. Esquema de ejecución de técnica de gradiente negativo.

3.1.1.1.2.3. *Medición termográfica*

Al encender la cámara se muestra la imagen espectral mixta (termográfica + óptica) del lugar al que se enfoca. Para realizar la medición termográfica con la cámara FLIR C5 se pueden seguir los siguientes pasos:

1. Establecer la escala de temperatura adecuada para evitar la contaminación proveniente de la temperatura del ambiente.
2. En caso realizar la medición sobre superficies reflectantes habrá que reducir la reflectividad humedeciendo la pared con el atomizador de agua para luego aplicar el polvo ligero.

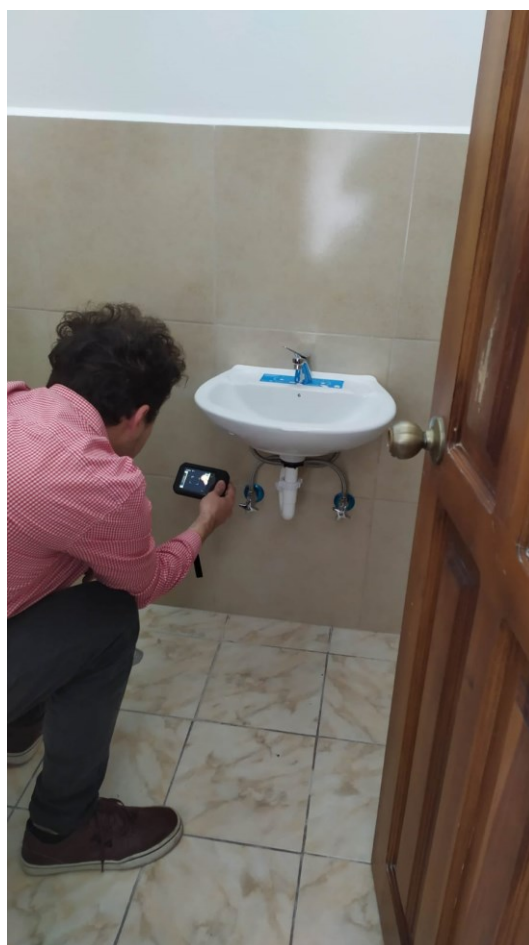


Imagen 8. Medición con cámara termográfica

3.1.1.2. Segunda visita

El día 9 de junio del presente año se realizó la segunda visita al Centro de Educación Inicial 1. Después de la primera visita donde no se alcanzaron resultados favorables se analizó la posibilidad de ejecución de otro método de prospección que permitiese visibilizar las tuberías usando agua caliente. Debido a la falta de acceso de

agua caliente en el sitio elegido para la prospección, se diseñó un tanque dispensador de agua caliente a gravedad que permitirá la inducción de un gradiente de temperatura positivo de forma que se pueda visualizar la tubería en la cámara.

De igual manera se desarrolló una técnica de aplicación para tal gradiente positivo en el contexto hidrosanitario sin la necesidad de aplicar temperatura a los recubrimientos.

3.1.1.2.1. Materiales y equipos

Además de los materiales y equipos utilizados en la primera visita, se incorporó un tanque de suministro de agua caliente y una tetera para calentar el agua.

3.1.1.2.1.1. Tanque de suministro de agua caliente



Imagen 9. Esquema despiezado de Tanque de suministro de agua caliente

Tanque suministro agua caliente	
Nro	Descripción
1	Recipiente térmico (4.1 litros)
2	Neplo plástico 1/2" manguera-válvula
3	Mangueras de abasto metálicas para inodoro y lavamanos
4	Válvula 1/2" y 1/4 de vuelta

Tabla 5. Elementos y descripción Tanque de suministro de agua caliente

Piezas y criterio de funcionamiento

- **Recipiente térmico:** Se propone un recipiente capaz de mantener la temperatura del agua durante toda la posible prospección, que posea un volumen no menor a

3 litros y un orificio inferior y superior. En el orificio inferior se acoplará el resto de los elementos. El orificio superior deberá mantenerse abierto a la atmósfera para posibilitar el flujo de agua y será el medio por el cual se podrá aplicar presión a la tubería en caso de ser necesario.



Imagen 10. Recipiente térmico

- **Válvula ½ pulgada ¼ de vuelta:** Con el fin de poder controlar el paso del agua durante la ejecución del experimento se propone una válvula de paso de agua de ¼ de vuelta por su facilidad y rapidez de operación.



Imagen 11. Válvula de paso de agua de media pulgada

- **Neplo plástico ½ pulgada:** Se propone un Neplo plástico con el diámetro comercial de media pulgada con el fin de poder intercambiar mangueras de abasto en caso de iniciar la prospección desde un lavamanos o inodoro.



Imagen 12. Neplo de conexión de mangueras de abasto

- **Mangueras de abasto:** En vista que las tomas de abasto en inodoros y lavamanos son de diámetros distintos y que en el escenario más desfavorable se desconoce las condiciones del sitio o los aparatos sanitarios presentes en el mismo, se ha previsto la posibilidad de instalación de mangueras de abasto para inodoro y lavamanos.



Imagen 13. Mangueras de abasto de inodoro (arriba) y lavamanos (abajo)

Una vez armado, el tanque facilita la inserción a gravedad de agua caliente en la tubería mediante las tomas de abasto de los aparatos hidrosanitarios sin requerir daños en la red de distribución de agua.



Imagen 14. Tanque de suministro de agua caliente armado

3.1.1.2.1.2. Tetera eléctrica



Imagen 15. Tetera eléctrica usada en la prospección

Especificaciones tetera	
Uso	Doméstico
Potencia	750W
Volumen	900 ml
Voltaje	120V

Tabla 6. Especificaciones de tetera

3.1.1.2.2. Técnicas y procedimientos

3.1.1.2.1.3. Aislamiento de ramales

Para aislar el ramal que se va a estudiar es necesario cerrar la entrada de agua mediante la llave de paso. Al no existir salida de agua caliente en el sitio de la prospección se requiere desalojar el agua fría presente en la tubería y reemplazarla con agua caliente para inducir el gradiente térmico. Al hacerlo se aísla el circuito de la presión proveniente de la red de agua potable y hace posible vaciarlo.

3.1.1.2.1.4. Drenaje de ramales

Las tomas de abasto del lavamanos e inodoro están conectadas por la misma tubería y, al estar cerrada, ésta posee solamente presión hidrostática. La toma de abasto del lavamanos se localiza a una altura superior que la toma del inodoro por lo que, para vaciar la tubería, será necesario desacoplar la manguera de abasto del inodoro y del lavamanos. Es necesario tomar en cuenta que, para evitar derrames de agua, el tanque del inodoro debe estar vacío antes de desacoplar la manguera de abasto.

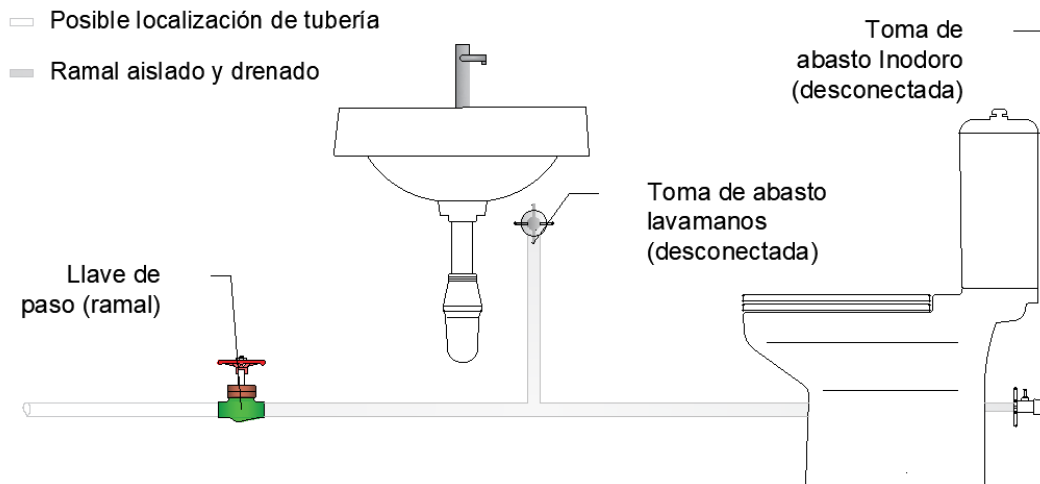


Figura 4. Diagrama de ejecución de drenaje del ramal (ubicación teórica de tubería)

3.1.1.2.1.5. Técnica de inducción de gradiente positivo .- Agua caliente

Al resultar ineficiente la técnica de gradiente negativo por el factor aislante de los recubrimientos de la tubería, se desarrolló una técnica de inserción de agua caliente en la misma para lograr calentar el área periférica en contacto con la tubería de adentro hacia afuera sin necesidad de que el calor fluya sorteando el factor aislante de sus recubrimientos.

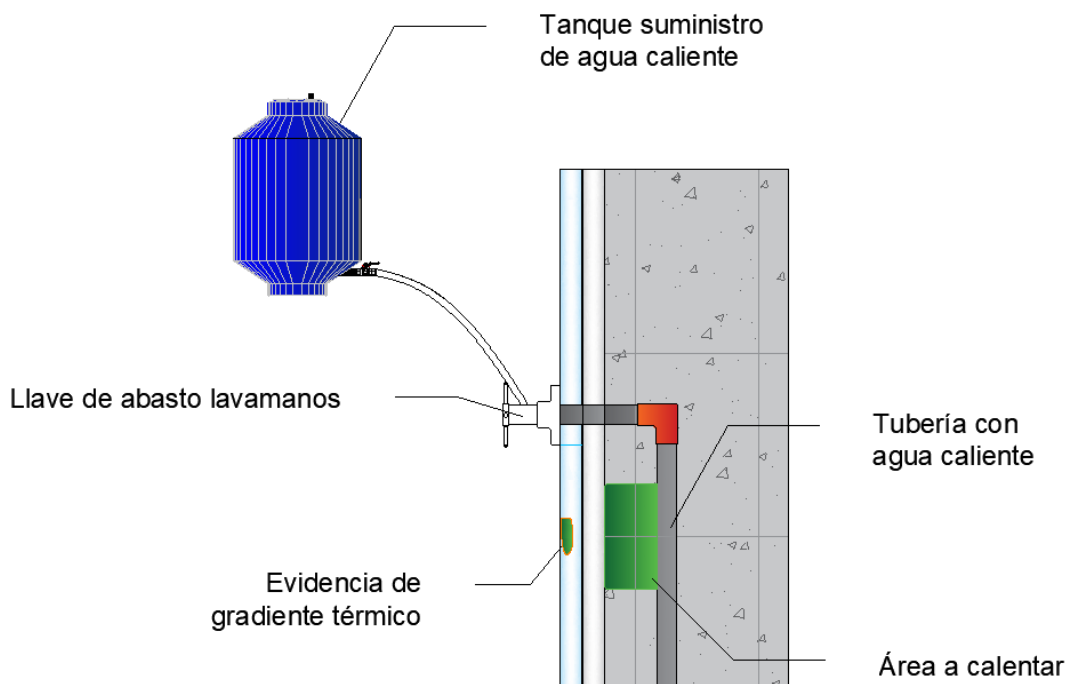


Figura 5. Diagrama de ejecución Técnica de gradiente positivo

Esta técnica no requiere destrucción de los recubrimientos de la tubería y se puede ejecutar sin necesidad de calefactores de alta potencia; además no es necesario permitir el flujo de agua en la red de tuberías del ambiente a prospectar lo que minimiza la extensión de daño por fugas durante la prospección en caso de existir uno.

La temperatura a la que se debe calentar el agua está delimitada por la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 2955), donde se establece que la temperatura máxima de diseño para los sistemas de conducción de agua fría y caliente es de 80°C mientras que la temperatura de servicio es de 60°C. Es por esta razón que, para evitar daños o fatiga en los materiales del sistema de conducción, la temperatura global a la que someterá la tubería será de no más de 60°C.

Para ejecutar esta técnica es necesario contar con los equipos descritos anteriormente y seguir los siguientes pasos:

1. Calentar el agua de modo que, para iniciar la prospección, el tanque de suministro se encuentre lleno al menos $\frac{3}{4}$ de su capacidad total con una temperatura de máximo 60° C.

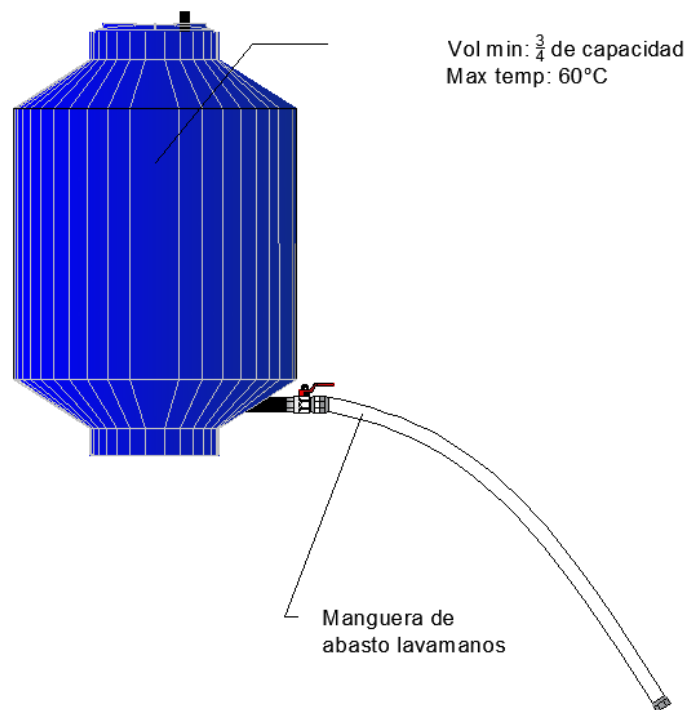


Figura 6. Esquema de Tanque de suministro listo para la prospección

2. Decidir la toma de abasto en la que se realizará la prospección. Para que el tanque funcione a gravedad la toma seleccionada deberá estar localizada a una altura superior a la toma de salida (toma de abasto de inodoro) que deberá mantenerse abierta a la atmósfera.

