



**Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.**

Yo, Catherine Michelle Acón Villalobos, con cédula de identidad 113900812, en mi condición de autor del TFG titulado Elaboración de una herramienta para registrar las fallas constructivas en proyectos de construcción basada en el abordaje de la ingeniería civil forense.

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI  NO \*

\*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: \_\_\_\_\_ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

**INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:**

Nombre Completo: Catherine Michelle Acón Villalobos

Número de Carné: A80047 Número de cédula: 113900812

Correo Electrónico: aconcatherine@gmail.com

Fecha: 5 setiembre 2019 Número de teléfono: 8893-3686

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): Ing. Robert Anglin Fonseca, M.Sc.

  
**FIRMA ESTUDIANTE**

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.



**Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.**

Yo, Eli Tatiana Araya Muñoz, con cédula de identidad 115920123, en mi condición de autor del TFG titulado Elaboración de una herramienta para registrar las fallas constructivas en proyectos de construcción basada en el abordaje de la ingeniería civil forense.

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI  NO \*

\*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: \_\_\_\_\_ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

**INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:**

Nombre Completo: Eli Tatiana Araya Muñoz

Número de Carné: A80492 Número de cédula: 115920123

Correo Electrónico: elitati15@gmail.com

Fecha: 5 setiembre 2019 . Número de teléfono: 8302-5710

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): Ing. Robert Anglin Fonseca, M.Sc.

**FIRMA ESTUDIANTE**

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ELABORACIÓN DE UNA HERRAMIENTA PARA REGISTRAR LAS FALLAS CONSTRUCTIVAS EN  
PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN BASADA EN EL ABORDAJE DE LA INGENIERÍA CIVIL FORENSE

Trabajo final de investigación aplicada sometido a la consideración de la Comisión del Programa de  
Estudios de Posgrado en Ingeniería Civil para optar al grado y título de Maestría Profesional en  
Administración e Ingeniería de la Construcción

CATHERINE ACÓN VILLALOBOS

TATIANA ARAYA MUÑOZ

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2019

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este trabajo a nuestros padres, quienes nos apoyan incondicionalmente en todos los aspectos de nuestra vida y se han esforzado por darnos las mejores oportunidades.

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestro director de tesis, el Ing. Robert Anglin Fonseca por toda su colaboración, consejos, apoyo y guía en el desarrollo de este proyecto.

A nuestros asesores, el Ing. Marco Rodríguez y el Ing. Mauricio Jiménez por su buena disposición en ayudarnos a salir adelante y apoyarnos en este proyecto.

A la ingeniera de la empresa constructora que nos brindó los datos para la validación de la herramienta creada y su tiempo en el proceso de elaboración, así como sus consejos valiosos de mejoras que ayudaron en lograr un resultado final más completo.

A todas las personas que nos brindaron su apoyo en este proceso, ¡muchas gracias!

“Este trabajo final de investigación aplicado fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Profesional en Administración e Ingeniería de la Construcción.”

---

Ing. Erick Mata Abdelnour, Dr.  
**Representante del Decano  
Sistema de Estudios de Posgrado**

---

Ing. Robert Anglin Fonseca, M.Sc.  
**Profesor Guía**

---

Ing. Mauricio Jimenez Bolaños, M.Sc.  
**Lector**

---

Ing. Marcos Rodríguez Mora, M.Sc.  
**Lector**

---

Ing. Einer Rodríguez Rojas, M.Sc.  
**Representante del Director del  
Programa de Posgrado**

---

Catherine Acón Villalobos  
**Sustentante**

---

Tatiana Araya Muñoz  
**Sustentante**

## TABLA DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
HOJA DE APROBACIÓN.....	iv
TABLA DE CONTENIDOS .....	v
RESUMEN .....	viii
LISTA DE TABLAS .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	x
1. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Introducción al tema .....	1
1.2. Justificación del tema.....	3
1.3. Objetivos .....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Definición de variable/términos .....	4
1.5. Delimitaciones en alcance.....	5
1.6. Limitaciones .....	5
2. CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. Antecedentes de la ingeniería civil forense .....	7
2.2. Generalidades de la ingeniería civil forense .....	9
2.3. Estándares utilizados en ingeniería civil forense .....	10
2.3.1. Modo de falla y análisis de efectos .....	11
2.3.2. Análisis de la causa raíz.....	13
2.3.3. Método científico.....	15
2.4. Comparación de las metodologías de la ingeniería civil forense.....	17

2.5.	Generalidades de las bases de datos .....	18
2.5.1.	Bases de datos relacionales .....	19
2.5.2.	Diseño del modelo conceptual.....	21
2.5.3.	Diseño modelo lógico.....	21
2.5.4.	Diseño modelo físico .....	22
2.6.	Microsoft Access: gestor de bases de datos .....	23
3.	CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA .....	27
3.1.	Tipo de investigación.....	27
3.2.	Participantes y selección .....	27
3.3.	Instrumentos y metodologías .....	28
3.4.	Procedimientos .....	28
3.4.1.	Confección del diagrama de flujo para determinar la causa de las no conformidades .....	28
3.4.2.	Creación de una base de datos para el reporte de fallas constructivas y seguimientos .....	29
3.4.3.	Desarrollo de interfaz gráfica de usuario para base de datos .....	29
3.5.	Análisis de herramienta e interfaz .....	29
3.5.1.	Ingreso de datos de reportes y seguimientos existentes .....	30
3.5.2.	Implementación de la herramienta en una empresa constructora .....	30
4.	CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	31
4.1.	Diagrama de flujo con propuesta de metodología de ingeniería forense .....	31
4.2.	Base de datos para el registro de reportes de fallas constructivas y seguimientos ....	33
4.2.1.	Diseño conceptual del modelo inicial y su relación interna.....	33
4.2.2.	Diseño lógico del modelo relacional .....	34
4.2.3.	Diseño físico con lenguaje SQL y base de datos final.....	35
4.3.	Interfaz de usuario para base de datos.....	37

4.4.	Implementación de la herramienta para la gestión de la base de datos.....	44
5.	CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
5.1.	Discusión .....	49
5.2.	Conclusiones .....	50
5.3.	Recomendaciones .....	51
6.	Referencias.....	53
	ANEXO 1: INSTRUCTIVO DE USO DE BASE DE DATOS .....	56
	ANEXO 2: EVALUACIÓN DE BASE DE DATOS E INTERFAZ DE USUARIO DISEÑADA .....	69

## **RESUMEN**

Durante la ejecución de los proyectos o después de su finalización, se suelen presentar fallas y defectos que afectan la calidad de las construcciones. La ciencia que aplica principios de ingeniería para la investigación de este tipo de casos se llama ingeniería civil forense; en Costa Rica es poco explorada y desarrollada. Por otro lado, a nivel internacional muchos países han avanzado en lo que respecta a su formalización y el uso de su metodología asociada para la investigación de casos de fallas de edificaciones, con la cual se han generado bases de datos y conocimiento para tomar acciones correctivas.

En este trabajo se realizó una investigación aplicada con la cual, a partir de los resultados, se desarrolló una propuesta del procedimiento a seguir en una investigación de fallas y defectos en la construcción, basada en las etapas del método científico. Además, se elaboró una herramienta con el programa de Microsoft Access que recolecta información según dichas etapas, la cual se validó a través del ingreso de datos reales de una empresa constructora. Esta herramienta tiene como objetivo principal facilitar el seguimiento y control de los reportes de fallas constructivas para posteriormente poder analizar los datos y trabajar en pro de evitar que vuelvan a suceder nuevamente en otras obras.

Este es el primer paso hacia estandarizar el proceso de investigación forense en Costa Rica e iniciar una base de datos que puede llegar a servir de referencia para otros profesionales y futuros proyectos.

### **Palabras Claves:**

Ingeniería forense, base de datos, fallas constructivas, métodos de investigación.

## **LISTA DE TABLAS**

CUADRO 4-1. DISEÑO DE CUESTIONARIO PARA EVALUAR LA BASE DE DATOS Y LA INTERFAZ DE USUARIO.....	46
CUADRO 4-2. ESCALA DE CALIDAD UTILIZADA EN EL CUESTIONARIO .....	47

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1. EJEMPLO DE MATRIZ DE PUNTUACIÓN DE PELIGRO (5X5).....	12
FIGURA 2-2. HOJA DE TRABAJO DEL MÉTODO DE ANÁLISIS DEL MODO DE FALLAS Y LOS EFECTOS .....	13
FIGURA 2-3. SIMBOLOGÍA DEL MÉTODO DE CAUSA RAÍZ .....	14
FIGURA 2-4. EJEMPLO DE DIAGRAMA PARA EL ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ .....	14
FIGURA 2-5. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL MÉTODO CIENTÍFICO .....	16
FIGURA 2-6. COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS DE INGENIERÍA FORENSE .....	18
FIGURA 2-7. RELACIÓN UNO A UNO.....	21
FIGURA 2-8. RELACIÓN UNO A MUCHOS.....	22
FIGURA 2-9. RELACIÓN MUCHOS A MUCHOS.....	22
FIGURA 2-10. ORÍGENES DESDE DONDE SE PUEDE IMPORTAR O VINCULAR DATOS A MICROSOFT ACCESS .....	24
FIGURA 4-1. PROPUESTA DE METODOLOGÍA DE INGENIERÍA FORENSE.....	32
FIGURA 4-2. TABLAS PRINCIPALES DE LA BASE DE DATOS Y LOS ATRIBUTOS .....	33
FIGURA 4-3. RELACIÓN ENTRE PROYECTOS, REPORTE Y SEGUIMIENTOS EN LA BASE DE DATOS .....	34
FIGURA 4-4. TABLAS ESTABLECIDAS PARA LA BASE DE DATOS .....	34
FIGURA 4-5. RELACIÓN DE LAS TABLAS ESTABLECIDA EN EL GESTOR DE LA BASE DE DATOS .....	35
FIGURA 4-6. EJEMPLO DE PROPIEDADES DE LOS ATRIBUTOS DE LAS TABLAS EN EL GESTOR DE LA BASE DE DATOS.....	36
FIGURA 4-7. EJEMPLO DE TABLA DE INFORMACIÓN DE PROYECTO .....	36
FIGURA 4-8. EJEMPLO DE LA RELACIÓN DE REPORTE Y SEGUIMIENTOS EN LA TABLA DE PROYECTOS .....	37
FIGURA 4-9. CONSULTAS DE TABLAS EN EL GESTOR DE LA BASE DE DATOS .....	37
FIGURA 4-10. FORMULARIOS DE TABLAS EN EL GESTOR DE LA BASE DE DATOS.....	38
FIGURA 4-11. FORMULARIO DE ACCESO A LA BASE DE DATOS.....	39
FIGURA 4-12. MENÚ DE ADMINISTRADOR PARA LA EDICIÓN DE USUARIOS .....	39

FIGURA 4-13. MENÚ PRINCIPAL DE LA BASE DE DATOS .....	40
FIGURA 4-14. EJEMPLO DEL FORMULARIO DE REGISTRO DE UN NUEVO REPORTE .....	41
FIGURA 4-15. EJEMPLO DE FORMULARIO DE CONSULTA DE CASOS Y SEGUIMIENTOS ASOCIADOS .....	41
FIGURA 4-16. EJEMPLO DE GRÁFICO DE CANTIDAD DE REPORTES POR AÑO.....	42
FIGURA 4-17. EJEMPLO DE GRÁFICO DE CLASIFICACIÓN DE REPORTES POR AÑO.....	43
FIGURA 4-18. EJEMPLO DE REPORTES SEGÚN CLASIFICACIÓN UNIFORMAT 2010 .....	43
FIGURA 4-19. MODELO DE CALIDAD DE LA CALIDAD INTERNA Y EXTERNA ISO/IEC – 9126 .....	45
FIGURA 4-20. PROMEDIO DE PUNTAJES SEGÚN EL OBJETIVO EVALUADO .....	47

## 1. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Introducción al tema

Para las edificaciones en que generalmente se presentan problemas, fallas o no conformidades, durante y posterior a su construcción, suele concluirse que estos se debieron a errores en el diseño, una metodología constructiva deficiente, materiales defectuosos o mal empleados, o al darse una mala operación. Existe una necesidad de determinar el origen de estos problemas para poder evitarlos en un futuro y así mejorar la calidad de las construcciones. Pero, a pesar de que muchas veces se realiza la investigación pertinente para entender o resolver lo sucedido, generalmente no existe un procedimiento claro que permita determinar las causas de forma más eficiente.