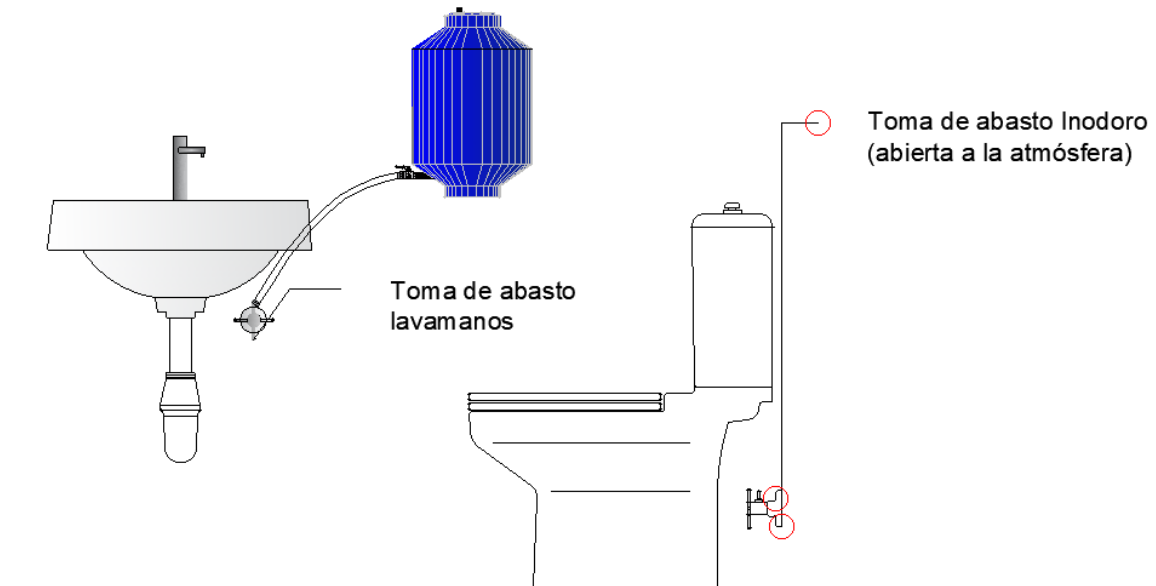


Figura 7. Esquema de acoplamiento del tanque

3. Al drenarse el ramal a gravedad, no toda el agua de la tubería se evacúa de la misma por lo que será necesario empujar el resto de agua fría presente en la tubería con el agua caliente al girar la válvula y permitir el flujo.
4. Se debe estar pendiente de la toma de salida (toma de abasto de inodoro) puesto que al momento que empiece a salir agua caliente de la misma se deberá detener el flujo de agua.
5. Observar en la cámara si se muestra un gradiente térmico.

3.1.2. Mediciones base: Escenario térmico actual

Debido a la tecnología de cambio de escala térmica presente en la cámara, consideraciones acerca del estado térmico del ambiente a prospectar, tales como la temperatura inicial y distancia de enfoque, se vuelven innecesarias puesto que se puede ajustar los límites de temperatura que la cámara percibe para adecuarse a cualquier escenario. La hora del día o el estado del clima son indicadores de la temperatura inicial, por lo que también se vuelven irrelevantes al momento de considerar realizar una

prospección termográfica. Sin embargo, es importante recorrer el ambiente a prospectar puesto que brinda información de

3.1.3. Tiempo de evidencia de gradientes térmicos

3.1.3.1. Primera visita

No se evidencian gradientes térmicos mediante la técnica aplicada durante la primera visita.

3.1.3.3. Segunda visita

El inicio de la prospección se registra a las 15h48. Tal como se muestra en la *figura 25*, después de 2 minutos de aplicada la técnica de gradiente positivo se evidencia el gradiente en la cámara haciendo posible la localización de la tubería en la pared.

3.1.4. Determinación de fallas en las instalaciones

3.1.4.1. Primera visita

Al no mostrarse gradientes térmicos, no se determinan daños en las instalaciones.

3.1.4.1.1. Bitácora de la visita 1

Nro	Actividad	Descripción
1	Visita guiada	Se inicia la visita a las 14:45. Se recorrió completamente la institución por dentro y por fuera para determinar el punto donde se conducirá la prospección. En el recorrido se evidenció el daño extendido en paredes y pisos, zonas inhabilitadas y daños en infraestructura sanitaria
2	Definición del lugar de prospección	A las 15:25 se define el área de prospección como el baño de enfermería del Centro. No cuenta con acceso a agua. Tiene un baño contiguo. El recubrimiento principal en la pared es cerámica brillante. El baño cuenta con un inodoro y un lavamanos. Las paredes exteriores muestran daños severos de humedad

3	Adecuación del lugar de prospección	Debido a la inactividad del área fue necesario desalojar objetos que estaban obstruyendo el paso y la visión en la pared
4	Área de prospección	Se establece como área de prospección el área cercana a la manguera de abasto del agua fría en el lavamanos del baño de enfermería
5	Prospección – Gradiente térmico negativo .- Agua Fría	Se procedió a calentar la pared con el secador durante 3 minutos. Se dejó fluir el agua de la tubería. Se realiza la medición
6	Registro de resultados	Se registraron los resultados y se reunieron anexos fotográficos
7	Fin de la visita	A las 17:45 termina la visita al Centro

Tabla 7. Bitácora de la primera visita

3.1.4.3. Segunda visita

De acuerdo a los resultados expuestos en la *figura 25*, no se registran fallas en las instalaciones.

3.1.4.3.1. Bitácora de la visita

Nro	Actividad	Descripción
1	Inicio de la Visita	Se inicia la visita a las 15:00. Al ya estar definido el ambiente a prospectar, se procede a adecuarlo removiendo obstáculos. Se cierra la llave de paso y posteriormente se descarga el inodoro.

2	Calentamiento del agua del tanque	Se calentó 1,8 litros de agua hasta el punto de ebullición para luego mezclarla con agua fría hasta llegar a un volumen de al menos 3/4 de la capacidad del tanque con una temperatura máxima de 60°C medidos con la cámara. Se reservó el tanque para su posterior uso
3	Aislamiento de ramales	Se procedió a cerrar la llave de paso que alimenta al ramal a prospectar y a desalojar el agua del tanque del inodoro. Las llaves de paso en las tomas de abasto deben mantenerse abiertas.
4	Drenaje de la tubería	Se desconectaron las mangueras de abasto de las tomas de abasto de inodoro y lavamanos y empezó a salir el agua de la tubería, se colocó un recipiente directamente debajo de la toma de abasto del inodoro para recoger el agua desalojada. Aún existe poca agua en la tubería.
5	Prospección - Gradiente térmico positivo .- Agua Caliente	Para iniciar la ejecución de la técnica se revisó que la tapa superior del tanque esté abierta y se procedió a conectar la manguera del tanque en la toma de abasto del lavamanos, al abrir la válvula se inició el flujo. Al momento en que el agua empezó a salir por la toma de abasto del inodoro se cerró la válvula del tanque y termina la prospección
6	Registro de resultados	El gradiente térmico tardó poco más de un minuto en evidenciarse en la cámara, la diferencia térmica es imperceptible por el tacto humano. Se procedió a registrar las fotografías y a ubicar la tubería en la pared.
7	Fin de la visita	A las 18:00 termina la segunda visita al centro

Tabla 8. Bitácora de segunda visita

3.1.5. Repetición de análisis en otros casos propuestos

3.1.5.1. Aplicación práctica

Después de realizada la segunda visita, autoridades y personal del Centro de Educación Inicial 1 solicitaron la revisión de la posibilidad de rehabilitación del baño

común dentro del ala prospectada. Esto recordando que es un área de trabajo para 6 personas y no posee una instalación sanitaria en funcionamiento. Dicho baño se mantiene inutilizado debido a que comparte la misma llave de paso que el baño que presenta fugas en sus paredes por lo que, para evitar más daños, se ha restringido el flujo de agua.

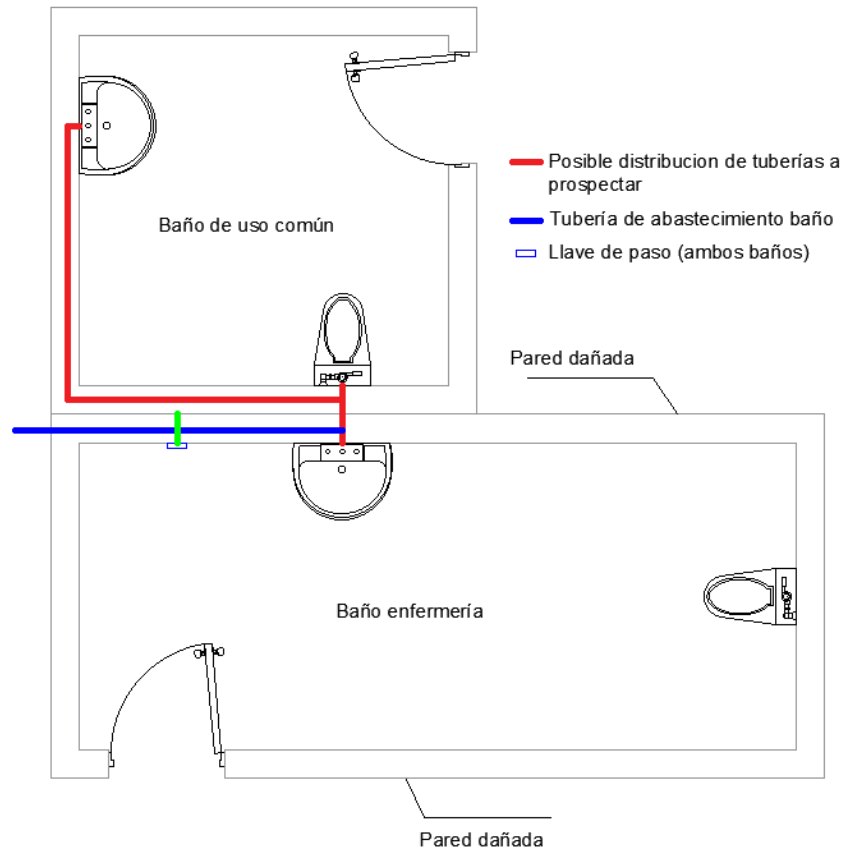


Figura 8. Esquema en planta de conexión a prospectar Baño común

3.1.5.1.1. Materiales y Equipos

Se utilizaron los mismos materiales empleados en la segunda visita de campo.

3.1.5.1.2. Técnicas y procedimientos

3.1.5.1.2.1. Aislamiento de ramales

La prospección se conducirá desde un baño hacia otro y, al estar conectados por la misma llave de paso, es necesario solo restringir el flujo. Como se muestra en la *figura 9*, el ramal de tubería que brinda más información de la localización de la misma es la establecida entre los lavamanos de ambos baños (color rojo).

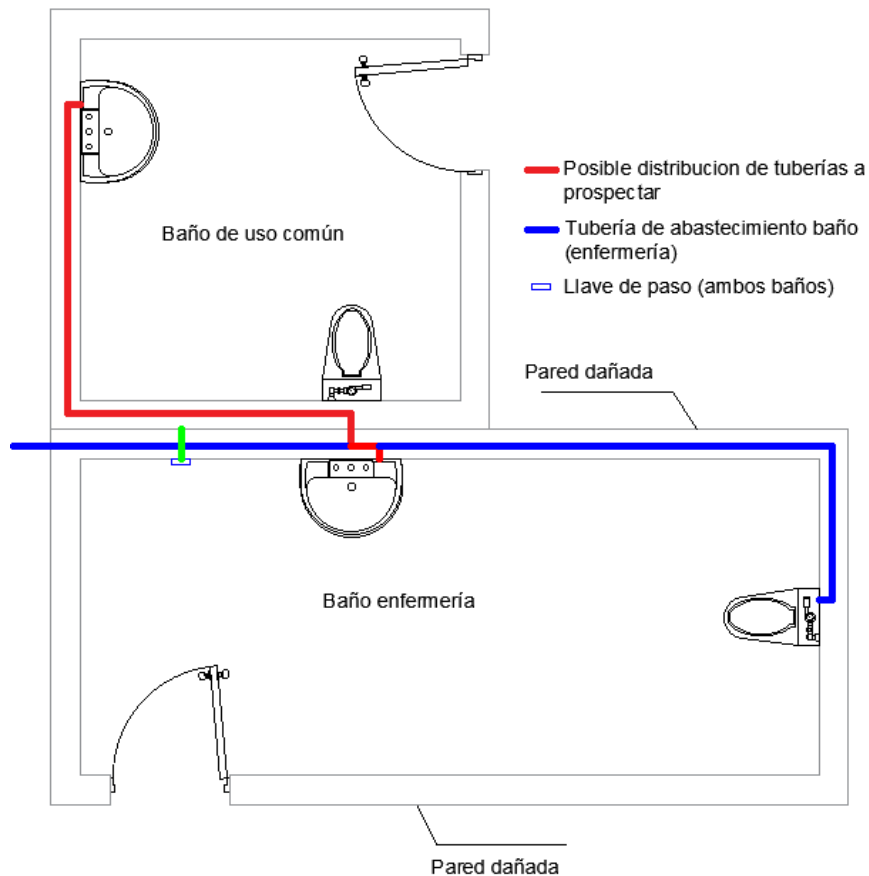


Figura 9. Esquema en planta de ramal elegido (Posible localización)

3.1.5.1.2.2. Drenaje de ramales

Una vez establecido el ramal a prospectar se debe drenar el agua a temperatura ambiente para reemplazarla con agua caliente. Al estar las tomas de abasto de ambos lavamanos al mismo nivel desde el suelo será necesario utilizar el tanque de suministro de agua caliente para insertar presión que empuje el agua fría de la tubería mientras la reemplaza con agua caliente. Para hacerlo basta con elevar el tanque una altura suficiente para propiciar el flujo en la tubería como se muestra en la *imagen 16*.



Imagen 16. Acoplamiento de tanque de suministro de agua en llave de abasto lavamanos.

Un esquema de la tubería a vaciar se presenta en la *figura 10*.

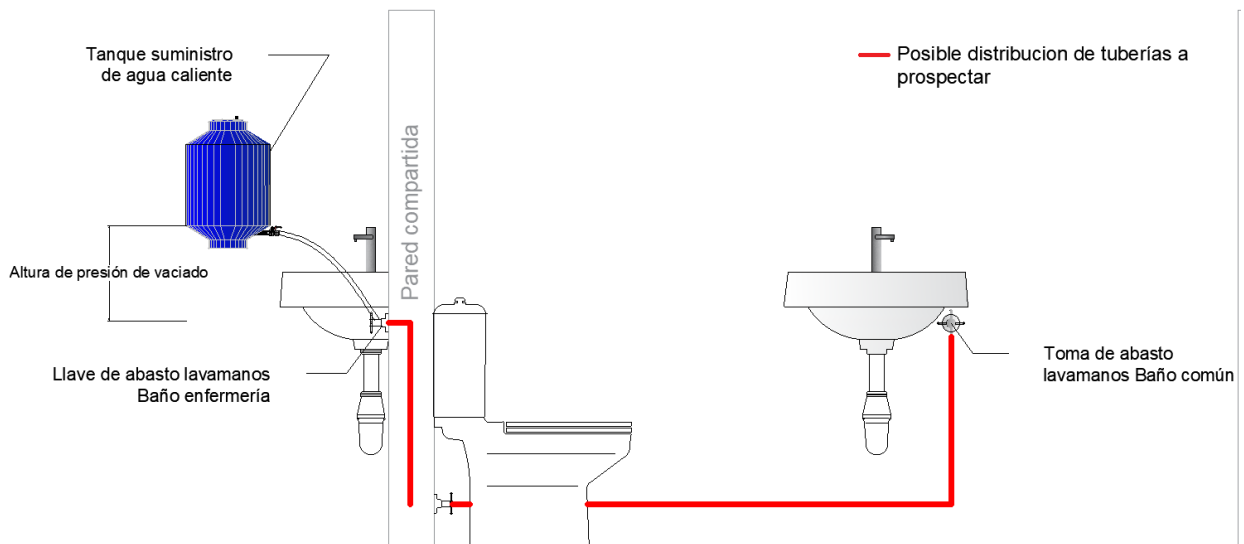


Figura 10. Esquema en perfil de drenaje de ramal

3.1.5.1.3. Tiempo de evidencia de gradientes térmicos

La prospección inicia a las 16h17 y los gradientes térmicos fueron visibles después de transcurridos 3 minutos.

3.1.5.1.4. Determinación de fallas en las instalaciones

La prospección evidencia las tuberías que conectan ambos baños y permitió decidir el lugar de instalación de una llave de paso. Dentro de la prospección no se evidencian daños por fugas.

3.2. *Análisis de caso en ambiente controlado experimental*

3.2.1. Ambiente controlado propuesto

Una vez probada la aplicabilidad del método termográfico en campo se prevé utilizar los conocimientos y técnicas obtenidas referente a la localización de tuberías para diseñar una pared prototipo, con fugas intencionales y distintos recubrimientos, y someterla a situaciones congruentes con una pared de instalación hidrosanitaria con el fin de estimar la localización de la fuga mediante termografía.

3.2.2. Análisis teórico de caso en ambiente controlado

3.2.2.1. Infraestructura

En vista que los materiales más usados en la construcción de paredes en Ecuador es el bloque de cemento, se escogió este material para aumentar la aplicabilidad del estudio a la mayoría de instalaciones hidrosanitarias posibles presentes en Ecuador.

Con el fin de evitar que las eventuales áreas de evidencia de fuga se traslapen en la pared, y de permitir la clara diferenciación de la incidencia de los recubrimientos en las pruebas, se ideó un muro en forma de “C” cuyas paredes sean cuadrados de 60x60 cm². La pared descansará sobre un pallet de madera.

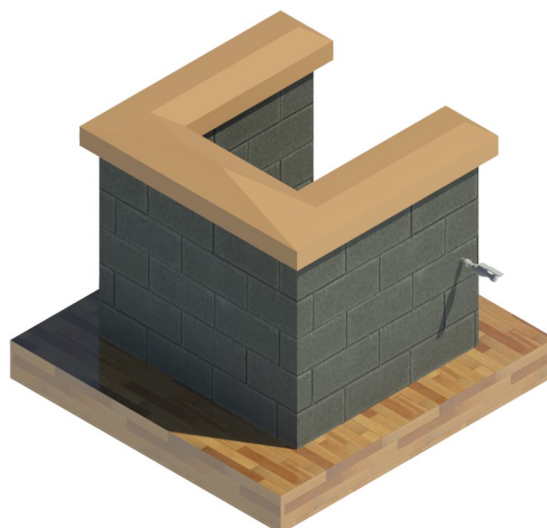


Figura 11. Ilustración isométrica infraestructura de muro de pruebas

3.2.2.2. Recubrimientos

La variedad de los espesores del recubrimiento y el material que lo conforma son los indicadores representativos de la aislación térmica que se debe vencer para evidenciar el gradiente de temperatura en la pared. En instalaciones hidrosanitarias se pueden encontrar varios tipos de recubrimientos, con el fin de expandir la aplicabilidad de este estudio se ha optado por elegir tres de estos recubrimientos y determinar la incidencia de los mismos en la detección de fugas mediante termografía.

Los materiales elegidos son cerámica, estucado y pintado y porcelanato distribuidos en cada lado del muro en “C”.

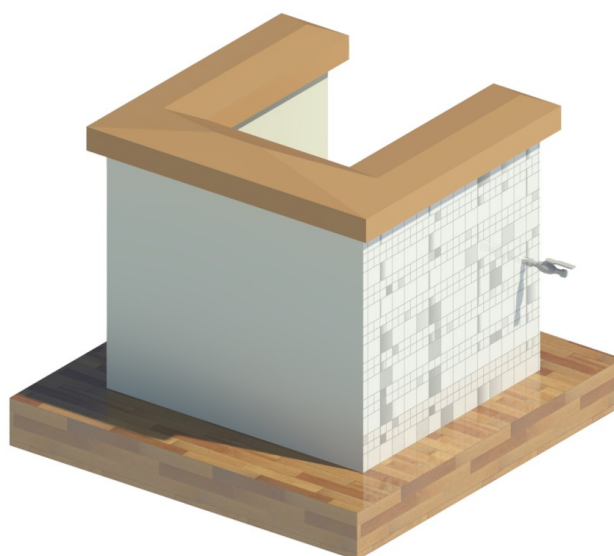


Figura 12. Distintos recubrimientos de muro de pruebas

Debido a que no siempre se cuenta con la posibilidad de inspeccionar ambas caras del muro en una eventual prospección, se optó por descartar cualquier tipo de mediciones en las caras no recubiertas del muro de pruebas.

3.2.2.3. Tubería

El material del que está compuesta la tubería a utilizarse es PVC puesto a que es el más utilizado en instalaciones hidrosanitarias, además es un material donde se pueden simular las fugas de manera más sencilla.

Las fugas intencionales a implantar en la tubería serán simuladas mediante cortes alargados transversales de manera que su comportamiento se asemeje al de una fuga

natural, habrá una sola fuga por recubrimiento estudiado y se procurará que la misma tenga la menor área posible con el fin de estimar el tiempo de permanencia de la fuga y el tiempo de evidencia de la misma. Con la finalidad de simular un caso crítico de presencia de fugas en tuberías, las fugas se instalarán de cara al lado no recubierto. Esta consideración es importante ya que incrementa la longitud de recubrimiento de bloque (L_b) que el método debe sobrellevar para evidenciar el gradiente térmico en la cámara. Una vista de perfil de localización de las fugas en el muro se muestra en la siguiente figura:

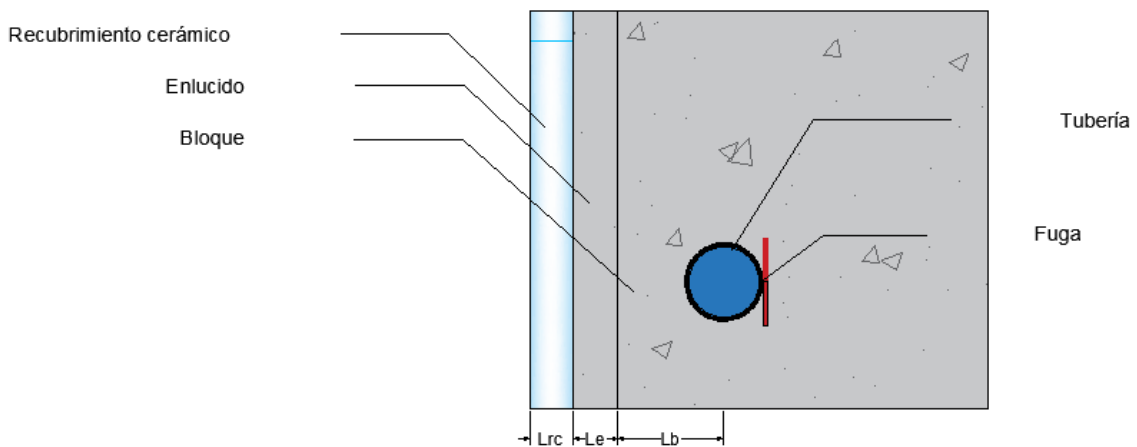


Figura 13. Esquema de vista en perfil de muro y localización de fuga

Con el fin de considerar la mayor área posible en la evidencia de la fuga se colocará la tubería en el centro del muro.

Se instalarán codos a 90° donde sean necesarios y una válvula en cada extremo de la tubería para controlar el llenado, vaciado y presión de la misma.



3.2.2.4. Presión

De acuerdo con la Norma Hidrosanitaria Ecuatoriana (NHE, 2013) las presiones recomendadas en metros de columna de agua para inodoros y lavamanos son 7 y 5 m.c.a. respectivamente. Con el fin de simular un caso crítico, se decidió utilizar una presión de 5 metros de columna de agua. .

La presión a aplicarse proviene solamente de la ventaja gravitatoria de un tanque ubicado a 5 metros de altura de la toma del muro. El estudio se realiza en condiciones estáticas así que el caudal que suministra el tanque y fluye en la tubería no es una variable a considerar para evaluar la efectividad del método.



Imagen 17. Tanque de presión

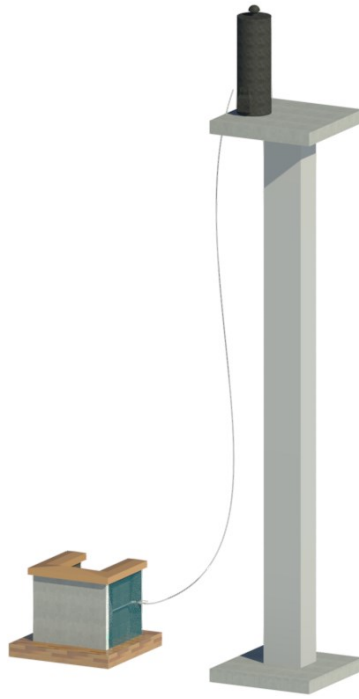


Figura 15. Ilustración del sistema de presurización a gravedad

Nota: La estructura que sostiene el tanque es referencial.

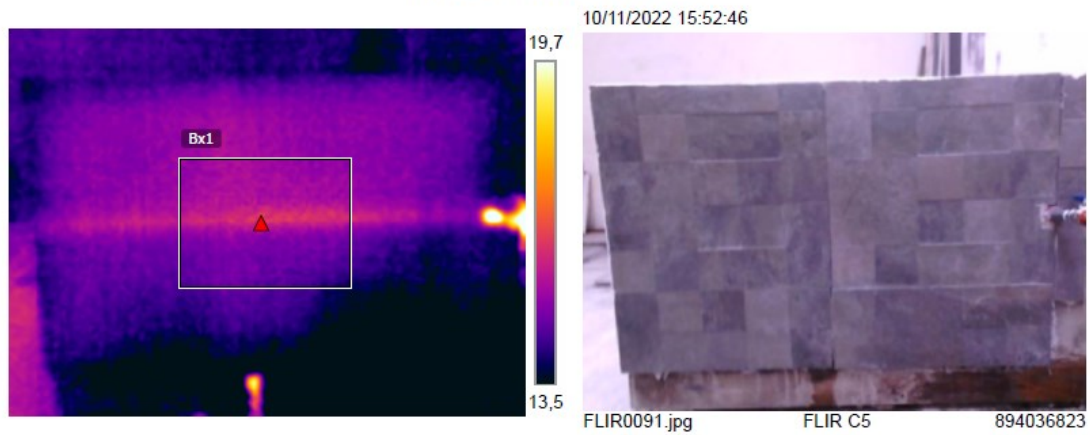
3.2.3. Mediciones con gradiente de temperatura positivo