La ingeniería civil forense es una ciencia que, a través de una serie de investigaciones, busca determinar la razón por la cual se da una falla (Velez, 2015). Otra referencia indica que ésta consiste en la aplicación de principios de ingeniería y metodologías para contestar preguntas de los hechos. Estas generalmente se relacionan con accidentes, crímenes, eventos catastróficos, degradación de la propiedad, y otros tipos de fallas. (Noon, 2001) Sin embargo, es importante recalcar que no todas las fallas en su ámbito de estudio son catastróficas, tales como lo son los colapsos de edificios, también pueden incluir instalaciones o partes de éstas que no funcionen tal y como se tenían previsto por su dueño, el diseñador o el constructor. (Comité de Investigación Forense, 2018) Además de contribuir para la resolución de casos, su importancia radica en que, una vez determinadas las causas de la falla, se puede evitar volver a cometerla, y mejorar los resultados de otras obras. (Comité de Investigación Forense, 2018)

En cuanto al rol de un ingeniero forense, éste puede ser tan complejo o tan simple como la falla que investiga. Dependiendo de la magnitud de la investigación, pueden seguirse una serie de pasos que implican etapas de planeamiento, recolección de datos, realizar pruebas, analizar datos, interpretar la información disponible y presentar conclusiones. Para la investigación de fallas menores, este proceso se puede realizar por un solo investigador, inclusive en unas pocas horas. (Comité de Investigación Forense, 2018)

Los investigadores de este tipo de casos deben presentar sus opiniones basados en su conocimiento ingenieril del caso en estudio. Si el tipo de falla no está dentro de su área de conocimiento, el ingeniero forense deberá buscar expertos en el tema y asesorarse para una

correcta evaluación. Según el Comité de Investigación Forense de la Asociación Americana de Ingenieros Civiles (2018), para la investigación de casos complejos, el ingeniero forense es un personaje con una amplia gama de conocimiento y experiencia en el ámbito por investigar. En los Estados Unidos de América inclusive se requieren diversos títulos y licencias ya estandarizadas. Además, debe tener características de personalidad como la objetividad, apertura de mente, respeto a la confidencialidad, honestidad, integridad y facilidad de comunicación. (Comité de Investigación Forense, 2018)

A pesar de su importancia, en Costa Rica actualmente no se cuenta con una metodología formal establecida para este tipo de estudios. En el presente trabajo se realizó un análisis de contenido de diferentes metodologías de investigación de la ingeniería civil forense en otros países, y posteriormente se realizó una propuesta con un diagrama de flujo del procedimiento a seguir para Costa Rica. Adicionalmente, se desarrolló una herramienta en Microsoft Access, que recolecta información según las etapas del diagrama de flujo, para facilitar el seguimiento y control de bases de datos de reportes de fallas constructivas. Esta herramienta permite recopilar información de casos de fallas en las construcciones de una empresa, para posteriormente poder analizar los datos y trabajar en pro de evitar que vuelvan a suceder nuevamente en otras obras. Se validó su uso con datos reales de una empresa anónima que aportó información histórica desde el 2016. El diagrama propuesto, junto con la herramienta desarrollada, sirven para determinar cómo y por qué estas fallas se siguen dando en proyectos.

En el caso de Costa Rica, en donde aún no se ha desarrollado plenamente la ingeniería forense, las investigaciones, al menos, deberían realizarse por profesionales con conocimiento de los temas en estudio. Según el Comité de Investigación Forense de la Asociación Americana de Ingenieros Civiles (2018), quien debe guiar la investigación es una persona con conocimiento del tipo de obra civil a estudiar, incluyendo su diseño, materiales, técnicas de construcción y operación. (Comité de Investigación Forense, 2018) A través de la propuesta en este trabajo, se pretende facilitar el proceso de investigación de los ingenieros asignados con casos de falla en empresas de construcción, y el registro de la información de manera tal que se pueda generar conocimiento de sus propias lecciones aprendidas. Este es el primer paso hacia estandarizar el proceso de investigación e iniciar una base de datos que puede llegar a servir de referencia para otros profesionales y futuros proyectos.

## 1.2. Justificación del tema

Una falla es una diferencia obtenida entre un resultado esperado y lo real, y puede generarse desde la concepción del diseño hasta luego del cierre del proyecto (Velez, 2015). Se debe recordar que, a pesar de que esta no parezca relevante, sus efectos pueden desencadenar una serie de consecuencias significativas. En los proyectos de construcción es común encontrarlas y, con ellas, generar retrabajos y afectaciones en la duración y costo final de la obra. Muchas de estas deficiencias se repiten constantemente en distintos proyectos, por lo cual encontrar la causa del problema resulta valioso.

La ingeniería civil forense investiga fallas y problemas de desempeño en las construcciones generando, a partir de los resultados, medidas preventivas y paliativas para posteriores proyectos. Las herramientas preventivas pretenden reducir el riesgo de falla; mientras que las paliativas buscan reconstruir la secuencia de sucesos que ocasionaron las fallas (Velez, 2015). Su objetivo primordial es lograr establecer cómo y por qué ocurrió un determinado hecho, y eventualmente qué hacer para evitar su repetición.

En el año 1973 el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), creó un código sísmico adaptado a las condiciones específicas de Costa Rica. Este hecho es un claro ejemplo de la importancia de la ingeniería civil forense pues la decisión de su elaboración se toma después del terremoto de Managua en 1972 y del de Tilarán en 1973, con la finalidad de evitar más sucesos debidos a errores detectados en estos eventos. En los años 80, con más terremotos en el territorio nacional, se logran obtener más datos que permitieron la segunda versión del Código que se publicó en 1986. Con el paso del tiempo la Comisión Permanente de Estudio y Revisión del Código Sísmico de Costa Rica (CPCSCR) ha estudiado los efectos de los terremotos en Costa Rica creando actualizaciones y posibilidades de mejora en el diseño estructural adaptado a las condiciones del país. La última versión hasta el momento es el CSCR 2010 (revisión 2014) que incorpora las lecciones aprendidas de fallas en las construcciones pasadas con el fin de poder corregirlas en nuevos proyectos y así mejorar los resultados finales.

### **1.3. Objetivos**

#### 1.3.1. Objetivo general

Elaborar una guía, con base en métodos de investigación de la ingeniería civil forense, que ayude en la resolución de casos de fallas en construcciones y crear una herramienta que contribuya con la recopilación de información de los reportes de las fallas constructivas, sus seguimientos y soluciones, para lograr crear una base de datos de lecciones aprendidas en las empresas constructoras.

#### 1.3.2. Objetivos específicos

1. Identificar procesos, métodos de investigación de causas y tipología de siniestros aplicados en la ingeniería civil forense.
2. Identificar el estado de la ingeniería civil forense en Costa Rica y en otros países.
3. Proponer un diagrama de flujo utilizando las etapas de la metodología forense para identificar la causa de las fallas constructivas con base en la revisión bibliográfica realizada.
4. Crear una herramienta utilizando Microsoft Access 2016 para ingresar información de reportes de fallas y generar una base de datos de una empresa constructora.
5. Validar la herramienta mediante la recopilación de datos e implementación con casos reales de una empresa constructora.

### **1.4. Definición de variable/términos**

Ingeniería civil forense: Es la disciplina que se ocupa de la investigación de fallas y problemas de desempeño dentro del ambiente de la construcción con el fin de reducir el riesgo de fallas en un producto de ingeniería, mejorar su rendimiento y su costo.

Base de datos: Es un conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados sistemáticamente para su posterior uso y análisis.

Microsoft Access: Es un sistema de gestión de bases de datos incluido en el paquete ofimático denominado Microsoft Office que utiliza los conceptos de bases de datos relacionales.

Reporte: Es el registro de una falla reportada durante o después de la construcción del proyecto. Dicho reporte permanece “abierto” mientras el encargado soluciona dicha no conformidad, hasta tener un recibido conforme por parte del cliente o su representante.

Seguimiento: Es la observación detallada de la evolución y desarrollo de un reporte realizado. El propósito es proporcionar un entendimiento del progreso de la falla reportada de forma que se puedan tomar las acciones correctivas apropiadas.

### **1.5. Delimitaciones en alcance**

Para la elaboración del presente trabajo, se establecieron las siguientes delimitaciones:

- La herramienta desarrollada con Microsoft Access para el registro de fallas constructivas y los seguimientos asociados pretende proveer a las empresas constructoras una herramienta de mayor utilidad que Microsoft Excel para el almacenamiento de la base de datos.
- Para validar la herramienta se utilizaron datos que se fueron recopilando en una sola empresa constructora desde el año 2016.
- Para evaluar su funcionamiento adecuado, se implementó la herramienta con la persona encargada de los casos de fallos de construcción en una empresa constructora.
- Se tomaron los datos brindados por la empresa constructora sin realizar levantamientos en campo. Esto sobre todo debido a que la mayoría de los reportes ingresados a la herramienta son de varios años atrás.

### **1.6. Limitaciones**

A continuación, se presentan las limitaciones del presente proyecto.

- En Costa Rica, las instituciones que brindan o poseen información acerca de la ingeniería civil forense y temas asociados son pocas. Al ser un tema tan incipiente en el país, las investigaciones de fallas de índole forense tienden a ser dirigidas por la experiencia y el conocimiento de los profesionales involucrados, y no tanto por una metodología formal. Esto limitó la etapa de búsqueda de información de referencia sobre el tema a nivel nacional y a través de entrevistas a expertos.
- De acuerdo con una investigación preliminar, se determinó que la mayoría de las empresas constructoras contactadas no cuentan con un registro de fallas constructivas durante ni posterior a la finalización de los proyectos. También que, en la mayoría de los casos, no se cuenta con la trazabilidad del procedimiento que se siguió. No contar con esta información limita la investigación ya que no se tiene un punto de comparación ni mejora de la herramienta a desarrollar.

- Los casos considerados en este estudio para la validación del programa corresponden a los de una sola empresa constructora. La evaluación a la herramienta es completada solo por la persona encargada de su posterior implementación en la constructora.

## 2. CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la ingeniería civil forense

Basados en la investigación realizada en este trabajo, se puede observar que en Costa Rica hay pocas instituciones que analizan las fallas que se presentan en edificaciones. Entre las que realizan estudios relacionados a este tema se podrían encontrar: el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) y Tecnológico de Costa Rica. Lamentablemente, no suelen haber resultados compartidos de los diferentes casos para su posterior referencia en futuras construcciones, así como lecciones aprendidas que contribuyan en lograr la mejora continua. Por el contrario, en otros países la metodología desarrollada y utilizada en las evaluaciones de la ingeniería civil forense es una herramienta valiosa que sirve para beneficio de nuevos proyectos y menor cantidad de problemas.

En Estados Unidos de América, en 1982, se fundó la Academia Nacional de Ingenieros Forenses (NAFE por sus siglas en inglés), que certifica y, establece normas éticas y estándares profesionales para sus miembros. (Ordman, 2018). Adicionalmente, el Consejo Técnico de Ingeniería civil forense (TCFE por sus siglas en inglés) de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE por sus siglas en inglés), se creó en 1985 para desarrollar guías para la práctica de la ingeniería civil forense. En el año 2012 se presentó la última versión de estas guías. (Consejo Técnico en Ingeniería Forense, 2012)

Las investigaciones de casos relacionados con la ingeniería civil forense suelen llevarse a cabo para gran cantidad de propósitos. En Estados Unidos es usual la aplicación de esta ciencia, sobre todo, en situaciones que presentan algún tema financiero de por medio. Adicionalmente, según la gravedad, algunos podrían ir a juicio y otros podrían ser resueltos por solicitud de los dueños con el fin de evaluar los problemas de la construcción y buscar cómo reparar los daños para evitar consecuencias mayores.

A pesar de que cada investigación es única, todas siguen el proceso de: recolección de datos en el lugar de los hechos, formar una hipótesis de la falla, y analizar la hipótesis (CRC Press LLC, 2001). En esta referencia se establecen algunas técnicas para una efectiva investigación de la ingeniería civil forense. Se proponen una serie de etapas a seguir para llegar a una última actividad llamada hipótesis de falla, análisis de datos y formación de conclusiones. La experiencia

tiene el papel más importante en la investigación en este caso, pues es la base bajo la cual se logra desarrollar cada etapa de la investigación de la manera más completa.

En Japón, la Agencia de Ciencia y Tecnología (JST por sus siglas en inglés) se dedica al estudio de las fallas de estructuras. Por otro lado, Hatamura (2005) crea un artículo sobre la metodología del estudio de casos de fallas constructivas. Este autor propone el uso de mandalas para la ejemplificación de los distintos elementos de falla que pueden requerir estudio. Entre estas se puede mencionar las siguientes mandalas: causa, acción y resultado. En cada una de ellas desglosa amplias posibilidades según la situación que se pueda estar dando en la estructura. (Hatamura, 2005) Adicionalmente en su trabajo, Hatamura (2005) ejemplifica gran cantidad de casos con su información estudiada, basado en la metodología propuesta por su parte.