3.2.3.1. Recubrimiento: Porcelanato



Recubrimiento: Porcelanato

Inicio de la prospección



Manifestación de la fuga

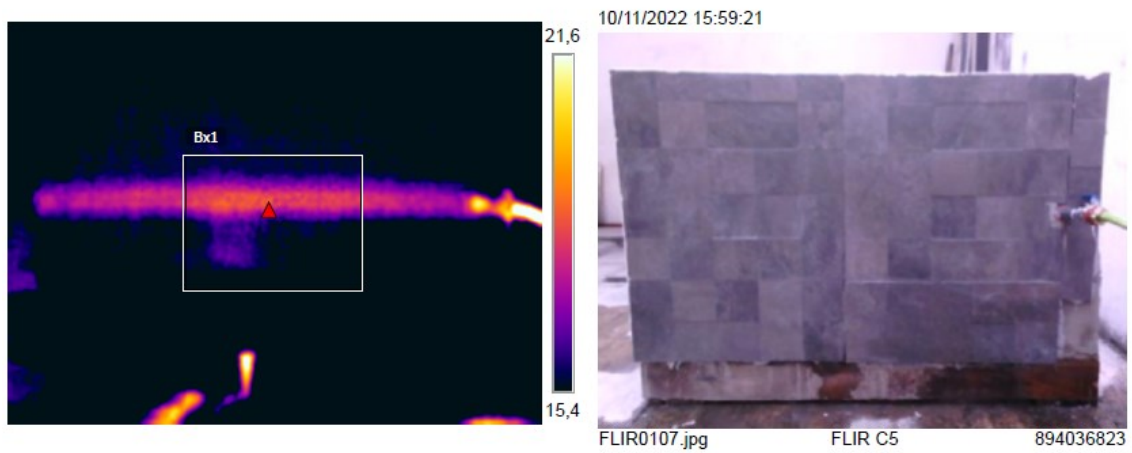


Figura 16: Resultados recubrimiento porcelanato

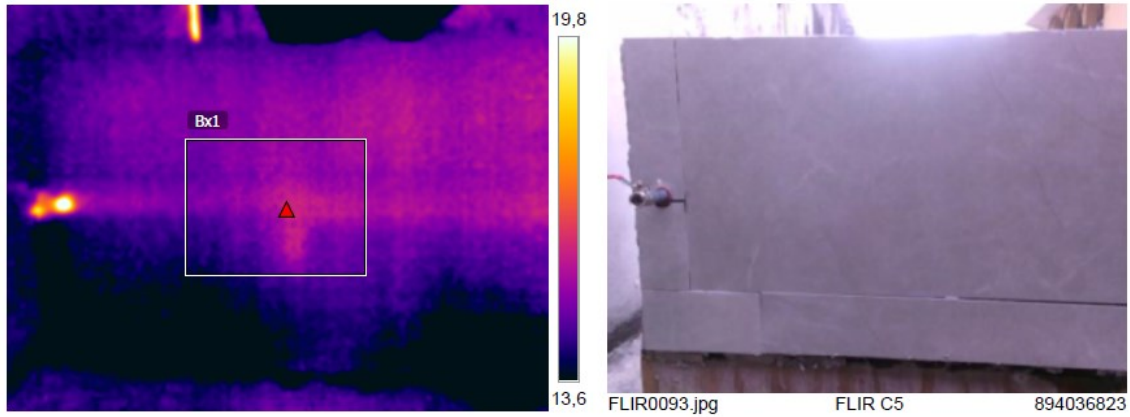
3.2.3.2. Recubrimiento: Cerámico



Recubrimiento: Cerámico

Inicio de la prospección

10/11/2022 15:53:20



Manifestación de la fuga

10/11/2022 16:01:04

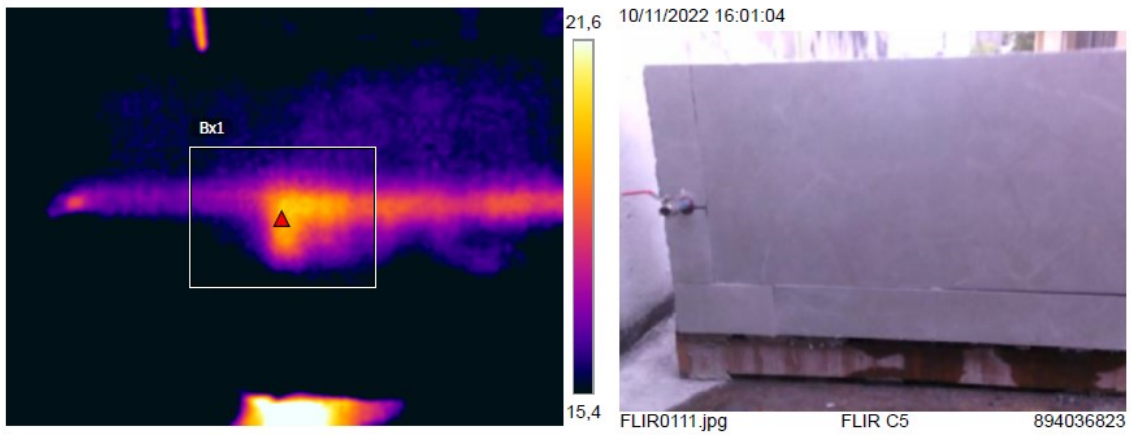


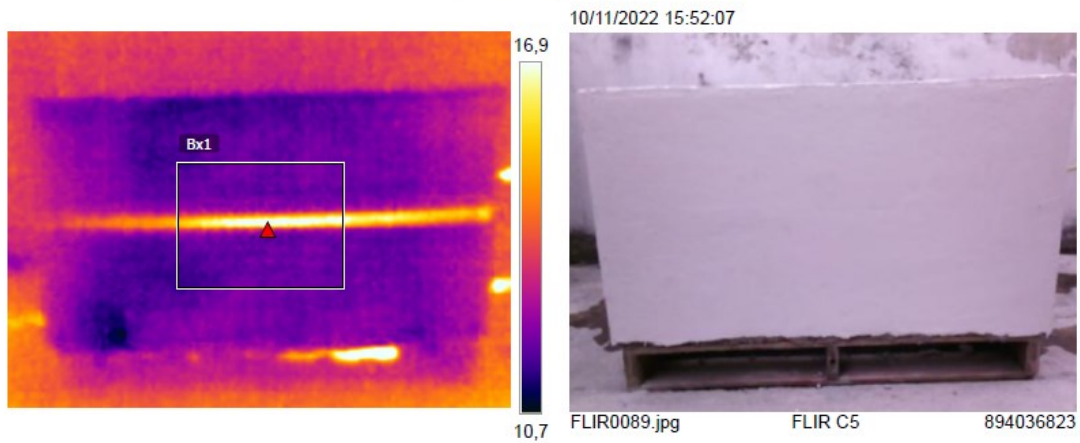
Figura 17: Resultados recubrimiento cerámico

3.2.3.3. Recubrimiento: Estucado y pintado



Recubrimiento: Estucado y pintado

Inicio de la prospección



Manifestación de la fuga

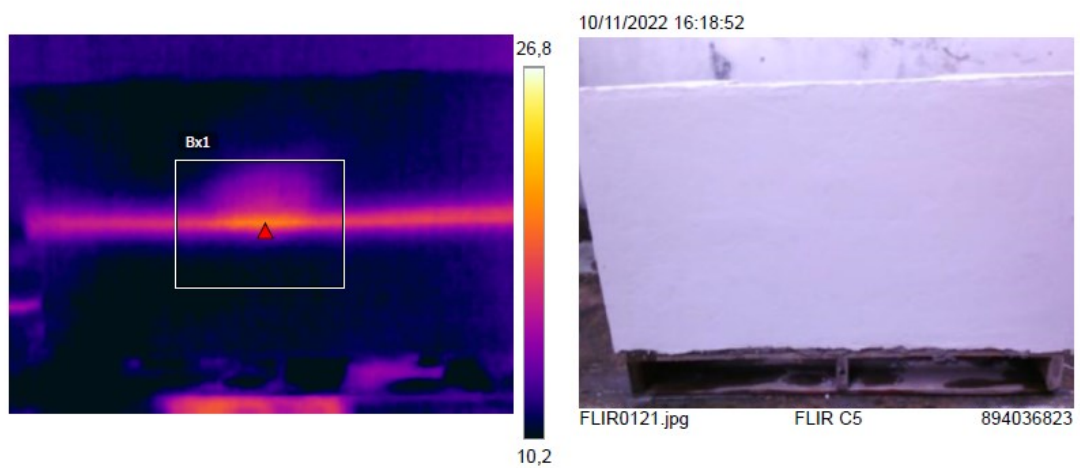


Figura 18: Resultados recubrimiento: Estucado y pintado



Imagen 18. Medición termográfica

3.2.4. Mediciones con gradiente de temperatura negativo

No se realizaron mediciones con gradiente de temperatura negativo debido a que previamente se demostró que dicha técnica es ineficaz para la localización de tuberías.

3.2.5. Tiempo de evidencia de gradientes térmicos

La prospección inició a las 15h50, las tuberías embebidas fueron visibles después de dos minutos de aplicado el método en todos los recubrimientos tal y como se muestra en las *figuras 16, 17 y 18*. El tiempo en el que fueron evidentes las fugas en la cámara fue de 8 minutos para los recubrimientos de cerámica y porcelanato y 25 minutos para el recubrimiento estucado y pintado.

3.2.6. Determinación de fallas en las instalaciones

Tal y como lo muestran las *figuras 16, 17 y 18* en las imágenes térmicas correspondientes a la manifestación de la fuga, se observa el espectro térmico de la tubería. Las *figuras 16 y 17* correspondientes a los recubrimientos de cerámica y porcelanato muestran claramente, en el centro del espectro térmico de la tubería, un punto caliente que se extiende hacia abajo delimitando la zona donde se encuentra la fuga. La *figura 18* muestra que, en el recubrimiento de estuco y pintura, el punto caliente mostrado se extiende hacia arriba en el lugar donde se presenta la fuga.

3.3. Análisis de rubros. Comparativas de metodologías de prospección

3.3.1. Criterios de comparación

Para realizar una comparación económica de la viabilidad de ejecución de ambos métodos es necesario establecer una línea base a la que deberán ajustarse sus resultados. Por ejemplo, después de realizada la prospección termográfica, no existen daños residuales; por lo que dentro de la prospección destructiva se deben tomar en cuenta rubros que surjan del costo e instalación de materiales para igualar la condición de los daños residuales en ambos métodos.

El tiempo de ejecución en ambos métodos establece un criterio de elección basado en la urgencia de reparo de la posible fuga puesto a que se supone que el espacio afectado será inutilizable durante la prospección mediante cualquier método.

Debido al gran alcance físico del método termográfico, donde con tan solo una prospección se podría evidenciar incontables metros de tubería, no resulta factible un análisis de precios unitarios que dependa de la cantidad de metros de prospección. Se estableció un tiempo de 4 horas en base a experimentación y la utilización de los materiales utilizados en las visitas de campo.

Al contrario, en el método destructivo se mantiene un conteo de metros de prospección y se establece un tiempo medio para la ejecución del mismo bajo los criterios expuestos en la entrevista realizada a un plomero de profesión en cuanto a sus experiencias.

El análisis está enfatizado en los costos directos de aplicación de ambos métodos dejando de lado costos indirectos y utilidades. En ninguno de los análisis se ha previsto el costo de reparación de la fuga, solo se analiza el proceso para encontrarla.

Los rubros que conforman la prospección destructiva tales como: picado y resane de pared, enlucido interior, el precio unitario de los materiales involucrados y los rendimientos fueron obtenidos de la biblioteca actualizada (2022) de la Cámara de la Industria y Construcción (CAMICON).

3.3.2. Método destructivo

3.3.2.1. Mano de obra involucrada

Dentro de la prospección por el método destructivo y en base a los datos obtenidos en la entrevista realizada (Anexo 2: entrevista), además de un Plomero certificado se requiere la asistencia de un Ayudante de plomero. Para el análisis de precios unitarios se considerará solamente dicha mano de obra para la ejecución de todos los rubros. De acuerdo con datos actualizados de la Contraloría General del Estado (2022), el costo horario de un Plomero y su Ayudante es de \$3.87,00 y \$3.83,00 respectivamente.

3.3.2.2. Equipo y materiales utilizados

Se estableció que, dentro de los materiales utilizados para la prospección destructiva, son necesarias herramientas básicas para el picado y resane de la pared tales como: punta y combo; y los materiales necesarios para enlucir: mortero 1:4.

3.3.2.3. Área prospectada

Dentro de la entrevista se estimaron valores máximos y mínimos de longitudes de prospección de 5 metros y 50 centímetros respectivamente; para la estimación de costos se estableció un valor de 3 metros para el rubro de picado y resane de pared. Además se discutió que, para asegurar el acceso correcto a la falla de la tubería, la altura del agujero a picar debe ser de mínimo 20 centímetros y puede llegar a los 35 centímetros, se decidió un valor de 30 centímetros.

El área considerada para el rubro de enlucido y el costo del recubrimiento cerámico es el resultado de la multiplicación de la longitud prospectada y la altura del agujero. Se considera un área de 0.9 m²

3.3.2.4. Daños residuales

Se ha considerado que los daños residuales de la prospección destructiva deben ser considerados en el análisis de costos de dicho método puesto que es la base de comparación con el método termográfico.

Al ya estar considerado el resane de la pared en el rubro: picado y resane; los daños residuales a considerar son: enlucido vertical interior y recubrimiento cerámico, ambos dependientes del área de prospección al estar expresados en unidades de costo por metro cuadrado. Se consideró un espesor de enlucido de 1 centímetro.

3.3.2.5. Tiempo empleado

Dentro de la entrevista se estableció que, en su experiencia con solo un ayudante, el mínimo y máximo tiempo en el que el entrevistado ha conducido una prospección destructiva ha sido de 20 minutos y 6 horas respectivamente. Se ha considerado un tiempo de 4 horas para la estimación del costo de mano de obra. Debido a que el rendimiento es un factor estimable en base a la experiencia, se realizó una aproximación de dicho factor en base a rubros publicados en la Cámara de la Industria y Construcción.

3.3.2.6. Diagrama de flujo método destructivo

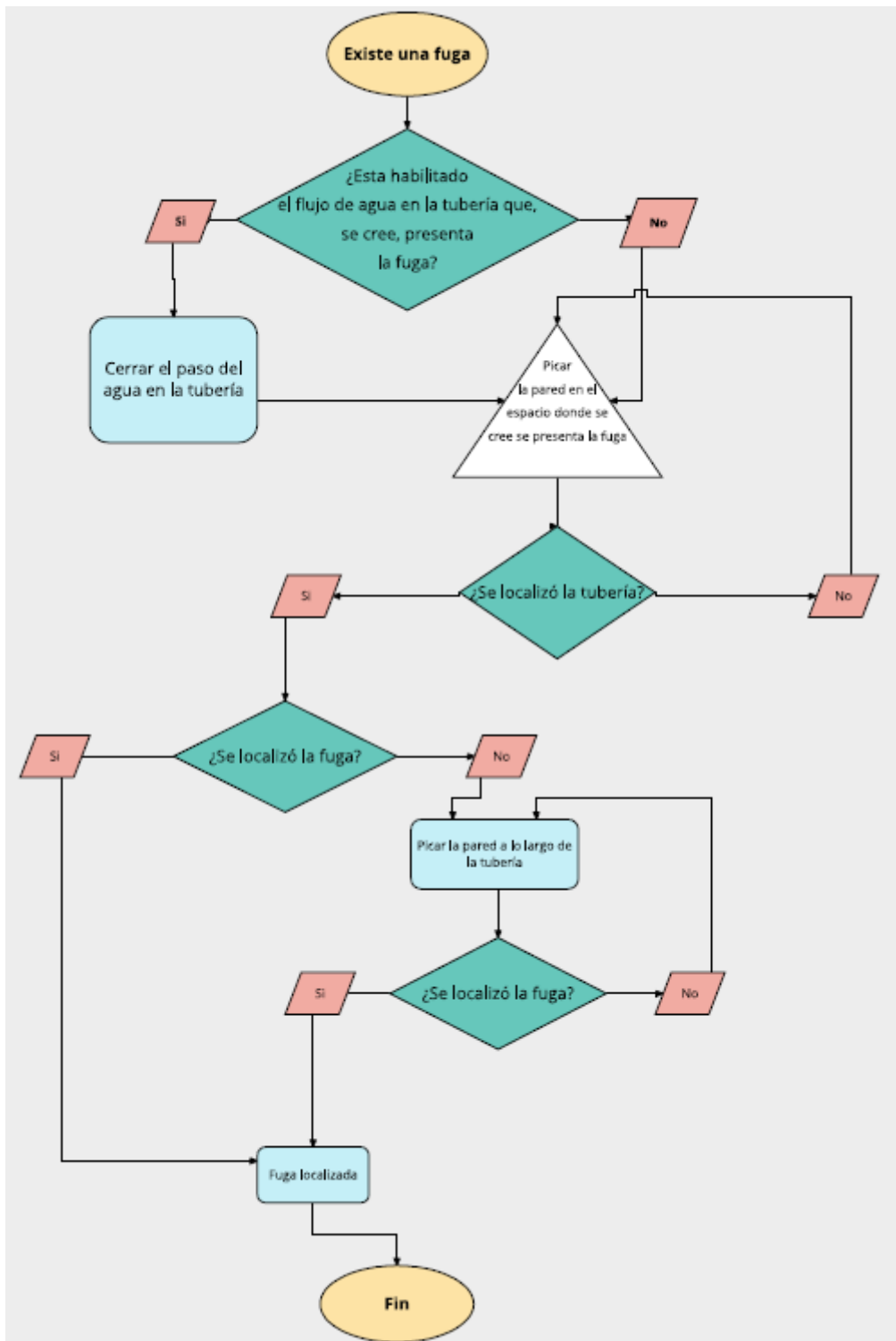


Figura 19. Diagrama de procesos Método destructivo

3.3.2.7. Análisis de precios unitarios

3.3.2.7.1. Picado y resane de pared

Análisis de Precios Unitarios

Rubro:	Picado y resane de pared Cod: 001
Descripción	Picado y resane de pared (sin enlucir) con mortero 1:3
Unidad	m

Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5% N)	1,00	0,10			0,10
Subtotal (M)					0,10
Mano de obra					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hora	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Plomero	1,00	1,00	3,87	0,25	0,97
Ayudante de Plomero	1,00	1,00	3,83	0,25	0,96
Subtotal (N)					1,93
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo	
Mortero 1:3	m ³	0,009	97,72	0,88	
Subtotal (O)					0,88
Transporte					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
Subtotal (P)					0

Total costos directos (M+N+O+P)	2,90
Costo total del rubro	2,90

Tabla 9: APU Picado y resane de pared realizado a partir de: CAMICON (2022).

3.3.2.7.2. Enlucido vertical interior

Análisis de Precios Unitarios

Rubro:	Enlucido interno de E=1 cm Cod: 002
Descripción	Enlucido interno de espesor de 1 cm con mortero 1:4
Unidad	m ²

Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5% N)	1,00	0,23			0,23
Subtotal (M)					0,23
Mano de obra					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hora	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Plomero	1,00	1,00	3,87	0,55	2,13
Ayudante de Plomero	1,00	1,00	3,83	0,65	2,49
Subtotal (N)					4,62
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo	
Mortero 1:4	m ³	0,009	88,29	0,79	
Subtotal (O)					0,79
Transporte					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
Subtotal (P)					0

Total costos directos (M+N+O+P)	5,64
Costo total del rubro	5,64

Tabla 10: APU Enlucido interno realizado a partir de: CAMICON (2022).

3.3.2.7.3. Instalación de cerámica en pared 20x30 cm

Análisis de Precios Unitarios

Rubro:	Cerámica en Pared 20x30 Cod: 003	
Descripción	Instalación de cerámica en pared 20x30	
Unidad	m ²	

Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5% N)	1,00	0,24			0,24
Subtotal (M)					0,24
Mano de obra					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hora	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Plomero	1,00	2,00	3,87	0,20	1,55
Ayudante de Plomero	1,00	2,00	3,83	0,42	3,22
Subtotal (N)					4,77
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo	
Mortero 1:4	m ³	0,009	88,29	0,79	
Brida niveladora de cerámica	100 u	0,01	2,75	0,03	
Cerámica de pared 20x30 cm	m ²	1,00	18,02	12,45	
Subtotal (O)					13,27
Transporte					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
Subtotal (P)					0

Total costos directos (M+N+O+P)	18,28
Costo total del rubro	18,28

Tabla 11. APU Cerámica en pared 20x30 cm realizado a partir de: CAMICON (2022).

3.3.2.8. Costo total de aplicación del método destructivo para el caso planteado

Cod	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo directo	Costo total
001	Picado y resane de pared Mortero 1:3	m	3	\$2,90	\$8,70
002	Enlucido interno E=1 cm Mortero 1:4	m ²	0,9	\$5,64	\$5,08
003	Cerámica en pared 20x30 cm	m ²	0,9	\$18,28	\$16,45
Total:					30,23 \$/prospección

Tabla 12. Costo total por prospección del método destructivo

3.3.3. **Método no destructivo**

3.3.3.1. Mano de obra involucrada

Dentro de la prospección mediante el método termográfico se ha probado necesaria la presencia de un profesional en la Ingeniería Civil como principal operador de la cámara y encargado del registro de datos y un albañil encargado de facilitar la prospección. Se tomó el costo horario de la mano de obra de acuerdo a los valores mínimos de contratación estipulados en la Contraloría General del Estado.

3.3.3.2. Equipo y materiales utilizados

- **Cámara termográfica FLIR C5**
- **Tanque de suministro de agua caliente**
- **Tetera eléctrica**
- **Herramienta menor**

El costo de la cámara termográfica (\$1.384,00), el tanque de suministro (\$42,00) y la tetera eléctrica (\$22,00) se ha prorrateado para un número de 80 prospecciones con una duración de 3 horas de uso continuo obteniendo una tarifa de \$17,50 para la cámara termográfica, \$0,48 para el tanque de suministro y \$0,28 para la tetera eléctrica por cada prospección termográfica realizada. La herramienta menor se ha considerado como el 5% del costo de la mano de obra.

3.3.3.3. Longitud prospectada

Todo el ramal de tubería.

3.3.3.4. Daños residuales

En vista que el criterio de ejecución del ensayo toma en cuenta la normativa vigente y no la transgrede, no se producen daños residuales en la prospección para encontrar fugas mediante termografía.

3.3.3.5. Tiempo empleado

De acuerdo a la experiencia obtenida, se estima que la prospección termográfica se realiza en 2 horas. Por la naturaleza técnica del estudio se añade una hora destinada a la realización de un informe estimando un total de 3 horas.

3.3.3.6. Diagrama de flujo: Método termográfico

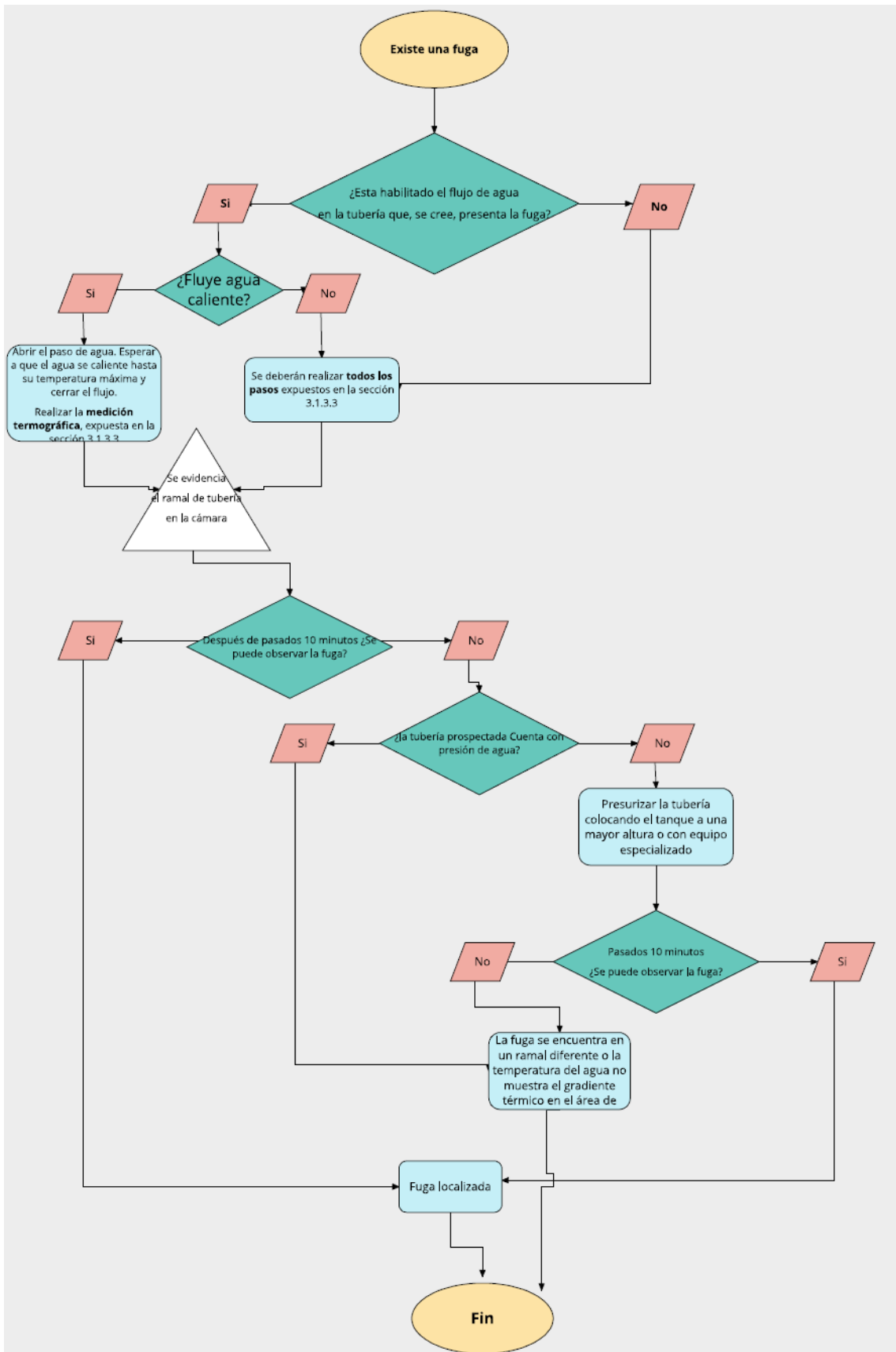


Figura 20. Diagrama de procesos Método termográfico

3.3.3.7. Análisis de precios unitarios

Análisis de Precios Unitarios

Rubro:	Prospección mediante método termográfico
Descripción	Prospección termográfica hidrosanitaria de 3 hrs
Unidad	u

Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Cámara Flir C5	1,00	17,30		1	17,3
Tanque de suministro de agua	1,00	0,48		1	0,48
Tetera eléctrica	1,00	0,28		0,5	0,14
Herramienta menor (5%N)	1,00	1,03		1	1,03
Subtotal (M)					18,95
Mano de obra					
Descripción	Cantidad	Jornal/Hora	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Ingenier@ Civil	1,00	3,00	4,31	1,00	12,93
Albañil	1,00	2,00	3,87	1,00	7,74
Subtotal (N)					20,67
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo	
Subtotal (O)					0
Transporte					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
Subtotal (P)					0

Total costos directos (M+N+O+P)	39,62
Costo total del rubro	39,62 \$/prospección

Tabla 13. Costo total de prospección termográfica de 3 horas.

Capítulo IV: Análisis de resultados y discusión

4.1. Caso en campo

4.1.1. Escenario térmico actual

4.1.1.1. Ambiente de prospección

Después de realizada la visita guiada, y por petición de las autoridades del Centro, que se decidió escoger como área de prospección la zona con dos baños contiguos inhabilitados, esto con el fin de intentar encontrar una solución para habilitar al menos uno de los baños. Un esquema en planta del área a prospectar se presenta a continuación.

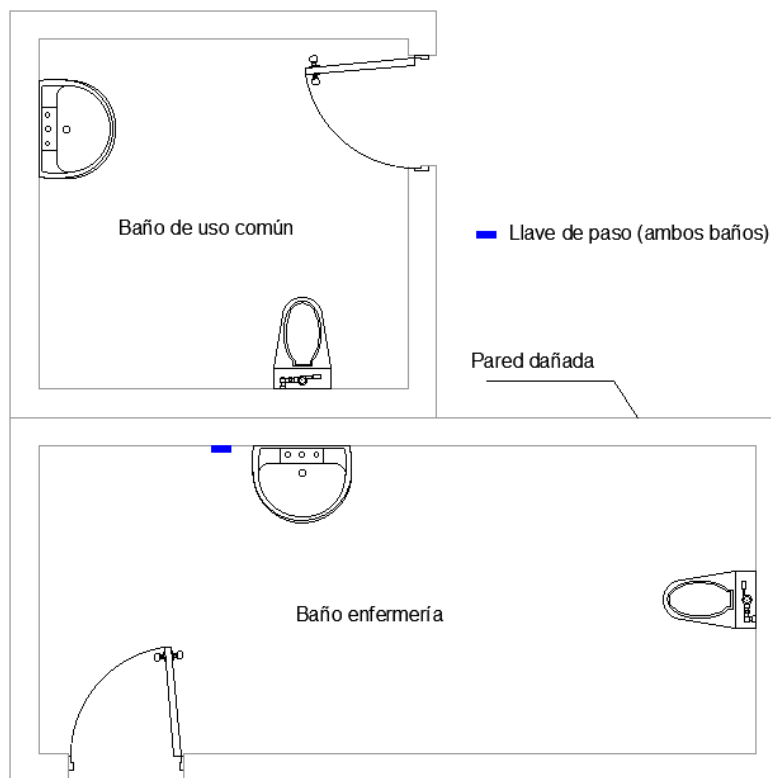


Figura 21. Esquema en planta del área de prospección.

Como se explicó previamente, la temperatura inicial del área de prospección es irrelevante para los fines de la misma. En la segunda visita se escogió la misma área de prospección.