Entre los pocos estudios donde se aplicó la metodología de la ingeniería civil forense en Costa Rica se encuentra el proyecto de investigación de Bolaños (2006), quien genera con este método un análisis de cinco casos de problemas geotécnicos. En este trabajo, el autor refleja una lista que propone como metodología de investigación forense general y, posteriormente, evalúa cada caso con los aspectos pertinentes. La metodología de estudio utilizada es la aplicación del Método Científico en donde los daños observados los analiza como los efectos del problema, luego se analizan las causas, y se concluye con los métodos de reparación según cada caso. (Bolaños, 2006)

En el estudio realizado por D.B. Leake (Consejo Técnico en Ingeniería Forense, 2012) se presenta una guía básica para la interpretación de casos. Los pasos sugeridos se relacionan con la evaluación del problema o situación, recuperación de información de eventos del pasado similares al que se está evaluando, comparación con los eventos pasados para clasificar el actual y aprendizaje de cada situación a la que se enfrenta en la investigación para actualizar la base de datos del investigador.

Por otro lado, el artículo de Velez (2015) hace referencia a varios métodos para análisis de fallas, basando la importancia de este tema en la caída de un edificio en Medellín, Colombia. Entre los métodos que describe se encuentra el “Análisis del modo de falla y sus efectos” (FMEA por sus siglas en inglés), “Análisis de la causa raíz” (FTA por sus siglas en inglés), entre otros. (Velez, 2015) En el mismo artículo se describen las principales maneras en que se pueden dividir las causas de falla.

## 2.2. Generalidades de la ingeniería civil forense

La ingeniería civil forense consiste en la aplicación de principios de ingeniería y metodologías con el fin de obtener respuestas a sucesos. Según Noon (2001), estos son asociados usualmente con accidentes, crímenes, eventos catastróficos, deterioro de propiedad, y varios otros tipos de fallas. Luego de un suceso, solo se conoce con certeza el resultado obtenido. En el estudio a realizar por el ingeniero forense, se tendrá que determinar el quién, qué, dónde, cuándo, por qué y cómo. Para lograr esto, se deben tener habilidades altas para poder unir las diferentes piezas en un evento de falla. A la hora de iniciar una investigación, se presentará gran variedad de información que, por sí sola, podría no tener sentido, pero al relacionar los sucesos o hechos descubiertos, se puede lograr ir obteniendo un panorama general de lo que realmente sucedió.

En general, el ingeniero forense tiene entre sus principales labores lo siguiente:

- Evaluar qué había antes del evento y las condiciones en que se encontraba.
- Evaluar qué hay después del evento y las condiciones en que se encuentra.
- Crear variadas hipótesis sobre cómo se relacionan las condiciones anteriores al evento con respecto a las posteriores.
- Buscar evidencia que aporte a alguna de las hipótesis.
- Aplicar la ingeniería con el fin de relacionar los hechos y la evidencia, y así lograr definir la forma en que pudo haber sucedido el evento.

Es importante tener claras las etapas a desarrollar en una investigación forense debido a que, para la realización de estas labores, las afectaciones del factor humano estarán presente en cada uno de los pasos. Teóricamente, el ingeniero debe basar sus conclusiones en hechos y observaciones, sin embargo, los resultados obtenidos del ingeniero forense se ven afectados por su conocimiento, sus experiencias, sus habilidades investigativas, su imaginación y su capacidad de análisis para poder resolver un caso. Esto implica que los resultados que se obtengan podrían ser, en cierta medida, afectados por su subjetividad.

La investigación de un evento tiene como una de sus bases importantes la información que puedan proporcionar los testigos. Los datos que ellos puedan aportar son necesarios pues se logran formar versiones para generar una idea general del suceso. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que los testigos no siempre son imparciales. Podrían ser personas mal intencionadas e indicarían posiciones que llegarían a afectar los resultados de la investigación. Inclusive podrían

ser personas que tan solo buscan la atención del momento. El ingeniero forense también debería ser capaz de discernir estos casos a través del resto de resultados de su investigación.

Por otro lado, los aportes de testigos también deben ser analizados debido a que cada uno de ellos puede crear su propia creencia de lo sucedido con respecto a su ubicación y su percepción de los hechos. Asimismo, sus experiencias de vida, su estado físico, aspectos sociales y culturales, también son formas en que se pueden formar falsas impresiones de un evento. Además, si hubiera testigos, éstos deberían ser cuestionados lo más pronto posible para que no se puedan influenciar por conversaciones posteriores ni por el paso del tiempo. Finalmente, la forma de realizar las preguntas debe ser sin sugestionar la respuesta. Lo que narre el testigo, así como la capacidad del entrevistador de saber qué preguntas realizar y posteriormente poder analizar la información obtenida, son factores humanos que pueden modificar los resultados de una investigación forense.

### **2.3. Estándares utilizados en ingeniería civil forense**

La importancia de seguir la guía de una metodología para un estudio de ingeniería civil forense radica en la posibilidad de un resultado más completo. En la actualidad existe gran variedad de metodologías, inclusive las propias de cada ingeniero forense, sin embargo, la eficacia de los estudios se obtiene conforme se estandarizan los procesos con la finalidad de evitar en la mayor medida los posibles errores por omisiones.

Para el estudio de un caso, hay diversas metodologías que podrían ser utilizadas. Según Noon (2001), hay dos principales en las que se enfoca la ingeniería civil forense: el análisis de la falla, y el análisis de la causa raíz. El análisis de la falla se enfoca en determinar el cómo falla alguna parte o componente de un elemento. Estudia principalmente la selección de materiales, el diseño, el uso de productos, métodos de la producción y el mecanismo de falla de la parte específica. Por otro lado, el análisis de la causa raíz, estudia con mayor detalle la falla del sistema completo en lugar de las partes específicas. Esta metodología suele ser más útil a la hora de estudiar sistemas de grandes dimensiones como los proyectos de construcción. Dependiendo del caso y de la utilidad del estudio, el ingeniero forense tiende a inclinarse más por uno u otro método.

Otra metodología que sugiere Noon (2001) es la aplicación del método científico. Este método se basa en la recolección de evidencia a través de observaciones detalladas y hechos disponibles, con el fin de generar las hipótesis que explican la evidencia obtenida. Luego de presentar la

hipótesis preliminar, se procede a la realización de experimentos y observaciones adicionales que la logren probar.

A continuación, se muestra mayor detalle de cada una de las metodologías mencionadas anteriormente.

### 2.3.1. Modo de falla y análisis de efectos

El análisis del modo de fallas y los efectos (AMFYE, en inglés FMEA, *Failure Mode and Effects Analysis*) fue iniciado en la década de 1940 por el ejército de los Estados Unidos y desarrollado por las industrias aeroespacial y automotriz (Tague, 2004). Es un método sistemático que busca identificar dónde y cómo podría fallar un proceso con el fin de valorar su impacto relativo e identificar las partes que necesitan un cambio (Evans & Lindsay, 2008). Este enfoque es similar a una investigación de causa y origen, pero con énfasis en evaluar la serie de posibles razones por las cuales no se identificó la causa más probable.

El modo de falla se refiere a las formas o modos en que algo puede fallar en el desempeño de sus funciones. Estas fallas son errores que afectan al cliente, de forma potencial o real. Se priorizan según la gravedad de sus consecuencias, la frecuencia con la que ocurren y la facilidad con que se pueden detectar. Por otro lado, el análisis de efectos se enfoca en estudiar las consecuencias de los fracasos. Los fallos se priorizan según su frecuencia y seriedad. El propósito final de la AMFYE es tomar medidas para eliminar o reducir las fallas, comenzando con las de mayor prioridad. Para lograr esto, se documenta el conocimiento actual y las acciones sobre los riesgos de las fallas, para su uso en la mejora continua del proceso (Tague, 2004).

Según Evans y Lindsay (2008), por lo general, un AMFYE consiste en especificar la siguiente información para cada elemento a analizar:

- Modos de fallas: Esta información requiere investigar y conocer el proceso, se puede iniciar con las fallas conocidas que han ocurrido en el pasado.
- Causas potenciales de la falla: La identificación de las causas requiere el análisis riguroso. Cabe destacar que las deficiencias en el diseño pueden dar lugar a errores, por lo cual se refuerza el concepto de la revisión completa del proceso.
- Efecto de la falla: Puede ser daños potenciales, algún aspecto de seguridad, requisitos de reparación, etc. Algunas fuentes adecuadas de esta información son los registros de mantenimiento, reportes de los clientes e informes de garantías.

- Severidad y frecuencia/probabilidad: La severidad se puede medir en una escala y la frecuencia de la ocurrencia se puede determinar con base en el historial del servicio. Por medio de una matriz de puntuación de peligro (ver ejemplo en la Figura 2-1, se determina un puntaje a cada modo de falla analizado según la severidad y probabilidad asignada y con esto se asigna una prioridad de riesgo para identificar las prioritarias.

	Severidad				
Probabilidad	Grave (5)	Mayor (4)	Moderado (3)	Menor (2)	Mínimo (1)
Frecuente (5)	25	20	15	10	5
Probable (4)	20	16	12	8	4
Posible (3)	15	12	9	6	3
Improbable (2)	10	8	6	4	2
Raro (1)	5	4	3	2	1

Figura 2-1. Ejemplo de matriz de puntuación de peligro (5x5)

Fuente: Acón y Araya, 2019

- Acciones correctivas o controles: Se debe identificar correcciones como parte final del análisis. Por ejemplo, algunas correcciones que se pueden incluir son los cambios en el diseño, uso de diferentes materiales, asignación de responsabilidades de los directivos, realizar procesos a prueba de errores y establecer fechas de terminación meta.

De considerarse necesario, al final se puede realizar nuevamente el análisis de severidad y probabilidad del modo de falla con el fin de evaluar la peligrosidad o factor de riesgo remanente luego de la acción correctiva.

En la Figura 2-2 se muestra la hoja de trabajo utilizada en el método de análisis del modo de fallas y los efectos. Cabe destacar que la investigación se realiza para conocer otras condiciones y eventos similares que pueden influir en la determinación de la causa del fallo, de aquí la importancia de llevar el análisis desde el inicio del proceso y la retroalimentación final. Lograr registrar toda la información posible de casos resueltos y sus procesos de investigación, generan una base de datos valiosa para la empresa que pretenda aprender y evitar sus propios errores a futuro.

Proceso y subproceso	Modos de falla potenciales	Causas potenciales	Efectos potenciales	Severidad	Probabilidad	Peligrosidad	Correcciones recomendadas	Responsabilidad
1. Proceso								
1.1. Sub-proceso								
1.2. Sub-proceso								
2. Proceso								
2.1. Sub-proceso								
2.2. Sub-proceso								

Figura 2-2. Hoja de trabajo del método de análisis del modo de fallas y los efectos

Fuente: Acón y Araya, 2019

### 2.3.2. Análisis de la causa raíz

El análisis de causa raíz (*fault tree análisis, FTA* por sus siglas en inglés) es uno de los métodos de investigación probabilística que se utiliza por primera vez en los Laboratorios Bell para un trabajo en conjunto con el ejército de los Estados Unidos en el año 1962. (Kritzinger, 2017) Este método sirve para evaluar el riesgo y determinar las causas de un problema e identificar las de mayor importancia. Se basa en la representación gráfica de los hechos con respecto a las causas o condiciones que eventualmente tienen como resultado la falla. Según Ericson (1999), esta metodología presenta dos opciones, una cualitativa y otra cuantitativa. El estudio cualitativo toma en cuenta la relación gráfica de causas y efectos del evento. Por otro lado, en el estudio cuantitativo, además de la representación gráfica, también se presentan las probabilidades de ocurrencia en cada caso para evaluar la causa más probable.

En la Figura 2-3 se muestra un ejemplo de los símbolos que pueden usarse en la representación gráfica de una investigación realizada con el método FTA. Esta simbología es útil para casos con información extensa que debe ser claramente identificada para una mejor comprensión. Para su creación se empieza con un análisis de arriba hacia abajo, donde arriba se coloca el evento sucedido y se va bajando con las posibles formas en que pudo haber sucedido.