4.1.2. Tiempo de evidencia del gradiente térmico

4.1.2.1. Primera visita

4.1.2.1.1. Aplicación de técnica de gradiente negativo

Después de seguidos los pasos y procedimientos para aplicar la técnica se obtuvo los siguientes resultados:

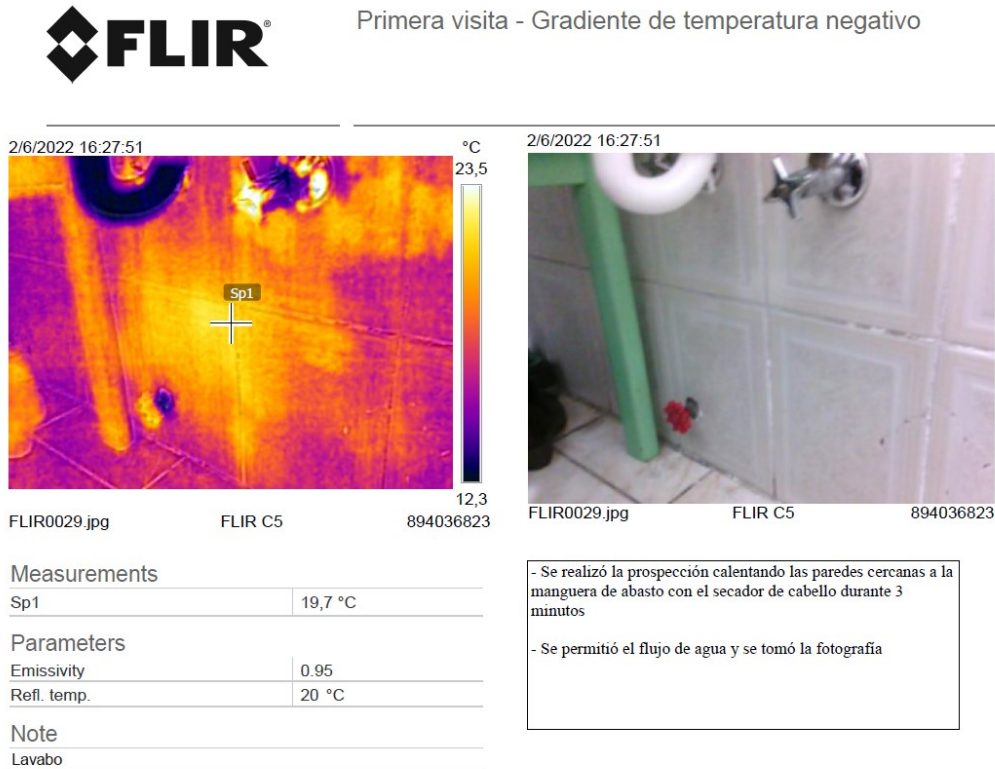


Figura 22. Resultados obtenidos Gradiente de temperatura negativo lavamanos

Posteriormente se realizó el mismo procedimiento en la manguera de abasto del baño donde se obtuvo el siguiente resultado:

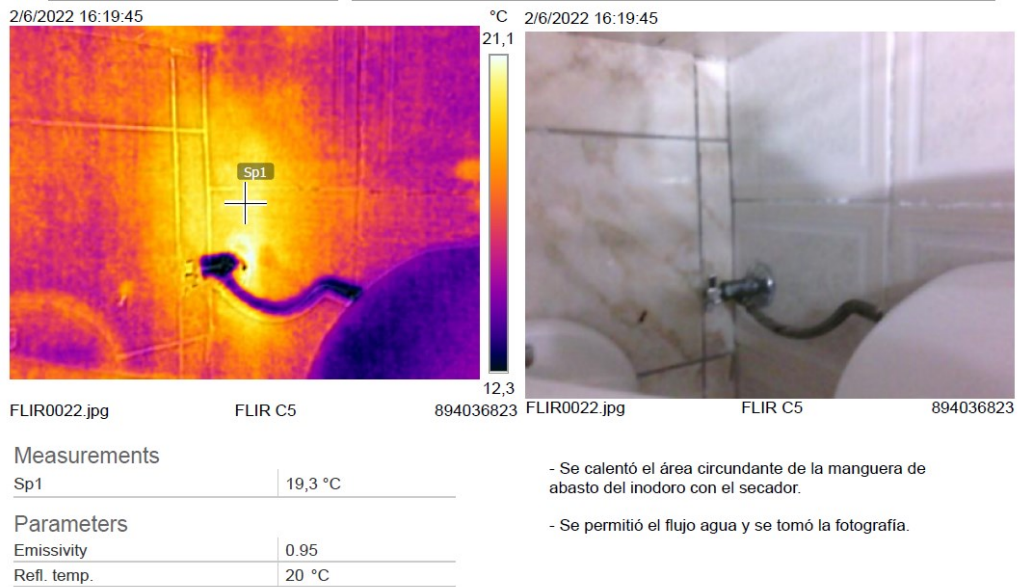


Figura 23. Resultados obtenidos Gradiente de temperatura negativo Inodoro

Los resultados obtenidos de la prospección no evidencian la localización de la tubería de abasto del lavamanos con el método de gradiente de temperatura negativo usando agua fría. Los puntos de medición *Sp1* presentes en las figuras 22 y 23 son indicadores automáticos de la temperatura medida en el centro focal de la cámara.

La razón por la que no se muestran los gradientes de temperatura es porque, debido a la unión de altas resistencias térmicas de los materiales de los cuales está conformada la pared (cerámica y bloque), se produce un aislamiento térmico. Esto no permite que el calor suministrado por el secador pase la cerámica, bloque y caliente el perímetro de la tubería.

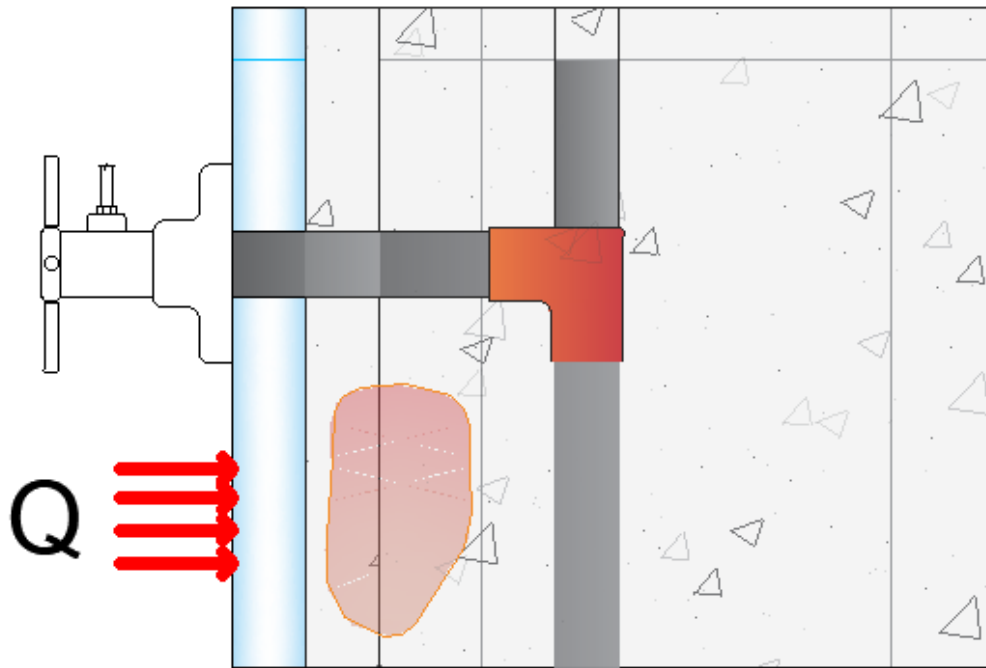


Figura 24. Esquema del resultado de aplicación de Técnica de Gradiente Negativo

Si el área perimetral a la tubería no alcanza a calentarse no se producirá el gradiente de temperatura necesario al permitir el flujo de agua para localizar la tubería en la pared.

El calor suministrado por el secador es insuficiente para lograr superar el aislamiento producido por los recubrimientos de la tubería y evidenciar el gradiente térmico negativo por lo que, si se aumenta la potencia o reemplaza el secador por una pistola de calor, quizá se llegue a un resultado más favorable. Sin embargo es necesario recordar que el secador de cabello funciona calentando aire, un material de gran resistencia térmica, y el aire calentará la superficie. Esta dinámica de transferencia de calor resulta ineficiente para la aplicación del método y hace necesaria más potencia.

Se notó que la reflectividad no afectó el resultado durante la aplicación del método al no mostrarse la temperatura de otros elementos reflejada en la superficie de medición.

4.1.2.2. Segunda visita

4.1.2.2.1. Aplicación de técnica de gradiente positivo

Una vez aplicadas las técnicas y procedimientos especificadas anteriormente, los resultados obtenidos fueron los siguientes:



Segunda visita - Gradiente de temperatura positivo

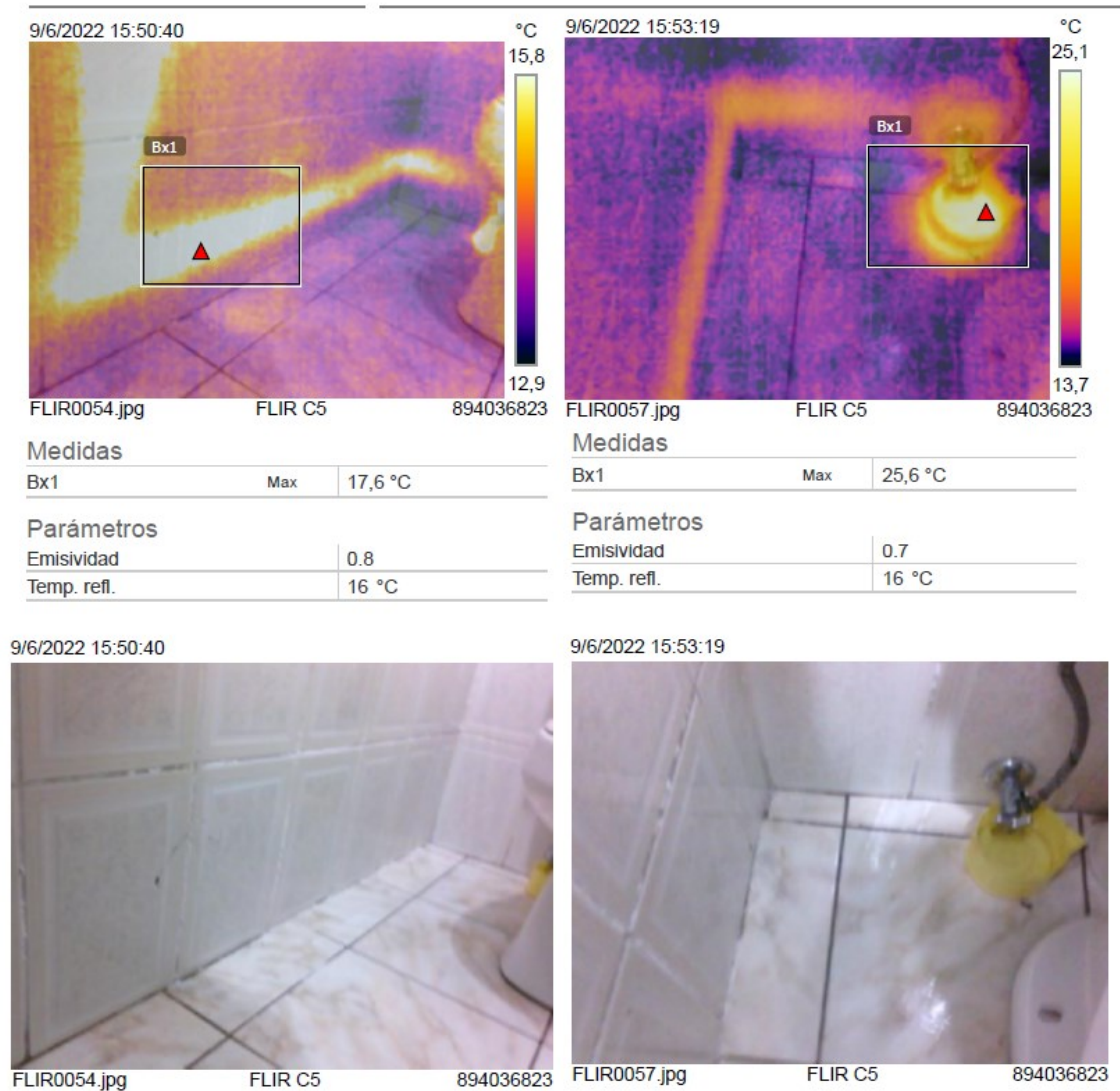


Figura 25. Resultados técnica de gradiente positivo

Los resultados obtenidos una vez aplicada la técnica de gradiente positivo evidencian el gradiente de temperatura necesario para localizar claramente la tubería en la pared. En la *Figura 25* (parte superior) se muestran las imágenes de espectro térmico

de las tuberías que conectan las tomas de abasto de lavamanos e inodoro, en la parte inferior se muestran sus contrapartes digitales.

Se puede notar que la efectividad del método se da por el cambio de material a calentar. El aire tiene una resistencia térmica de $41.67 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ y el agua tan solo $1.72 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$, es decir el aire se opone al cambio de temperatura 24 veces más que el agua haciendo necesaria mucha más potencia de aire caliente para lograr el resultado. Esta razón hace que la transferencia de calor entre el agua – bloque – cerámica se dé de manera eficiente haciendo posible la evidencia de gradiente térmico en la cámara.