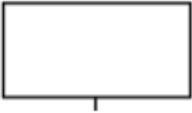


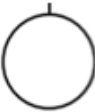
Símbolo	Significado/Uso
	Simboliza el evento principal, es el hecho que se busca resolver. También puede usarse para eventos intermedios anteriores que propiciaron el principal.
	"O", es la simbología para ligar hechos indicando que alguna de las opciones asociadas con este símbolo ha de haber sucedido.
	"Y", se utiliza a la hora que todas las opciones en conjunto son las causantes de un evento.
	Identifica eventos básicos que son el punto inicial de las fallas

Figura 2-3. Simbología del método de causa raíz

Fuente: Clemens, 1993

Modificado por: Acón y Araya, 2019

A continuación, en la Figura 2-4, se muestra un ejemplo sencillo de un diagrama para el análisis de causa raíz

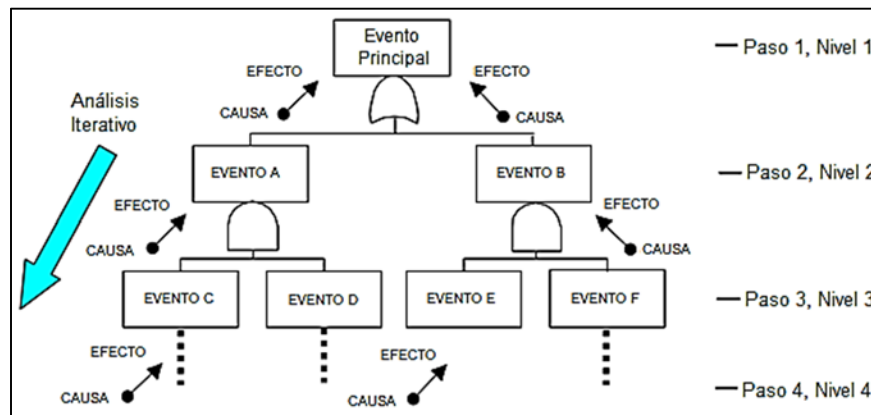


Figura 2-4. Ejemplo de diagrama para el análisis de causa raíz

Fuente: Ericson, 1999

Modificado por: Acón y Araya, 2019

Se observa cómo, en esta metodología, se representa de forma visual la relación entre las causas y los efectos que dieron como consecuencia el evento principal en el estudio. En este tipo de representación es fácil entender la influencia de los diferentes factores que se relacionan con la

falla y entre ellos mismos. Con esta visualización de un caso, se facilita en mayor medida la solución al problema que se enfrenta.

### 2.3.3. Método científico

El método científico es el más común aplicado en investigaciones y se basa en realizar variadas pruebas con diferentes escenarios con el fin de obtener datos experimentales para su análisis y la debida revisión estadística de un caso. A partir de los resultados, se generan las bases para el desarrollo de las conclusiones. A pesar de la importancia de las reiteraciones en la aplicación de este método, en los estudios de la ingeniería civil forense esto no es tan factible de realizar. Volver a crear un evento con el fin de estudiar sus causas no es una opción realista por las dimensiones de los hechos, costos y seguridad que generalmente conlleva su simulación.

En la ingeniería civil forense, según Noon (2001), el método científico es aplicable bajo la premisa que se puede obtener gran cantidad de evidencia observacional y hechos del suceso, que sustituyen los datos experimentales. En este caso, se tiene que la hipótesis podría ser correcta si se le logra encontrar la relación entre las observaciones y los hechos estudiados. Para generar la reconstrucción de un evento a través de la aplicación del método científico en la ingeniería civil forense se pasa por tres pasos principales: crear una hipótesis, afinar la hipótesis con base en la información que se recolecte a través de las observaciones y probar la hipótesis.

Para la aplicación de este método en una investigación de la ingeniería civil forense, se debe organizar el evento en un gráfico en forma de pirámide. Según Benítez (2012) el análisis se ordena colocando en la base de la pirámide los hechos y evidencias físicas verificables. Posteriormente, se realiza el análisis de estos hechos y, en la cúspide de la pirámide, se termina el análisis con las conclusiones de la investigación. En la Figura 2-5, se muestra la representación gráfica:



Figura 2-5. Representación gráfica del método científico

Fuente: Benítez, 2012

A continuación, se muestra una descripción de las etapas sugeridas por Benítez (2012) para el método científico en la ingeniería civil forense:

- Observar: mediante este paso se deben determinar las evidencias, datos e información que, organizados de la forma correcta, pueden proveer la base para el resto del análisis. Antes de buscar solucionar cada caso, es de suma importancia visitar el sitio para evaluar el problema con el cual se está enfrentando. De esta forma se puede delimitar la información con base en la experiencia del evaluador y recolectar las evidencias necesarias para la posible evaluación de la condición con que se enfrenta.
- Formular el problema: se procede a la revisión de lo sucedido y se formulan las preguntas complementarias para la definición de un problema.
- Formular una hipótesis: se definen las posibles opciones a estudiar. Cuando se logre fundamentar una o varias de las hipótesis, se puede obtener una resolución del problema. En esta etapa se debe conseguir la opinión de expertos en el tema que se esté evaluando para una mejor comprensión de los hechos.
- Fundamentar la hipótesis: se aportan las evidencias para probar la hipótesis planteada según los estudios realizados.
- Formular leyes y teorías relacionadas: esta etapa es la equivalente a la conclusión de un análisis, cuando se logra probar la hipótesis y se establece una teoría con fundamento. Este paso da la posibilidad de dejar un registro de las lecciones aprendidas para una empresa constructora.

## 2.4. Comparación de las metodologías de la ingeniería civil forense

El método científico provee una estructuración para la investigación que otorga la posibilidad de una visión integral de un caso, facilitando así su análisis. Esta guía permite un desarrollo que va desde la observación de los hechos, pasa a través de una o varias hipótesis, y culmina en la elaboración del análisis y las conclusiones correspondientes. Sin embargo, el método científico por sí solo no elabora a profundidad en las formas de estudiar las causas y sus efectos.

La importancia de representar gráficamente la relación entre las causas y los efectos se genera cuando se llega a requerir ordenar los datos con el fin de observar más claramente la relación que existe entre ellos. El FTA es un método que da esta opción, y así permite determinar la relevancia y relación de cada efecto en estudio. Además, dependiendo del caso evaluado, se podrían asignar valores probabilísticos. Por ejemplo, en un estudio en el que se tengan una serie de posibilidades de falla, y no sea evidente determinar cuál o cuáles son las de mayor peso, el FTA permite realizar el estudio de la probabilidad por evento. En algún caso con consecuencias graves, sería de gran aporte este tipo de estudio para categorizar por peso a cuáles causas darle mayor o menor importancia en un futuro y así también evitarlas.

Por otro lado, se presenta la desventaja que, para la aplicación del FTA, debido a la gran cantidad de información que se puede generar en una investigación de la ingeniería civil forense, podría volverse engorroso. Para ello, lo ideal es contar con algún programa que permita el ingreso de los datos y genere el diseño gráfico asociado.

La metodología FMEA tiene un cierto enfoque al aspecto de revisión de calidad, sin embargo, incluye una etapa importante de documentación de acciones correctivas que podrían ser utilizadas para dejar registros necesarios para prevenir que en un futuro vuelva a suceder. El FMEA presenta una hoja de trabajo en la cual se puede analizar el modo de falla, los efectos y su importancia. Con base en los resultados del análisis forense, y la categorización que permite el FMEA, se puede generar información valiosa para proyectos en proceso o aún no iniciados, y que tienen la posibilidad de prevenir fallas ya solucionadas anteriormente, siempre y cuando la información esté disponible.

En la Figura 2-6 se muestra un resumen comparativo de las características principales de los tres métodos que se presentaron anteriormente. Según el caso que se busca solucionar, se puede

utilizar uno o varios de los métodos, tomando en cuenta las dimensiones del suceso y la información con la que se cuenta para la evaluación.

	<b>Modo de falla y análisis de efecto (FMEA)</b>	<b>Análisis de la causa raíz (FTA)</b>	<b>Método científico</b>
<b>Enfoque del estudio</b>	Partes del sistema	Sistema completo	Sistema completo
<b>Forma de representación</b>	Tabla	Gráfico (árbol)	No gráfico
<b>Tipo de evaluación</b>	Estudio del impacto de las fallas	Análisis iterativo causa - efecto	Hipótesis preliminar de causa
<b>Resultado</b>	Gravedad y frecuencia de fallas	Causa raíz, ruta crítica y riesgo asociado	Probar hipótesis de causas de la falla

Figura 2-6. Comparación de metodologías de ingeniería forense

Fuente: Acón y Araya, 2019

## 2.5. Generalidades de las bases de datos

La necesidad de gestionar cada vez mayor cantidad de información marcó el inicio de los sistemas de bases de datos. Para una empresa constructora con cientos de casos al año por solucionar, se vuelve un requisito poder manejar la información que se genere de éstos en un solo lugar y de manera ordenada. Si no se sigue este concepto, las lecciones aprendidas se pierden con el tiempo y no se puede aprovechar el conocimiento que se genera y que sería tan valioso en posteriores construcciones.

Esencialmente, una base de datos permite:

- Almacenar la información
- Asegurar coherencia y seguridad de los datos
- Consultar contenido almacenado
- Actualizar (modificar o borrar) la información previamente almacenada
- Analizar tendencias o relación entre los datos

Según Microsoft (2019), una base de datos computarizada es un contenedor de objetos. Una base de datos puede contener más de una tabla según sea el requerimiento. Una base de datos se basa en modelos, es decir, representaciones lógicas por algoritmos y conceptos matemáticos

que permiten implementar un sistema para procesar datos. Por lo tanto, para la construcción de una base de datos se requiere un lenguaje de programación. Debido a esto, uno de los lenguajes más utilizados es el de consulta estructurado o SQL (*Structured Query Language*), implementado y estandarizado por los principales motores de gestión de base de datos relacionales. Posteriormente a realizar el diseño del modelo, se utiliza un SGBDR (Sistema de Gestión de Bases de Datos Relacionales) el cual es un software que permite organizar y analizar los datos almacenados en tablas como lo es Microsoft Access.

Se pueden asignar distintas categorías según el tipo de información que almacena la base de datos, entre las más usuales están:

- Bases de datos jerárquicas: se almacena la información en una estructura jerárquica, representando los datos en forma de árbol. Es útil para cantidades pequeñas de información, pero no puede representar la redundancia de datos.
- Base de datos en red: los datos son almacenados como colecciones de registro y se usan conjuntos para representar la relación que existe entre datos. Debido a su dificultad, este modelo es usado por programadores y no tanto por usuarios finales.
- Bases de datos documentales: se realizan distintas actividades sobre el texto, especialmente para la búsqueda de texto dentro de un documento.
- Base de datos relacional: se utiliza para modelar problemas reales y administrar datos dinámicamente. Los datos se representan por medio de tablas, las cuales se componen de registros y campos.

Debido a sus características, en este trabajo final se seleccionó la creación de la base de datos según el concepto de “base de datos relacionales”. A continuación, se presenta una descripción más detallada al respecto.

#### 2.5.1. Bases de datos relacionales

Los sistemas de administración de bases de datos han evolucionado hacia Sistemas de Administración de Base de Datos Relacionales (RDBMS por sus siglas en inglés), los cuales presentan ventajas en la forma en la que almacenan y recuperan información. Además, son fáciles de comprender y construir pues son lógicamente representados utilizando Diagramas Entidad-Relación. A continuación, se enumeran algunas de las características principales de las bases de datos relacionales. (Unam, s.f.)

- Tabla: es un objeto que almacena datos en forma de filas y columnas. Las columnas guardan una parte de la información sobre cada elemento que se quiere guardar en la tabla, cada fila de la tabla conforma un registro.
- Flexibilidad: la base de datos ofrece fácilmente distintas vistas en función de los usuarios y su posible forma de aplicación.
- Independencia física y lógica: permite modificar el esquema físico y conceptual sin tener que modificar los programas de la aplicación.
- Facilidad de uso: los usuarios tendrán fácil acceso a los datos. El sistema de administración de la base permite que las complejidades internas sean ajenas al usuario.
- Redundancia controlada: los datos serán almacenados una sola vez excepto cuando existan razones técnicas o económicas que aconsejen el almacenamiento redundante.
- Reglas de integridad: administran los tipos de acciones permitidas en los datos y la estructura de la base de datos para proteger la información y estructura interna.
- Identificador único: no pueden existir dos tablas con el mismo nombre, así como no pueden existir dos columnas con el mismo nombre en una misma tabla y los valores almacenados en una columna deben ser del mismo tipo de dato.
- Clave única: cada tabla puede tener uno o más campos cuyos valores identifican de forma única cada registro de dicha tabla, por lo tanto, no pueden existir dos o más registros diferentes cuyos valores en dichos campos sean idénticos.
- Normalización: las bases de datos relacionales pasan por un proceso al que se le conoce como normalización, el resultado de dicho proceso es un esquema que permite que la base de datos sea usada de manera óptima.