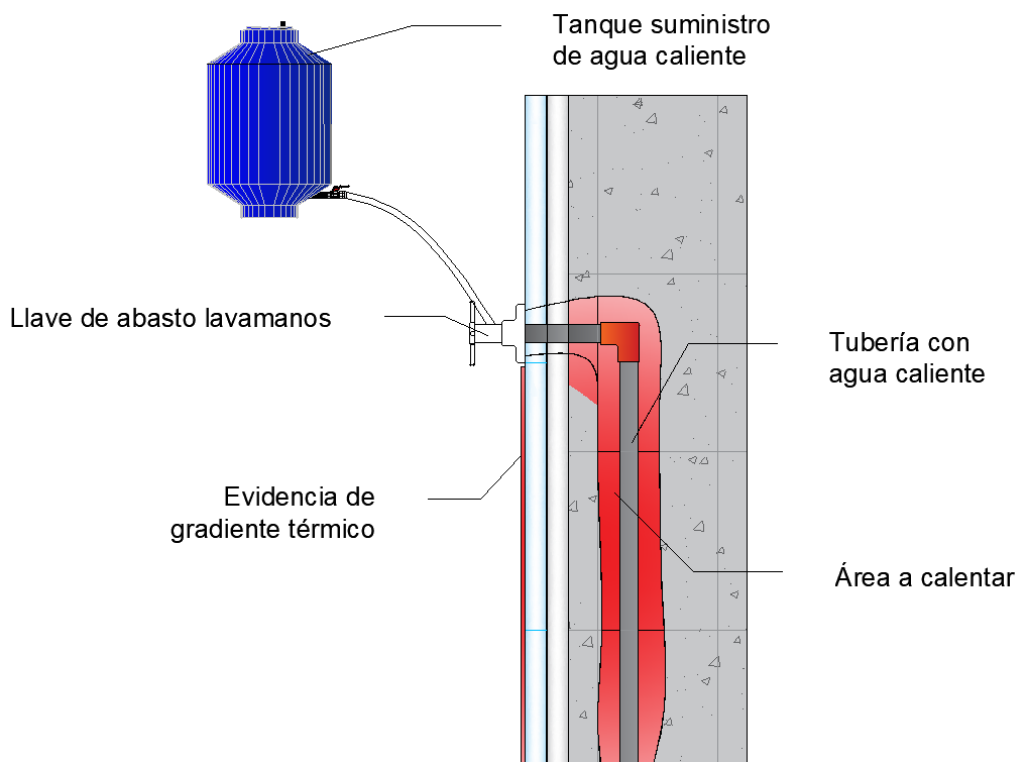


Figura 26. Diagrama de resultados Técnica de gradiente positivo.

El gradiente térmico evidenciado es imperceptible al tacto humano.

En la *Figura 25* (esquina superior izquierda) se puede evidenciar que, aun cuando el inodoro no ha experimentado ningún cambio de temperatura, se muestra caliente en el espectro térmico de la cámara. Esto se debe a que la superficie del inodoro, al estar hecha de cerámica, refleja el espectro de calor de la tubería. Sin embargo esto no representa ningún cambio en la evaluación de resultados del método.

Luego de probada la efectividad del método se ideó un experimento en el que se permitan visibilizar los desagües de las instalaciones hidrosanitarias mediante la inserción

de agua caliente. Sin embargo, como su diseño es específico para evacuar agua, los desagües no permitían el tiempo de permanencia necesario para que la temperatura del agua supere el aislamiento térmico del suelo previo a su evacuación.

4.1.2.3. Aplicación práctica

Al ejecutarse la prospección aplicando las técnicas y procedimientos expuestas anteriormente se obtuvieron los siguientes resultados.



Aplicación Práctica - Rehabilitación baño común

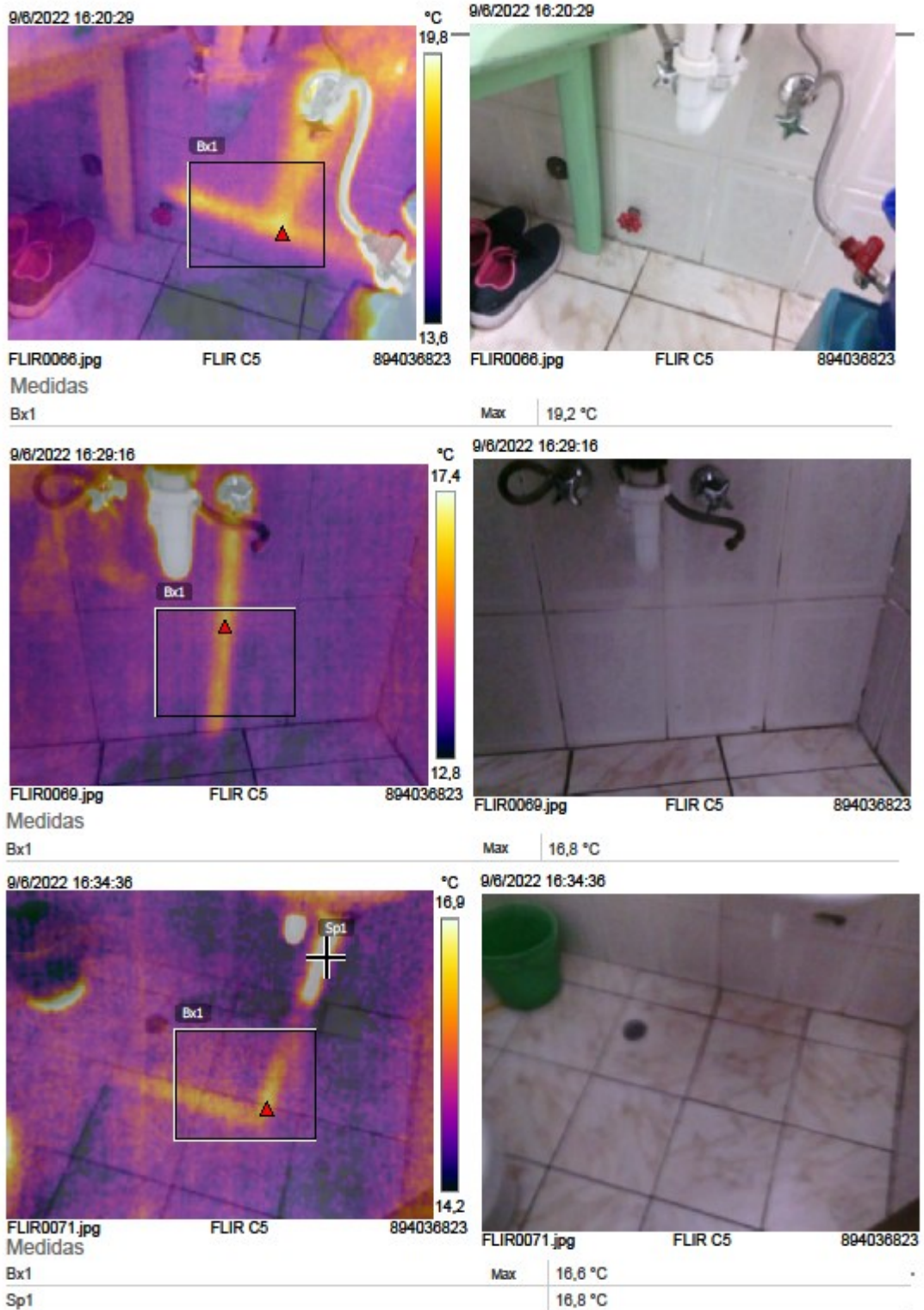


Figura 27. Resultados de prospección. Aplicación práctica

Se puede observar en la *Figura 27* (superior) que, aún después de transcurridos 30 minutos desde la prospección realizada en la Segunda visita, sigue presente el espectro térmico de la tubería de abasto del inodoro (ramal dirigido a la derecha) mostrando la efectividad del método en cuanto a la permanencia del mismo. Los resultados de la prospección hacia el lavamanos del baño de enfermería (ramal dirigido hacia la izquierda) muestran que el espectro térmico de la tubería alcanza la llave de paso y desaparece lo que indica que es el punto donde se encuentra el codo que la dirige hacia el baño común.

En la *Figura 27* (intermedia) se muestran los resultados de la prospección en la toma de salida (lavamanos de baño común) y se observa que, después de transcurridos 9 minutos del inicio de la prospección, fue posible ubicar la tubería vertical de abasto del lavamanos en la pared donde se encuentra montado. Al no mostrarse la tubería horizontal, cuya localización fue propuesta en la *Figura 9*, se infiere que la misma no pasa por la pared.

Transcurridos 14 minutos de la ejecución de la prospección y 5 minutos de la observación el gradiente térmico en la pared, se observa en la *Figura 27* (inferior) el gradiente térmico de la tubería horizontal presente en la losa de piso del baño común y no en la pared como se ha supuesto en la *Figura 9*.

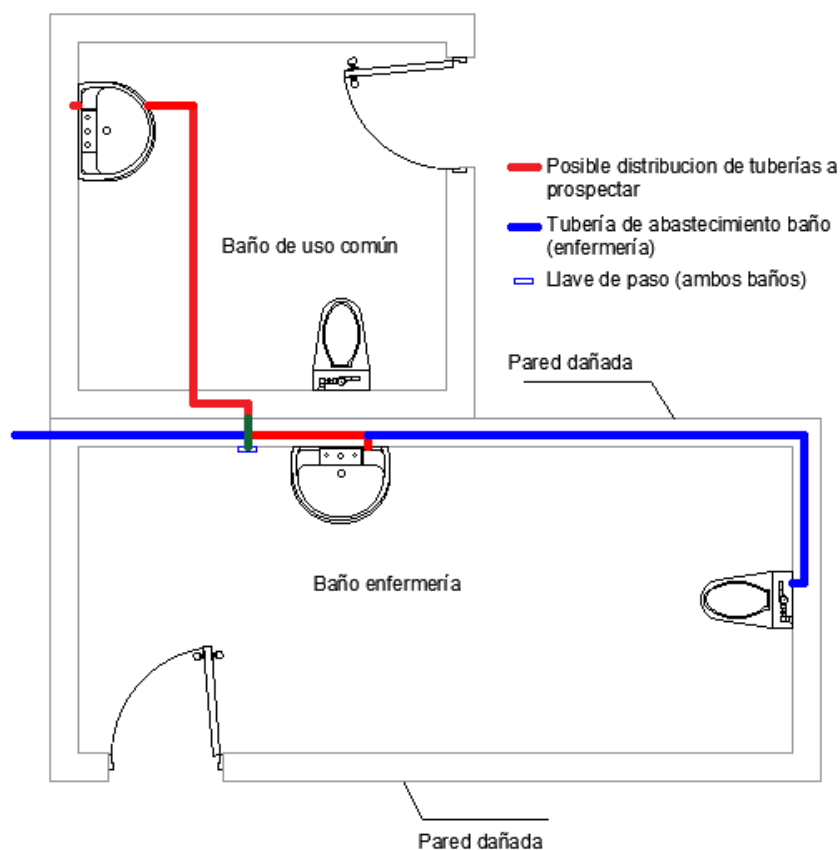


Figura 28. Esquema de ubicación real de tubería Baño común

Adicionalmente, los medidores de temperatura ubicados en espectro térmico de la pared (*Sp1*) y en el espectro térmico de la losa (*Bx1*) muestran una diferencia de 0.2° aun cuando las condiciones iniciales de la prospección son las mismas. Esto se explica por las condiciones de emplazamiento de la tubería, puesto a que una se encuentra en la pared y otra en el suelo, es probable que la tubería este embebida más profundo en la losa que en la pared. Esta diferencia de longitudes de recubrimientos hace que el gradiente térmico evidenciado en la losa tenga menor intensidad calorífica que el de la pared y, además, que tarde más tiempo en evidenciarse.

Observando los resultados obtenidos en la *Figura 28* se determinó que para habilitar el baño de uso común basta con instalar una llave de paso tan solo a 5 centímetros de la existente puesto que justo en donde se encuentra la llave de paso está el ramal que abastece la tubería del baño común. Esta distribución permitirá el flujo de agua en el baño común pero lo restringirá en el baño de enfermería donde se encuentran focalizados los daños por humedad.

No se encontraron fugas en las instalaciones estudiadas por lo que se infiere que el daño por humedad es causado por factores externos a las tuberías.

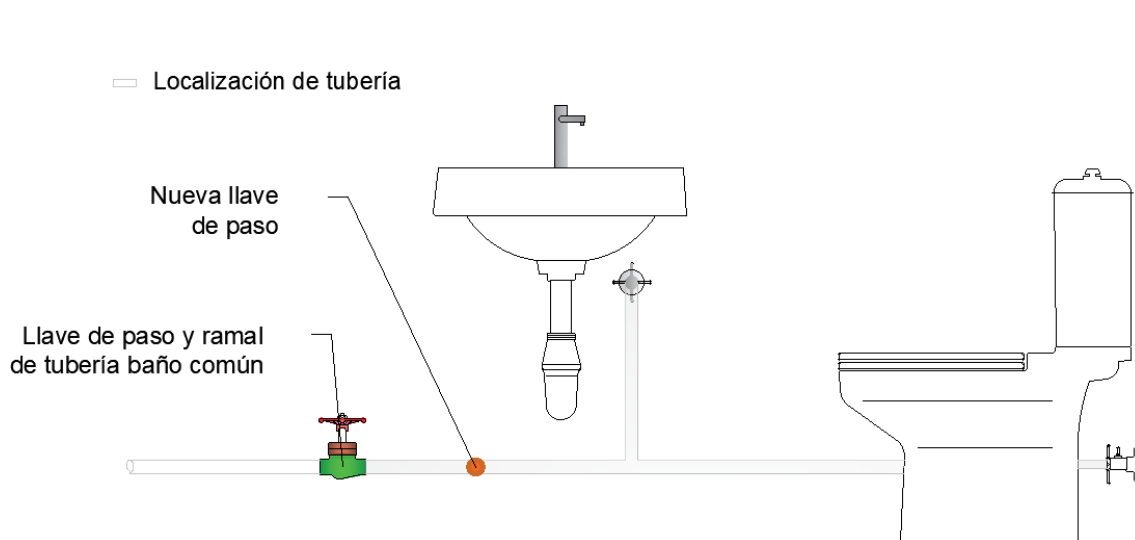


Figura 29. Diagrama de emplazamiento de nueva llave de paso

4.1.3. Fallas en las instalaciones

Dentro del área de escogida para las conducción de la prospección termográfica, y de acuerdo a los resultados discutidos previamente, no se localizaron fallas en las tuberías.

4.2. Caso en ambiente controlado

4.2.1. Mediciones con gradiente de temperatura positivo

Se puede observar en la *figura 16* que la imagen térmica (inferior) muestra la localización de la fuga de forma inequívoca por el rastro que deja el agua caliente al caer por acción de la gravedad. No se muestra ninguna temperatura reflejada debido a que el recubrimiento no posee una superficie brillante.

En la imagen térmica de la *figura 17 (inferior)* se notó la presencia de temperaturas reflejadas en áreas cercanas a la fuga, esto se debe al brillo del recubrimiento que para los fines del experimento no supone mayor problema; sin embargo, en circunstancias donde la temperatura reflejada resulte en una obstrucción del funcionamiento del método, será necesario la opacar la superficie.