Por otro lado, existe otro concepto importante que es el modelo. Un modelo es una representación de un sistema que pretende simplificar su comprensión poniendo en evidencia ciertos aspectos del sistema mientras otros son ocultados. Una base de datos se basa en tres modelos, los cuales se desarrollan en distintas etapas de su diseño (Unam, s.f.):

- Modelo conceptual
- Modelo lógico
- Modelo físico

### 2.5.2. Diseño del modelo conceptual

Se definen las tablas principales y las relaciones correspondientes de forma esquemática. El modelo conceptual describe el contenido subyacente al modelo lógico, es decir, el significado de las informaciones y las relaciones que las unen. En cada tabla se indican sus atributos correspondientes y su clave única. Este modelo hace abstracción de las manipulaciones de la información por lo cual se debe establecer las relaciones entre las tablas creadas para lograr este objetivo.

### 2.5.3. Diseño modelo lógico

El modelo lógico representa la definición de la información sobre el SGBD elegido para el desarrollo de la base de datos. En esta se describen las informaciones y las manipulaciones que serán realizadas. En esta fase de diseño se crea un modelo lógico denominado como Entidad-Relación (ER). Un modelo ER es visual y muestra la estructura, características e interacción entre los datos que están siendo modelados. Este modelo contiene las entidades y atributos, al igual que las relaciones e identificadores únicos establecidos anteriormente.

Según el Departamento de Lenguajes y Computación (2011) de la Universidad de Almería, dos tablas pueden relacionarse de cualquiera de las siguientes maneras.

- Relación uno a uno: cada registro de la tabla A puede estar relacionado con un registro de la tabla B y cada registro de la tabla B puede estar relacionado con un registro de la tabla A, ver Figura 2-7 .

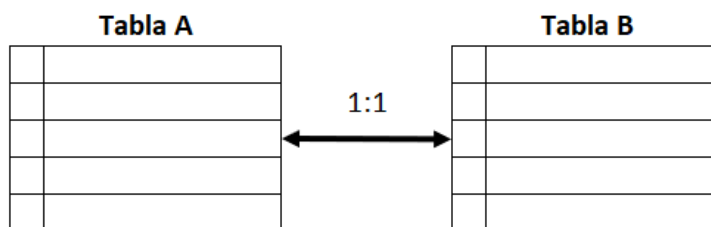


Figura 2-7. Relación uno a uno

Fuente: Acón y Araya, 2019

- Relación uno a muchos: cada registro de la tabla A puede estar relacionado con varios registros de la tabla B y cada registro de la tabla B puede estar relacionado con un registro de la tabla A, ver Figura 2-8.

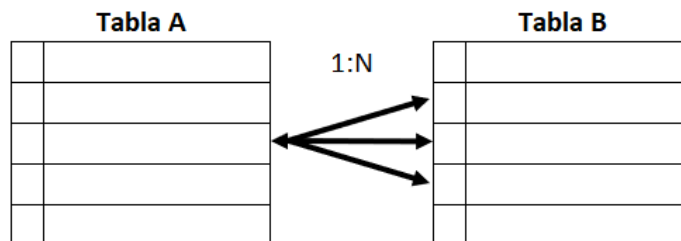


Figura 2-8. Relación uno a muchos

Fuente: Acón y Araya, 2019

- Relación muchos a muchos: cada registro de la tabla A puede estar relacionado con varios registros de la tabla B y cada registro de la tabla B puede estar relacionado con varios registros de la tabla B, ver Figura 2-9.

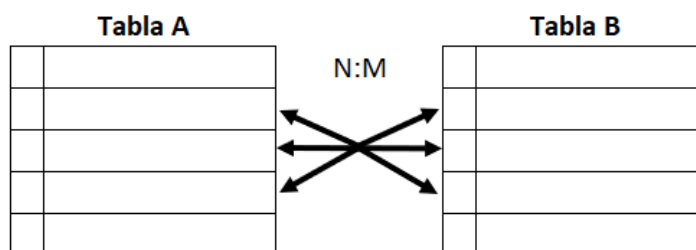


Figura 2-9. Relación muchos a muchos

Fuente: Acón y Araya, 2019

Finalmente se realiza la normalización, un proceso que clasifica relaciones, objetos, formas de relación y demás elementos en grupos según las características que cada uno posee. Cuando se han establecido las relaciones entre entidades, se debe realizar la normalización del diseño, esto es, eliminar la información redundante de las entidades para ahorrar espacio de almacenamiento en la base de datos.

#### 2.5.4. Diseño modelo físico

Se crea un modelo físico utilizando el modelo lógico para crear una base de datos y los objetos que describe el sistema: circulación y tratamiento de la información, elementos informáticos y elementos manuales (Departamento de Lenguajes y Computación, 2011). El modelo físico representa la organización de la información sobre los soportes de almacenamiento, en donde se crea el lenguaje de consulta estructurada de la base de datos para administrar y recuperar información de los sistemas de gestión de bases de datos relacionales. De esta forma se termina de plasmar todo el diseño en el motor de bases de datos elegido.

## 2.6. Microsoft Access: gestor de bases de datos

Los sistemas de gestión de bases de datos se encargan de manejar de manera clara, sencilla y ordenada un conjunto de datos que posteriormente se convertirán en información relevante para una organización. Algunos ejemplos de gestores de bases de datos que se pueden nombrar son: MySQL, PostgreSQL, Microsoft SQL Server, Open Access, etc. (Herrera, 2015)

Microsoft Access es un sistema gestor de base de datos que pertenece a Microsoft Office y cumple con todas las características principales de los gestores de bases de datos: independencia, redundancia mínima, consistencia, seguridad, integridad y control de la concurrencia. El programa permite crear ficheros de bases de datos relacionales que pueden ser fácilmente gestionadas por una interfaz gráfica simple y permite que la BD sea consultada por otros programas. El programa también permite agregar funciones adicionales en la base de datos mediante el uso de macros de Access o código de Visual Basic para Aplicaciones (VBA). (Herrera, 2015)

Según Microsoft (2019), las bases de datos creadas en el formato Access 2007 (que también usan Access 2016, Access 2013 y Access 2010) tienen la extensión de archivo .accdb y las bases de datos creadas en formatos anteriores de Access tienen la extensión de archivo .mdb. Puede usar Access 2016, Access 2013, Access 2010 o Access 2007 para crear archivos en formatos de archivo anteriores (por ejemplo, Access 2000 y Access 2002-2003). Al vincular, algunos formatos estarán disponibles como solo lectura. En la Figura 2-10 se muestran los orígenes externos desde los que puede importar o vincular datos.

	Importar	Vínculo
Microsoft Excel	Sí	Sí (solo de lectura)
Microsoft Access	Sí	Sí
Bases de datos ODBC, como SQL Server	Sí	Sí
Archivos de valores separados por comas (CSV)	Sí	Sí (solo agregar registros nuevos)
Lista de SharePoint	Sí	Sí
XML	Sí	
Data Services		Sí (solo de lectura)
Documento HTML	Sí	Sí
Carpeta de Outlook	Sí	Sí

Figura 2-10. Orígenes desde donde se puede importar o vincular datos a Microsoft Access  
Fuente: Microsoft, 2019.

Microsoft Access se compone de seis elementos principales: tablas, consultas, formularios, informes, macros y módulos. A continuación, se realizan descripciones breves de las partes de una base de datos típica de Access.

#### a) Tablas

Una tabla de base de datos en Access es similar en apariencia a una hoja de cálculo de Excel, ya que los datos se almacenan en filas y columnas. Cada fila de una tabla se denomina registro, en los cuales se almacena información y puede estar formado por uno o varios campos. Los campos equivalen a las columnas de la tabla y deben designarse como un determinado tipo de datos, ya sea texto, fecha u hora, número u otros. Debido a la estructura de una tabla, es sencillo importar una hoja de cálculo en una tabla de base de datos. La principal diferencia entre almacenar los datos en una hoja de cálculo y almacenarlos en una base de datos es la forma en la que están organizados los datos y la facilidad en su manejo. (Microsoft, 2019)

Cada registro debe ser único en la tabla, es decir, debe existir uno o varios campos cuyo valor nunca puede repetirse a través de todos los registros de la tabla. La definición de las tablas es el eje sobre el cuál giran los demás elementos de Microsoft Access 2000. Puede decirse que las tablas constituyen los datos en sí y los demás elementos son los programas que los manipulan. (Herrera, 2015)

#### b) Consultas

Hay dos tipos de consultas: consultas de selección y consultas de acciones. Una consulta de selección simplemente recupera los datos y los pone a disposición para su uso, ya sea datos de una tabla o de varias tablas que se relacionan entre ellas (Microsoft, 2019). Una consulta de acción realiza una tarea con los datos, puede ser crear tablas nuevas, agregar datos a las tablas existentes, o actualizar o eliminar datos.

En las consultas se pueden aplicar criterios para filtrar los datos de las tablas y recuperar sólo los que cumplan con el criterio, además, se pueden crear columnas nuevas que hagan alguna operación algebraica o de conteo si así lo requiere el usuario. Las consultas, junto con las tablas, constituyen la base para la creación de otros objetos de la base de datos. (Herrera, 2015)

#### c) Formularios

Un formulario es la interfaz de usuario en la que se pueden ingresar y modificar datos. El diseño correcto de un formulario facilita a los usuarios la interacción con el sistema de base de datos. Se pueden programar botones de comandos para determinar qué datos aparecen en el formulario, abrir otros formularios o informes, o ejecutar otras tareas. Los formularios también le permiten controlar de qué manera otros usuarios interactúan con los datos de la base de datos. (Microsoft, 2019)

En los formularios también es posible crear o llamar a módulos que permiten hacer uso de funciones más sofisticadas. También se pueden desplegar mensajes de error personalizados, e incluso, hacer llamadas a otros elementos del propio Access 2000, como informes u otros formularios. (Herrera, 2015)

#### d) Informes

Los informes se usan para dar formato a los datos, resumirlos y presentarlos. Un informe puede recuperar la información de tablas, consultas o incluso de formularios. En un informe se pueden mostrar totales y realizar operaciones matemáticas con los datos de los campos y registros que contenga el informe. En los informes también se manejan los controles, de forma similar a los formularios; con lo cual aumentan su potencialidad. Generalmente, se les da formato a los informes para imprimirlos, pero también pueden verse en pantalla, exportarse a otro programa o enviarse como datos adjuntos en un correo electrónico. (Microsoft, 2019)

#### e) Macros

Según Microsoft (2019), las macros en Access pueden considerarse un lenguaje de programación simplificado que puede usar para agregar funciones a la base de datos. Las macros contienen lista de acciones que ejecutan tareas, como abrir un informe, ejecutar una consulta o cerrar la base de datos. Esta opción es ideal para usuarios con poco o ningún conocimiento de lenguaje de programación. Las macros y los módulos se utilizan para la creación de funciones específicas y la personalización de un sistema.

#### f) Módulos

Los módulos son objetos que se pueden usar para agregar funciones a la base de datos. A diferencia de los macros, los módulos se escriben en el lenguaje de programación Visual Basic para Aplicaciones (VBA). Esta función es para un usuario que ha alcanzado cierto dominio en el manejo de una base de datos y desea crear funciones de mayor complejidad.

### **3. CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA**

En este capítulo se presenta la metodología utilizada para el desarrollo del diagrama del procedimiento para realizar una investigación forense y la creación de una herramienta para la gestión de una base de datos de fallas en una empresa constructora. Se explica el tipo de investigación, las fuentes y sujetos consultados, las técnicas de investigación utilizadas, así como el procedimiento y análisis realizado.

#### **3.1. Tipo de investigación**

El tipo investigación realizada en este trabajo se denomina “investigación aplicada” ya que se encuentra estrechamente vinculada con la investigación básica realizada en el marco teórico y se buscó la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos. Se elaboró una propuesta del procedimiento a seguir para una investigación forense con base en las técnicas utilizadas internacionalmente. Posteriormente, se construyó una herramienta con el objetivo de facilitar la captura de reportes de fallas en los proyectos de construcción y su solución; ésta fue validada con la creación de una base de datos utilizando reportes reales de una empresa de construcción.

#### **3.2. Participantes y selección**

Durante la investigación inicial de la ingeniería civil forense a nivel nacional, se identificaron distintos actores relacionados a fallas constructivas. Estos pertenecen a las siguientes organizaciones: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), el Colegio de Ingenieros Civiles (CIC), el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), y el Tecnológico de Costa Rica (TEC). Para el diagrama desarrollado en este trabajo, se realizó una entrevista al Ing. Hugo Navarro, exdirector Escuela de Ingeniería en Construcción del TEC, uno de los profesionales a nivel nacional que ha investigado y conoce sobre la metodología de investigación utilizada en la ingeniería civil forense.

En la etapa del desarrollo de la base de datos creada siguiendo el procedimiento de investigación de la ingeniería forense, se trabajó en conjunto con una empresa constructora con más de treinta y cinco años en el mercado de la construcción de edificaciones en Costa Rica. Esta empresa fue seleccionada para participar en el desarrollo e implementación de la herramienta por cuatro razones que sobresalen. Primero, expresó el interés en desarrollar una base de datos formal para el registro de reportes y seguimientos de falla. Segundo, desde el año 2016 ya esta empresa

había iniciado un registro sencillo de reportes de no conformidades presentadas en sus proyectos finalizados, brindando la posibilidad de utilizar datos reales. Tercero, la herramienta que utilizaban anteriormente con los datos recopilados desde el 2016 se volvió complicada de manipular con tanta información registrada, y presentaba bajas posibilidades de aprovechamiento de las posibles lecciones aprendidas. Y cuarto, la empresa con la que se coordinó este trabajo de investigación, es una empresa con un volumen de trabajo importante por lo que permite acceso a gran cantidad de información que sirve para validar el programa de una forma más completa.

### **3.3. Instrumentos y metodologías**

En Costa Rica, la investigación de fallas constructivas recae en la experiencia y conocimiento del profesional a cargo. Al no existir una institución encargada de formalizar y normalizar el trabajo de investigación realizado, la información final es presentada según lo decida el ente que lo desarrolla. A pesar de no contar con una metodología formal, se utilizan herramientas y un procedimiento básico similar al utilizado por la ingeniería civil forense: recolección de datos en el lugar de los hechos, formar una hipótesis de la falla, y analizar los datos y formar una conclusión.

En la ingeniería forense, la experiencia tiene el papel más importante en la investigación pues es la base bajo la cual se logra desarrollar cada etapa de la investigación de la manera más completa. La forma en que se puede almacenar esa experiencia de la investigación y fomentar el conocimiento, es con la creación de bases de datos que permitan almacenar las fallas y el procedimiento seguido para llegar a su solución.

### **3.4. Procedimientos**

#### **3.4.1. Confección del diagrama de flujo para determinar la causa de las no conformidades**

Se realizó una revisión de las metodologías de ingeniería civil forense utilizadas a nivel internacional. Se analizó la aplicación de la metodología de la ingeniería civil forense en Costa Rica utilizando como base las tres metodologías investigadas (FTA, FMEA y método científico). Con esto, se elaboró un diagrama de flujo que indica el procedimiento recomendado para determinar la causa de las no conformidades.

### 3.4.2. Creación de una base de datos para el reporte de fallas constructivas y seguimientos

Con el fin de que la base de datos relacional que se deseaba desarrollar cumpliera los objetivos establecidos, se siguió el siguiente proceso para su desarrollo:

#### 3.4.2.1. Diseño conceptual del modelo inicial y su relación

En esta etapa se plasmaron las tablas principales y las relaciones correspondientes. A cada tabla se le colocaron sus atributos (columnas) y se resaltó el principal, es decir, el que identificará cada registro de manera única. Por último, se establecieron las relaciones que existen entre dichas tablas.

#### 3.4.2.2. Diseño lógico del modelo relacional

Se procedió a tabular el diseño conceptual. Se revisaron las tablas para evitar duplicidad de información y para ahorrar espacio de almacenamiento en la base de datos. Para este proceso, la herramienta de modelado seleccionada ayudó a ver las relaciones de las tablas.

#### 3.4.2.3. Diseño físico con lenguaje SQL y base de datos final

En esta última fase se revisaron en detalle los tipos de datos que se iban a utilizar y qué valores se permitirían. De esta forma se creó el lenguaje de consulta estructurada de la base de datos, también conocido como SQL (por sus siglas en inglés *Structured Query Language*), un lenguaje diseñado en programación para administrar y recuperar información de los sistemas de gestión de bases de datos relacionales. De esta forma se termina de plasmar todo el diseño en el motor de bases de datos elegido.

### 3.4.3. Desarrollo de interfaz gráfica de usuario para base de datos

El motor de bases de datos utilizado para la creación de la base de datos y el desarrollo de la interfaz gráfica del usuario (GUI) fue Microsoft Access, en la cual se utilizaron formularios, con referencias a tablas y consultas desarrolladas en el programa.

## **3.5. Análisis de herramienta e interfaz**

Se realizaron las siguientes etapas para evaluar, corregir y finalizar la base de datos y la interfaz desarrollada.

### 3.5.1. Ingreso de datos de reportes y seguimientos existentes

Para el desarrollo de la GUI se trabajó en conjunto con una empresa constructora. Para verificar el funcionamiento de la base de datos y la interfaz desarrollada, se cargaron reportes de fallas y seguimientos posventa desde el 2016. Los seguimientos correspondientes al último mes se ingresaron de forma manual para emular el procedimiento a realizar por el usuario. De esta forma, se evalúan y mejoran elementos de calidad de la interfaz, como la rapidez y facilidad de ingreso de datos, así como la edición de estos.

### 3.5.2. Implementación de la herramienta en una empresa constructora

Luego de completar la base de datos con los registros previos de la empresa constructora, se elaboró un instructivo de uso que se entregó junto con el archivo de la BDD a la encargada del departamento interesado en la empresa para iniciar un periodo de prueba. Posterior a esto, se realizó una reunión de seguimiento en la cual la ingeniera evaluó la herramienta.

## 4. CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. Diagrama de flujo con propuesta de metodología de ingeniería forense

De las metodologías incluidas en el marco teórico de este trabajo, FTA, FMEA y el método científico, todas son útiles según el tipo de caso en estudio, pero se considera que la más adecuada es la que se basa en el método científico debido a que recopila la evidencia observacional y los hechos del suceso bajo los cuales se crea la base del estudio de un caso. Por lo tanto, es posible crear una hipótesis que se debe afinar a través de posteriores pruebas e investigaciones.

Para obtener un método visual que permita apreciar la relación entre las causas y los efectos, se puede aplicar la metodología FTA, de manera cualitativa. En caso de requerir un estudio más profundo y preventivo para casos a futuro, se podría determinar cuáles causas tuvieron mayor peso a través de la aplicación de la metodología FMEA. Los tres métodos presentan puntos de vista diferentes en cuanto a su forma de estudio, sin embargo, todos se basan en una premisa que es: la posibilidad de evaluar las fallas junto con sus efectos con el fin de lograr resolver un evento principal. Con base en los métodos analizados, en la Figura 4-1 se presenta una propuesta que funciona como una guía para una investigación de un caso de ingeniería civil forense.

Este diagrama de flujo que se obtuvo, adaptado para la construcción, se desglosa en etapas según se describe a continuación (ver Figura 4-1):

- Etapa 1. Recopilar información: datos de proyectos e información inicial al ingresar el reporte, tal como nombre del cliente, ubicación detallada, fecha y contratista responsable. Esta etapa incluye ordenar la información, y elaborar entrevistas y cuestionarios para realizar posteriormente una revisión preliminar.
- Etapa 2. Definir problema: se solicita al realizar una descripción inicial del reporte.
- Etapa 3. Proponer hipótesis: el usuario debe indicar la hipótesis inicial con base en la definición del problema por revisar.
- Etapa 4. Analizar la información: el ingreso de los seguimientos a medida que se realiza el análisis del reporte.
- Etapa 5. Formular conclusiones: se solicita al usuario indicar la lección aprendida de la investigación realizada al finalizar el reporte.

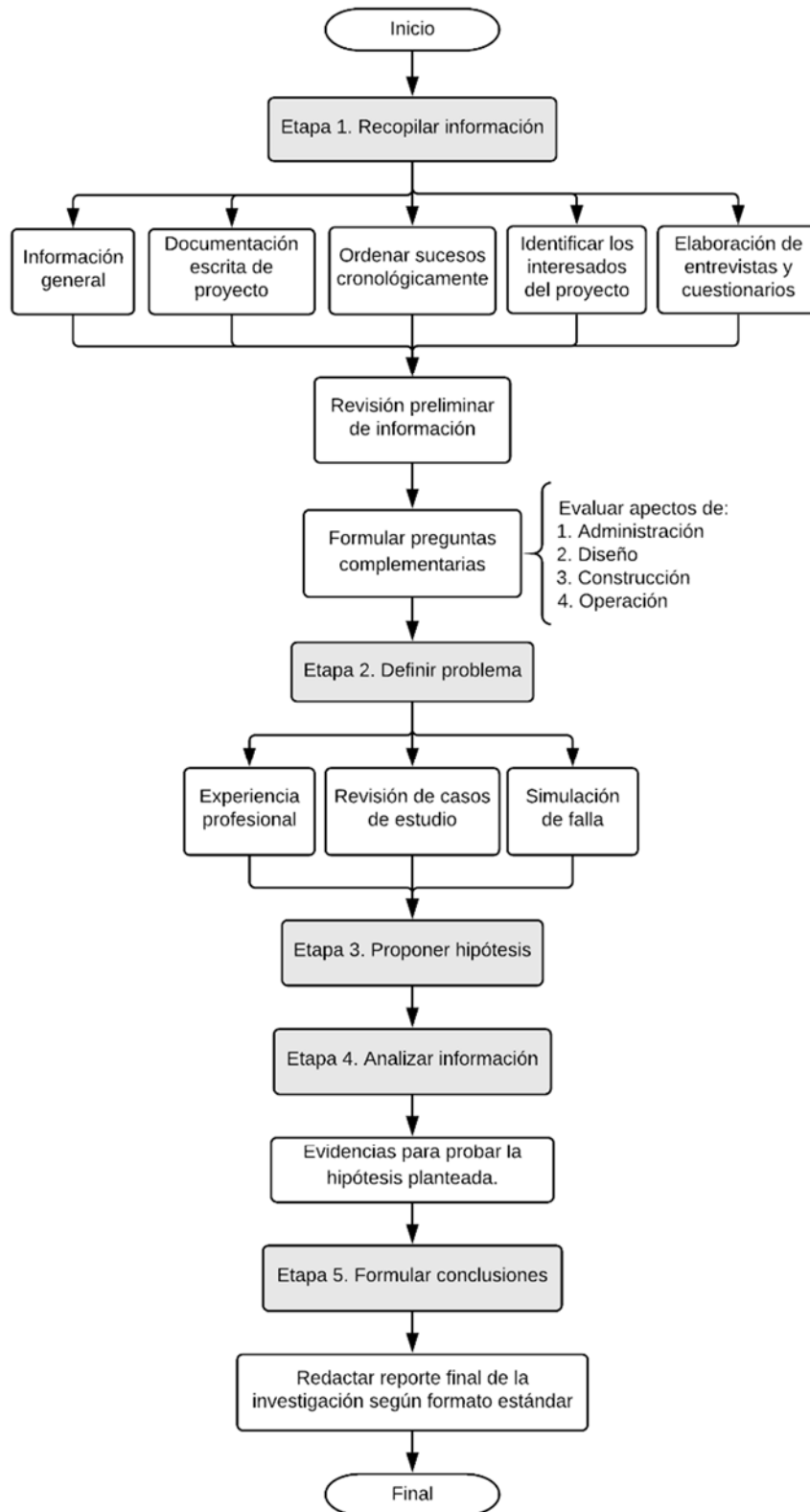


Figura 4-1. Propuesta de metodología de ingeniería forense

Fuente: Acón y Araya, 2019

## 4.2. Base de datos para el registro de reportes de fallas constructivas y seguimientos

### 4.2.1. Diseño conceptual del modelo inicial y su relación interna

Según lo indicado en la propuesta de metodología de ingeniería forense mostrada en la Figura 4-1, se seleccionó la información que se va a solicitar al usuario para almacenar en la base de datos. Una vez establecida esta, se diseñaron las tablas principales de la base de datos y los atributos (columnas) correspondientes. En cada una de las tablas, se resaltó un atributo principal como valor único que identifica cada uno de los datos ingresados, lo cual define las relaciones entre las tablas. En la Figura 4-2 se muestran las tablas principales de la base de datos y los atributos.

Información de proyecto	Información de reporte	Información de seguimiento del reporte
Número de proyecto*	Numero de reporte*	Número de seguimiento de reporte*
Nombre de proyecto	Numero de proyecto asociado	Número de reporte asociado
Nombre abreviado de proyecto	Fecha que se realizó el reporte	Fecha de seguimiento
Director de proyecto	Nombre de cliente que realiza reporte	Descripción del seguimiento
Fecha de entrega sustancial de proyecto	Clasificación de tipo reporte	
	Ubicación de falla reportada en proyecto	
	Contratista responsable de solución reporte	
	Estatus actual del reporte	
	Fecha de cierre del reporte realizado	
	Clasificación Uniformat 2010 asociada a reporte	
	Hipotesis inicial de causa del reporte	
	Lección aprendida al cerrar reporte	

\* Nota: se marca con asterisco el atributo principal de la tabla

Figura 4-2. Tablas principales de la base de datos y los atributos

Fuente: Acón y Araya, 2019

En la Figura 4-3 se muestra la relación entre proyectos, reportes y seguimientos para el orden de la información de la base de datos creada.