4.2.2. Mediciones con gradiente de temperatura negativo

Debido a que la técnica de aplicación de gradiente de temperatura negativo resultó ineficaz, se descartaron mediciones que usen dicha técnica.

4.2.3. Tiempo de evidencia de gradientes térmicos

Se observa en la *figura 16* que el tiempo transcurrido entre el inicio de la prospección y la evidencia de la fuga en la pared recubierta con porcelanato es de 7 minutos.

En la *figura 17* se nota que, en la pared con recubrimiento cerámico, la fuga se vuelve evidente ante la cámara después de 8 minutos de iniciada la prospección; no presenta mucha diferencia ante el recubrimiento de porcelanato debido a que, si bien son materiales distintos, ambos poseen espesores semejantes.

Contrario a lo esperado, en la *figura 18* se puede observar que, aunque no posee un recubrimiento aislante, el tiempo de evidencia de la fuga en la medición termográfica de la pared estucada y pintada es significativamente mayor al de los otros recubrimientos considerados (28 minutos). Esto se debe probablemente a un error de escala en la simulación de la fuga de dicho tramo de tubería que resultaría en una fuga más pequeña que sus homólogas en los distintos recubrimientos. Sin embargo, este error prueba ser educacional debido a que proporciona un tiempo crítico en donde se mantiene efectivo el diagnóstico de fugas mediante el método termográfico.

4.3. Análisis de incidencia de costos en la elección del método prospectivo

Método	Long. Prospectada	Área prospectada	Tiempo empleado	Costo directo
Destructivo	3 metros	0,9 metros cuadrados	4 horas	\$30,23
Termográfico	Todo el ramal de tubería	0 metros cuadrados	3 horas	\$39,62

Tabla 14: Resultados de la comparación.

4.3.1. Método destructivo

El tiempo de ejecución del método destructivo prueba ser mayor que en el método termográfico. El tiempo es un indicador de la urgencia de reparo de la fuga que permite considerar los métodos prospectivos si se tiene en cuenta que el área a reparar será inaccesible mientras se realiza la prospección.

El método destructivo ofrece la oportunidad de mantenimiento de la fuga; sin embargo, en caso de presentarse múltiples fugas en el circuito de tubería, la efectividad del método decae debido a que el riesgo de no encontrar la fuga aumenta.

Dentro del análisis de costos de aplicación del método destructivo, para el área y longitudes consideradas, se evidencia que el costo de los recubrimientos representa el 55% del costo total del método. Dando una indicación de la importancia de localizar la fuga con precisión antes de empezar labores destructivas puesto a que cualquier equivocación aumentará el área de prospección lo que a su vez aumentará el costo de la misma

4.3.2. Método no destructivo

El análisis de precios unitarios planteado, de acuerdo con la figura muestra que el método termográfico, aunque tarda menos tiempo en ejecutarse, resulta más costoso que la aplicación del método destructivo al momento de considerar redes de tubería pequeñas. Sin embargo, el método termográfico excede al destructivo en redes amplias o que presentan más de una fuga debido a que al conducirse una prospección termográfica el resultado es, además del diagnóstico del ramal, el mapeo y localización del mismo.

De acuerdo con los datos obtenidos en la encuesta realizada se estimó que, de las 120 fugas que estima haber reparado el entrevistado, aproximadamente en 10 casos no fue posible encontrar la fuga, lo que se traduce como una probabilidad de 1/12 de que la prospección destructiva se realice en el lugar equivocado aumentando el costo de la misma al tener que realizarla nuevamente.

Al no existir intervención en la pared prospectada y por el hecho de realizarse en menos tiempo, el método termográfico prueba ser una alternativa más cómoda en el catálogo de métodos prospectivos disponibles en el medio de detección de fugas.

Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

Dentro de los criterios expuestos en este estudio y bajo los parámetros establecidos en capítulos anteriores se puede concluir que:

- Tal como lo muestran los resultados de las prospecciones en campo (*figura 25*) y en ambiente controlado (*figuras 16, 17 y 18*), sí es posible encontrar redes hidrosanitarias, así como fugas presentes en ellas, mediante termografía; añadiendo dicha tecnología a la lista de métodos prospectivos a considerar para el diagnóstico y mantenimiento de diversas patologías de la construcción.
- El método termográfico, a diferencia del método destructivo y métodos acústicos, presenta una alternativa de amplio rango de aplicación y efectos negativos despreciables en materia de prospecciones hidrosanitarias. No presenta limitaciones ambientales, ni genera daños en la red estudiada.
- De acuerdo con los resultados presentados en la *tabla 14*, el costo de aplicación del método termográfico prueba ser mayor que el del método destructivo para áreas y longitudes de prospección pequeñas. Sin embargo, al no depender de la cantidad de metros de prospección y al realizarse en menos tiempo, el método termográfico prueba ser más eficiente en redes de tuberías hidrosanitarias extensas o que posean más de una fuga.
- De acuerdo a lo expuesto por Duque (2015), dentro del medio local, los métodos más utilizados por contratistas y trabajadores de la construcción en general son el método acústico (geófono) y el método destructivo. Sin embargo, de acuerdo con Simbaña (2021), el geófono prueba ser un artefacto cuya efectividad depende de la experiencia del técnico que lo maneja, al contrario del método termográfico.
- Como lo muestran las *tablas 1 y 2* y de acuerdo a los resultados obtenidos en la segunda visita de campo (*figura 25*), los materiales utilizados en instalaciones hidrosanitarias poseen cualidades termodinámicas (calor específico y resistencia térmica) ventajosas para la aplicación del método termográfico tanto para encontrar tuberías como para encontrar posibles fallas presentes en ellas.
- La efectividad de aplicación del método termográfico para encontrar fugas depende de la presión a la que se inyecta el agua, el tiempo de permanencia de la

misma dentro de la tubería, de la profundidad a la que la tubería está embebida en la pared y de los recubrimientos.

- Como lo muestran los resultados en ambiente controlado (*figuras 16, 17 y 18*), mediante el uso de termografía se facilita y focaliza el mantenimiento en redes de tuberías ya que permite determinar la posición de las mismas y sus diferentes accesorios y cambios de dirección. Esto permite ubicarlas en la pared y ofrece alternativas de arreglo previo a realizar algún daño en la pared.

5.2. Recomendaciones

Dentro de los criterios expuestos en este estudio y bajo los parámetros establecidos en capítulos anteriores se recomienda:

- Tener en cuenta posibles dificultades logísticas de aplicación del método en redes extensas ya que cuanto más grande sea la red a prospectar podría necesitarse más volumen de agua caliente u otro medio más eficiente para inyectar dicha agua a presión.
- Estudiar la aplicabilidad y efectividad del método para realizar prospecciones termográficas que permitan el mapeo completo de ramales de tubería por medio de la inserción de agua caliente desde la acometida de la edificación; así como los requerimientos de presión y temperatura del agua.
- Extender el tiempo de espera previo a realizar la prospección termográfica debido a que la profundidad a la que la tubería se encuentra embebida no siempre se hallará entre los rangos expuestos en este trabajo; por lo tanto, el tiempo de evidencia del gradiente térmico dependerá de las condiciones constructivas del ambiente a prospectar.
- Considerar que para realizar prospecciones termográficas en desagües será necesario incrementar el tiempo de permanencia del agua en el desagüe mediante la inserción de tapones u obstrucciones en caja de revisión.

Bibliografía

- Arias, G. E., y Carrasco, P. A. (2016). *Simulación de una Inspección Termográfica de una configuración de materiales de Construcción*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Balageas, D. L. (2007). *Termografía Infrarroja : una técnica multifacética para la Evaluación no Destructiva (END)*. Buenos Aires: Asociación Argentina de Ensayos No Destructivos (AAENDE).
- Beltrán, J. (7 de Junio de 2021). Escuelas en mal estado antes del inicio de clases presenciales en planteles autorizados. *EL UNIVERSO*, págs. 3-4.
- Cañas, I., Martín, S., y González, I. (02 de Diciembre de 2003). Aplicabilidad de la Termografía para la inspección de edificios rurales: Caso de Comarca Española. *Informes de la Construcción (nov-dec, 2003)*. Madrid, España.
- Código Ecuatoriano de la Construcción. (2003). *Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes*. Quito: INEN.
- Daza, P. (2021). AGUA, SANEAMIENTO E HIGIENE PARA EL RETORNO SEGURO A LAS CLASES PRESENCIALES EN ECUADOR. *Plan International*, 1.
- Duque, J. G. (2015). *Metodología Constructiva para Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Vivendas*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- EPMAPS. (23 de Septiembre de 2021). Equipo especializado detecta fugas de agua en Quito. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Fanner, P., y Lambert, A. (21 de 03 de 2006). *Calculating SRELL with Pressure Management, Active leakage Control and Leak run-time options, with Confidence Limits*. Obtenido de MiYa Water: https://www.miya-water.com/fotos/artigos/03_calculating_srell_with_pressure_management_active_leakage_control_and_leak_run_time_options_with_confidence_limits_17136495525a325dabb4998.pdf
- FLIR Systems. (2018). *Manual de Usuario Serie FLIX Cx*.

- Fonseca Pérez, J. D., y Rodríguez Sastoque, J. C. (2017). *Detección y Localización de Fugas en las Redes de Agua Potable*. Bogotá: Universidad de La Salle.
- Fuentes Mariles, Ó. A., Palma Nava, A., y Rodríguez Vásquez, K. (2011). *Estimación y localización de fugas en una red de tuberías de agua potable usando algoritmos genéticos*. México: UNAM.
- Jimbo, P. R., Jimbo, M. J., y Aguilera, A. E. (2017). *Quito DM, Smart City para el 2022*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Lahlou, Z. M. (2012). *Detección de Fugas y Control de Pérdida de Agua*. New York: National Environmental Services Center.
- López, E. J. (2008). *Diseño de edificio escolar y red de alcantarillado sanitario*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Miduvi. (2013). *Norma Hidrosanitaria Ecuatoriana*. Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Muñoz, L. E., Creus, M., Sanjuan, F., Rabal, H., y Gallego, J. (28 de Agosto de 2013). Comprobación Experimental de la Ley de Stefan-Boltzmann en la Cátedra de Física de la UNLP. *Comprobación Experimental de la Ley de Stefan-Boltzmann en la Cátedra de Física de la UNLP*. La Plata, Argentina: CONICET Digital.
- NHE. (2013). *Norma Técnica Ecuatoriana 1571*. Quito: INEN.
- Pineda, O., y Natafi, M. (2006). *Estimación de daño sísmico en tuberías enterradas. Doctorate of Engineering*. Los Alamos.
- Puig, A. P. (1950). *Curso teórico-práctico de ecuaciones diferencias aplicado a la Física y Técnica*. Madrid: Nuevas Gráficas, S.A.
- Resnick, R., Halliday, D., y Krane, K. S. (2007). *Física*. México: Grupo Editorial Patria.
- Revillas, S. M. (2011). *Guía de termografía infrarroja*. Madrid: Gráficas Arias Montano, S.A.
- Rosero, M. (11 de Marzo de 2020). Gobierno declara la emergencia sanitaria para enfrentar el covid-19. *El Comercio*, pág. 3.

- Royo, P. R. (2015). *Reflejos en termografía infrarroja. Nuevo método para la estimación de la emisividad de superficies con acabado especular*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Sandoval, F. (2017). *Materiales, pinturas, conducciones y tuberías*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Sears y Zemansky. (2013). *Física Universitaria, Volumen I*. México: Pearson.
- Silva, K. F. (2019). *Cálculo del Nivel Económico de Fugas en Redes de distribución de agua y Análisis de sensibilidad a corto plazo*. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia.
- Simbaña, C. (23 de Septiembre de 2021). Equipo especializado para detectar fugas de Agua en Quito. (U. d. EPMAAPS, Entrevistador) Quito, Ecuador: www.quitoinforma.gob.ec. Obtenido de <http://www.quitoinforma.gob.ec/2021/09/23/equipo-especializado-detecta-fugas-de-agua-en-quito/>
- Trujillo, Y. (29 de Enero de 2021). En planteles del Ecuador hay maleza, polvo y daños tras 10 meses. *El Comercio*, pág. 6.

Anexos

Anexo 1: fotografías

Construcción del muro de pruebas



Imagen 19. Infraestructura de muro de pruebas



Imagen 20. Infraestructura de muro de pruebas (enlucido)



Imagen 21. Infraestructura de muro de pruebas (colocación de tubería)



Imagen 22. Infraestructura del muro de pruebas (resane de tubería)



Imagen 23. Recubrimiento de porcelanato



Imagen 24. Recubrimiento cerámico



Imagen 25. Estucado y pintado



Imagen 26. Medición termográfica en muro de pruebas



Imagen 27. Medición termográfica en recubrimiento cerámico.



Imagen 28. Drenaje de ramales con tanque de suministro de agua.

Anexo 2: entrevista

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

Facultad de Ingeniería

Entrevista

Entrevistador: Israel Ramos

Fecha: 19-09-2022

Entrevistado: David Quiñtorra

Nota: La naturaleza de esta entrevista es puramente educativa, cualquier respuesta será usada con fines comparativos alineados a los resultados de la presente investigación.

1. ¿Cuánto tiempo se ha desempeñado como plomero?

21 años

2. Además de usted, ¿ha necesitado la presencia de un ayudante para su oficio?

Si. Ayudante de plomería

3. ¿Qué materiales o instrumentos necesita para iniciar la búsqueda de fugas?

Punta y combo.

4. ¿Cuántas fugas estima haber reparado en instalaciones hidrosanitarias?

Mínimo 120 fugas

5. Que usted recuerde, ¿Cuánto ha sido lo máximo que ha tenido que picar para encontrar una fuga?

5 metros

6. ¿Cuánto es lo máximo que ha tardado en encontrar una fuga?

6 horas

7. Que usted recuerde, ¿Cuánto ha sido lo mínimo que ha tenido que picar para encontrar una fuga?

50 cm.

8. Cuando es necesario picar una pared, ¿De qué altura es el agujero para exponer la tubería?

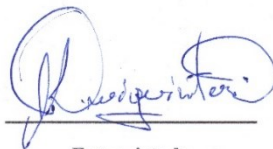
20 cm.

9. ¿Cuánto es lo mínimo que ha tardado en encontrar una fuga?

20 minutos

10. ¿Ha existido casos en donde no ha podido localizar la fuga?

Si. 10 casos.



Entrevistado