Figura 4-3. Relación entre proyectos, reportes y seguimientos en la base de datos  
Fuente: Acón y Araya, 2019

#### 4.2.2. Diseño lógico del modelo relacional

Una vez establecido el diseño conceptual de la base de datos, se procedió a tabular y revisar las tablas para evitar duplicidad de información. En la Figura 4-4 se muestran las tablas establecidas en la base de datos, en las cuales se incluyen las principales tablas de información de proyecto, los reportes y sus seguimientos. Adicional a éstas, se incluyen tablas secundarias tales como la clasificación de reportes, estatus de reporte y clasificación Unifomat 2010, las cuales sirven solamente para crear una lista desplegable en la tabla de reportes para el usuario. Esta clasificación Unifomat 2010 se eligió con la finalidad de estandarizar la codificación en un lenguaje más universal en el ámbito de la construcción. De esta manera, al tener una clasificación previamente definida, se logra capturar la mayor cantidad de información bajo un criterio menos variable y así generar información que muestre tendencias de falla de la empresa para mayor atención posteriormente (eventualmente se podría modificar si la empresa que use el programa así lo requiriera). Igualmente, la tabla indicada como usuario y nivel de usuario solamente manejan la tabulación de los datos y contraseñas de los usuarios.

**Tablas**

	01_Información_Proyecto
	02_Reporte_caso
	03_Seguimiento_caso
	04_Clasificacion_reporte
	05_Estatus_reporte
	06_Unifomat_2010
	Usuarios
	Usuarios_Nivel

Figura 4-4. Tablas establecidas para la base de datos  
Fuente: Acón y Araya, 2019

Con base en la relación establecida entre las tablas principales en el diseño conceptual, en la Figura 4-5 se puede observar de forma gráfica la relación de las tablas en el gestor de la base de datos.

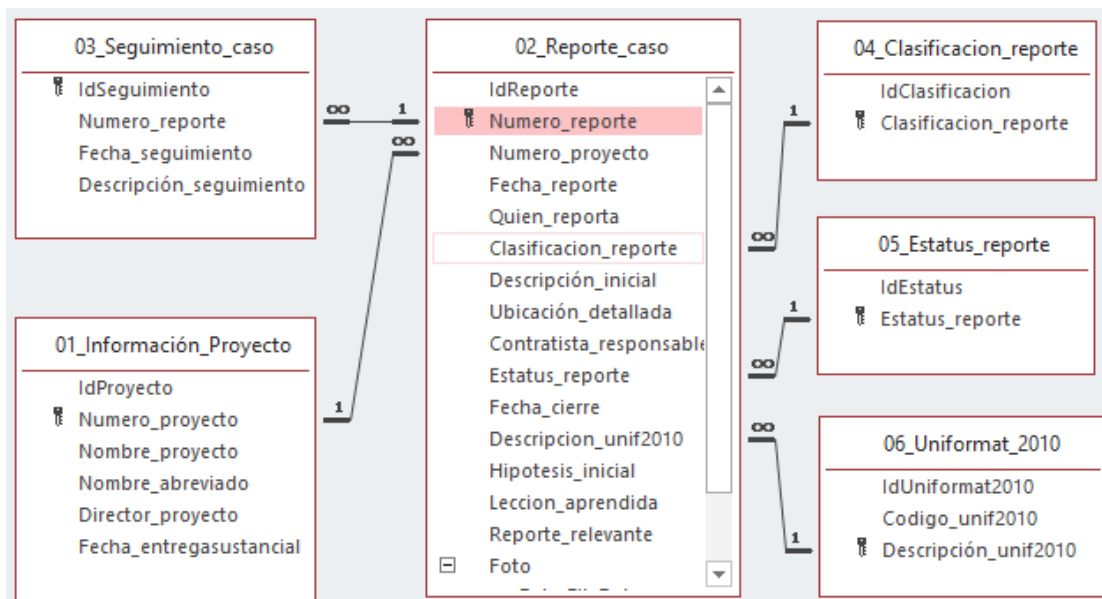


Figura 4-5. Relación de las tablas establecida en el gestor de la base de datos

Fuente: Acón y Araya, 2019

#### 4.2.3. Diseño físico con lenguaje SQL y base de datos final

Se procedió a revisar en detalle los tipos de datos que se iban a utilizar y qué valores iba a permitir. En la vista de diseño de cada tabla, se muestran las propiedades de los atributos de las tablas en el gestor de la base de datos. Para cada atributo se indica el tipo de dato que se requiere almacenar. En la Figura 4-6 se muestra un ejemplo de las propiedades del atributo del número de reporte.

02_Reporte_caso	
Nombre del campo	Tipo de datos
IdReporte	Autonumeración
Numero_reporte	Texto corto
Numero_proyecto	Texto corto
Fecha_reporte	Fecha/Hora
Quien_reporta	Texto corto
Clasificacion_reporte	Texto corto
Descripción_inicial	Texto largo
Ubicación_detallada	Texto corto
Contratista_responsable	Texto corto
Estatus_reporte	Texto corto
Fecha_cierre	Fecha/Hora
Descripción_unif2010	Texto corto
Hipotesis_inicial	Texto corto
Lección_aprendida	Texto corto
Reporte_relevante	Sí/No
Foto	Datos adjuntos

Propiedades del campo

General		Búsqueda	
Tamaño del campo	30		
Formato			
Máscara de entrada			
Título	Número de reporte		
Valor predeterminado			
Regla de validación			
Texto de validación			
Requerido	Sí		
Permitir longitud cero	Sí		
Indexado	Sí (Sin duplicados)		
Compresión Unicode	Sí		
Modo IME	Sin Controles		
Modo de oraciones IME	Nada		
Alineación del texto	General		

Figura 4-6. Ejemplo de propiedades de los atributos de las tablas en el gestor de la base de datos

Fuente: Acón y Araya, 2019

Al finalizar esta etapa se completó el SQL de la base de datos por lo que puede ser usada por el usuario. En la Figura 4-7 se muestra la tabla de proyectos de forma tabular, en la cual se puede ingresar, modificar y eliminar datos sin problema alguno. Se puede observar en la parte izquierda de la figura que cada proyecto cuenta una opción desplegable indicando la relación con la tabla de reportes. En la Figura 4-8 se puede ver como la tabla de proyectos se relaciona con las otras dos subtablas, la de reportes y la de seguimientos, en las cuales se pueden ingresar datos directamente si el usuario desea.

01_Información_Proyecto					
	IdProyecto	Número de proyecto	Nombre de proyecto	Nombre_abreviado	Director de proyecto
+		136 1	Proyecto 1	Proy 1	Director 1
+		137 2	Proyecto 2	Proy 2	Director 1
+		138 3	Proyecto 3	Proy 3	Director 1
*		(Nuevo)			

Figura 4-7. Ejemplo de tabla de información de proyecto

Fuente: Acón y Araya, 2019

01_Información_Proyecto																																																											
IdProyecto	Número de proyecto	Nombre de proyecto	Nombre_abreviado	Director de proyecto	F																																																						
136	1	Proyecto 1	Proy 1	Director 1																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Quien reporta</th> <th>Clasificación de reporte</th> <th>Unifomat</th> <th>Estatus de reporte</th> <th>Descripción ini</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cliente 1</td> <td>Construcción</td> <td>Ceiling Finishes</td> <td>Pendiente</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6"> <table border="1"> <thead> <tr> <th>IdSeguimiento</th> <th>Fecha de seguimiento</th> <th>Descripción de seguimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6330</td> <td>07-may.-19</td> <td>Seguimiento 1,1,1</td> </tr> <tr> <td>6331</td> <td>07-may.-19</td> <td>Seguimiento 1,1,2</td> </tr> <tr> <td>*</td> <td>(Nuevo)</td> <td>07-may.-19</td> </tr> </tbody> </table> </td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Pendiente</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Quien reporta	Clasificación de reporte	Unifomat	Estatus de reporte	Descripción ini	Cliente 1	Construcción	Ceiling Finishes	Pendiente		<table border="1"> <thead> <tr> <th>IdSeguimiento</th> <th>Fecha de seguimiento</th> <th>Descripción de seguimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6330</td> <td>07-may.-19</td> <td>Seguimiento 1,1,1</td> </tr> <tr> <td>6331</td> <td>07-may.-19</td> <td>Seguimiento 1,1,2</td> </tr> <tr> <td>*</td> <td>(Nuevo)</td> <td>07-may.-19</td> </tr> </tbody> </table>						IdSeguimiento	Fecha de seguimiento	Descripción de seguimiento	6330	07-may.-19	Seguimiento 1,1,1	6331	07-may.-19	Seguimiento 1,1,2	*	(Nuevo)	07-may.-19					Pendiente																					
Quien reporta	Clasificación de reporte	Unifomat	Estatus de reporte	Descripción ini																																																							
Cliente 1	Construcción	Ceiling Finishes	Pendiente																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>IdSeguimiento</th> <th>Fecha de seguimiento</th> <th>Descripción de seguimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6330</td> <td>07-may.-19</td> <td>Seguimiento 1,1,1</td> </tr> <tr> <td>6331</td> <td>07-may.-19</td> <td>Seguimiento 1,1,2</td> </tr> <tr> <td>*</td> <td>(Nuevo)</td> <td>07-may.-19</td> </tr> </tbody> </table>						IdSeguimiento	Fecha de seguimiento	Descripción de seguimiento	6330	07-may.-19	Seguimiento 1,1,1	6331	07-may.-19	Seguimiento 1,1,2	*	(Nuevo)	07-may.-19																																										
IdSeguimiento	Fecha de seguimiento	Descripción de seguimiento																																																									
6330	07-may.-19	Seguimiento 1,1,1																																																									
6331	07-may.-19	Seguimiento 1,1,2																																																									
*	(Nuevo)	07-may.-19																																																									
				Pendiente																																																							
137	2	Proyecto 2	Proy 2	Director 1																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Quien reporta</th> <th>Clasificación de reporte</th> <th>Unifomat</th> <th>Estatus de reporte</th> <th>Descripción ini</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cliente 2</td> <td>Mantenimiento</td> <td>Ceiling Finishes</td> <td>Pendiente</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cliente 2</td> <td>Materiales</td> <td>Ceiling Finishes</td> <td>Pendiente</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Pendiente</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Quien reporta	Clasificación de reporte	Unifomat	Estatus de reporte	Descripción ini	Cliente 2	Mantenimiento	Ceiling Finishes	Pendiente		Cliente 2	Materiales	Ceiling Finishes	Pendiente						Pendiente																																		
Quien reporta	Clasificación de reporte	Unifomat	Estatus de reporte	Descripción ini																																																							
Cliente 2	Mantenimiento	Ceiling Finishes	Pendiente																																																								
Cliente 2	Materiales	Ceiling Finishes	Pendiente																																																								
				Pendiente																																																							
138	3	Proyecto 3	Proy 3	Director 1																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>IdReporte</th> <th>Número de reporte</th> <th>Fecha de reporte</th> <th>Quien reporta</th> <th>Clasificación de reporte</th> <th>Unifomat</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3249</td> <td>3,1</td> <td>07-may.-17</td> <td>Cliente 3</td> <td>Administrativo</td> <td>Elevators &amp; Lifts</td> </tr> <tr> <td>3251</td> <td>3,2</td> <td>07-may.-19</td> <td>Cliente 3</td> <td>Construcción</td> <td>Floor Finishes</td> </tr> <tr> <td>3252</td> <td>3,3</td> <td>07-may.-19</td> <td>Cliente 3</td> <td>Construcción</td> <td>Floor Finishes</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>07-may.-19</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>07-may.-19</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>07-may.-19</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>07-may.-19</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>07-may.-19</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						IdReporte	Número de reporte	Fecha de reporte	Quien reporta	Clasificación de reporte	Unifomat	3249	3,1	07-may.-17	Cliente 3	Administrativo	Elevators & Lifts	3251	3,2	07-may.-19	Cliente 3	Construcción	Floor Finishes	3252	3,3	07-may.-19	Cliente 3	Construcción	Floor Finishes			07-may.-19						07-may.-19						07-may.-19						07-may.-19						07-may.-19			
IdReporte	Número de reporte	Fecha de reporte	Quien reporta	Clasificación de reporte	Unifomat																																																						
3249	3,1	07-may.-17	Cliente 3	Administrativo	Elevators & Lifts																																																						
3251	3,2	07-may.-19	Cliente 3	Construcción	Floor Finishes																																																						
3252	3,3	07-may.-19	Cliente 3	Construcción	Floor Finishes																																																						
		07-may.-19																																																									
		07-may.-19																																																									
		07-may.-19																																																									
		07-may.-19																																																									
		07-may.-19																																																									

Figura 4-8. Ejemplo de la relación de reportes y seguimientos en la tabla de proyectos

Fuente: Acón y Araya, 2019

### 4.3. Interfaz de usuario para base de datos

La base de datos creada puede ser utilizada por el usuario directamente por medio de las tablas principales establecidas, sin embargo, puede llegar a ser un poco impráctico para la edición y consulta de datos. Por esta razón, se procedió a diseñar una interfaz de usuario con la cual se facilita el manejo de los datos. Para esto, se utilizó la opción de consultas y formularios en Microsoft Access. En la Figura 4-9 y Figura 4-10 se muestran las consultas y formularios creados para la interfaz, estos muestran al usuario la información que requiere añadir, editar o eliminar.









- Consultas**
-  01\_Información\_Proyecto Consulta
  -  02\_Reporte\_caso Consulta
  -  04\_Conteo casos anuales
  -  05\_Total casos
  -  06\_Conteo porcentual casos
  -  07\_Conteo casos Unif2010
  -  08\_Total casos Unif2010
  -  09\_Conteo y porcentaje casos Unif2010

Figura 4-9. Consultas de tablas en el gestor de la base de datos

Fuente: Acón y Araya, 2019

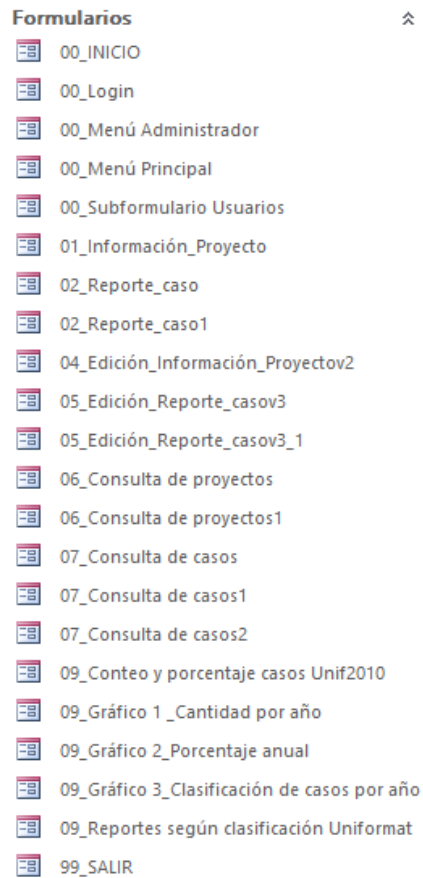


Figura 4-10. Formularios de tablas en el gestor de la base de datos

Fuente: Acón y Araya, 2019

Para permitir un control al ingresar, se agregó un formulario de acceso, tal y como se muestra en la Figura 4-11. En la Figura 4-12 se muestran los dos usuarios predeterminados establecidos:

- Usuario: tiene un nivel de seguridad de usuario estándar, por lo tanto, al ingresar se dirige directamente al menú principal de la herramienta.
- Admin: tiene un nivel de seguridad de administrador de la herramienta, es decir, al ingresar tiene acceso directo al formulario de “Edición de usuarios” mostrado en la Figura 4-12, en el cual puede agregar, modificar y eliminar los usuarios según lo requiera. A partir de este menú de edición, puede regresar al formulario de acceso o dirigirse al menú principal según lo requiera.



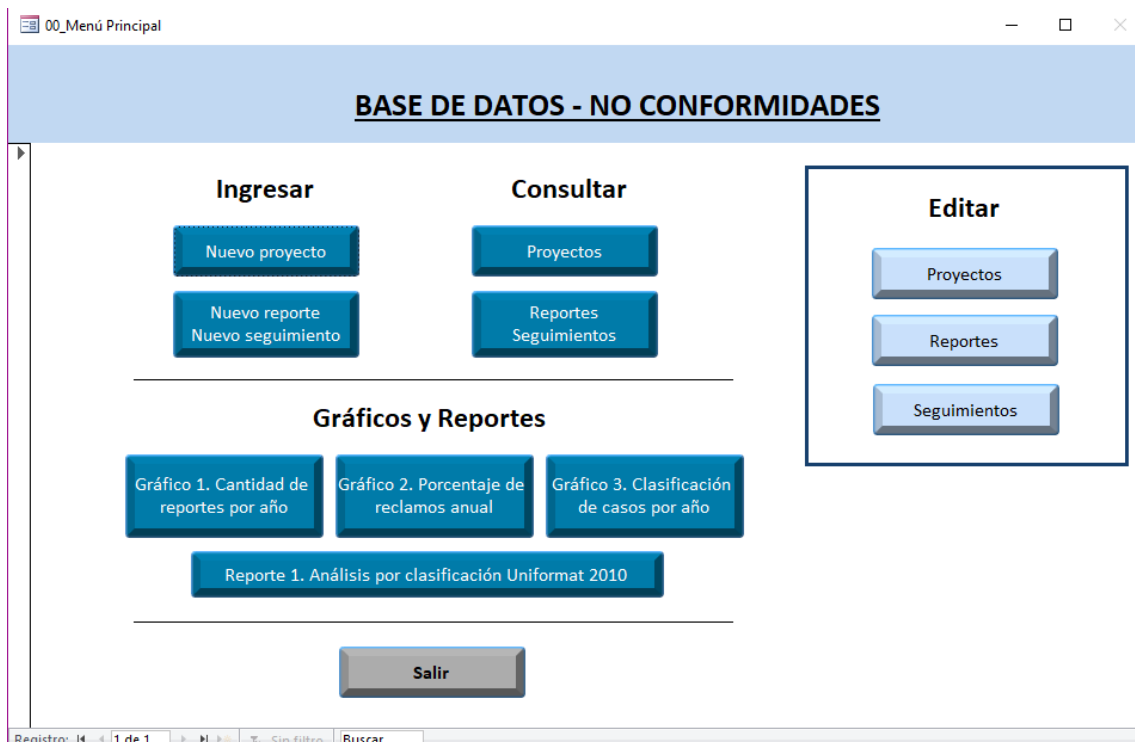


Figura 4-13. Menú principal de la base de datos

Fuente: Acón y Araya, 2019

Para el ingreso de datos, se añadieron dos subformularios clave al registro y la consulta de caso con el fin de lograr que el manejo de los reportes ingresados fuera más fácil de visualizar. En la Figura 4-14 se muestra un ejemplo del formulario de registro de un nuevo reporte, en el cual se agregó un subformulario con el registro de seguimientos asociado a reporte que se está ingresando. En este formulario se agregó la opción de poder adjuntar una foto del reporte para una mejor idea del caso con que se estaría trabajando. De manera similar, en la consulta de reportes y edición de seguimientos se habilita un formulario consulta de casos y seguimientos asociados tal y como se muestra en la Figura 4-15. En este formulario se actualiza automáticamente la información de los seguimientos a medida que se revisa en la parte superior los distintos reportes almacenados en una vista tabular, lo cual da al usuario más versatilidad al habilitar la herramienta de filtros y búsqueda.

02\_Reporte\_caso

Registrar nuevo reporte de caso

Fotografías del reporte

ETAPA 2/3

Número de proyecto: 1 Proy 1

Número de reporte: 1,1

Fecha de reporte: 07-may.-19

Quien reporta: Cliente 1

Ubicación detallada:

Descripción inicial de caso:

Hipótesis inicial:

Estatus de reporte: Pendiente

Clasificación de reporte: Construcción

Contratista responsable:

ETAPA 3/3

Fecha cierre de reporte:

Clasificación Uniformat: C3030 Ceiling Finishes

Lección aprendida:

Incluir en la lista de Reportes relevantes

Fecha de se.	Descripción de seguimiento
07-may.-19	Seguimiento 1,1,1
07-may.-19	Seguimiento 1,1,2
* 07-may.-19	

Registro: 1 de 2

Guardar Ingresar nuevo reporte Editar seguimiento

Volver a menú principal

Registro: 3 de 6

Figura 4-14. Ejemplo del formulario de registro de un nuevo reporte

Fuente: Acón y Araya, 2019

07\_Consulta de casos

Resumen de reportes y seguimientos

Numero de reporte: 1,1

Re	Número de proyecto	Nombre proyecto	Número de reporte	Fecha de reporte	Quien reporta	Estatus de reporte	Clasificación de	Uniformat
<input type="checkbox"/>	1	Proy 1	1,1	07-may.-18	Cliente 1	Pendiente	Construcción	Ceiling Finishes
<input type="checkbox"/>	2	Proy 2	2,1	07-may.-18	Cliente 2	Pendiente	Mantenimiento	Ceiling Finishes
<input type="checkbox"/>	2	Proy 2	2,2	07-may.-19	Cliente 2	Pendiente	Materiales	Ceiling Finishes
<input type="checkbox"/>	3	Proy 3	3,1	07-may.-17	Cliente 3	Pendiente	Administrativo	Elevators & Lifts
<input type="checkbox"/>	3	Proy 3	3,2	07-may.-19	Cliente 3	Pendiente	Construcción	Floor Finishes
<input type="checkbox"/>	3	Proy 3	3,3	07-may.-19	Cliente 3	Pendiente	Construcción	Floor Finishes

Registro: 1 de 6

Número de reporte	Fecha de seguimiento	Descripción de seguimiento
1,1	07-may.-19	Seguimiento 1,1,2
1,1	07-may.-19	Seguimiento 1,1,1
* 1,1	07-may.-19	

Registro: 1 de 2

Ingresar nuevo reporte Editar reporte

Volver a menú principal

Registro: 1 de 6

Figura 4-15. Ejemplo de formulario de consulta de casos y seguimientos asociados

Fuente: Acón y Araya, 2019

En la Figura 4-16, Figura 4-17 y Figura 4-18 se muestran ejemplos de gráficos y reportes que presentan un resumen de todos los reportes almacenados en la base de datos. Esta representación gráfica brinda al usuario la capacidad de ver la evolución de los reportes por año, la cantidad de reportes por año según la categoría en la que hayan sido asignados o para identificar la distribución porcentual de reportes según la clasificación Uniformat 2010. Cabe destacar que la información que se logre obtener de estos gráficos, al igual que la base de datos, dependen de la calidad y veracidad de los datos ingresados por el usuario.

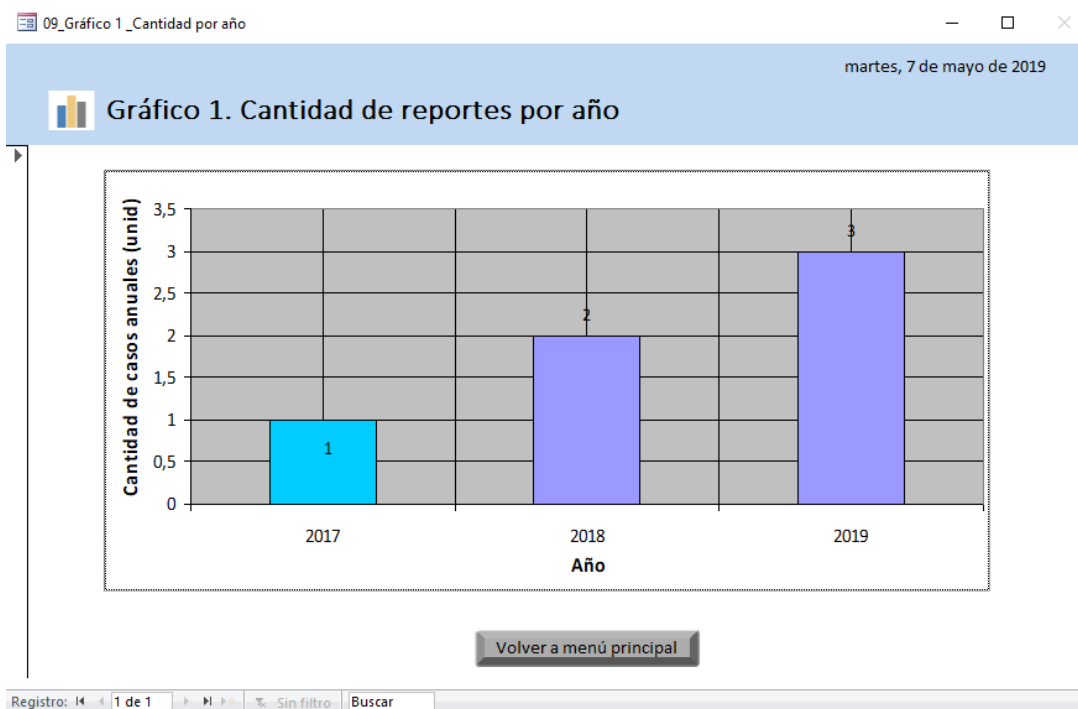


Figura 4-16. Ejemplo de gráfico de cantidad de reportes por año

Fuente: Acón y Araya, 2019

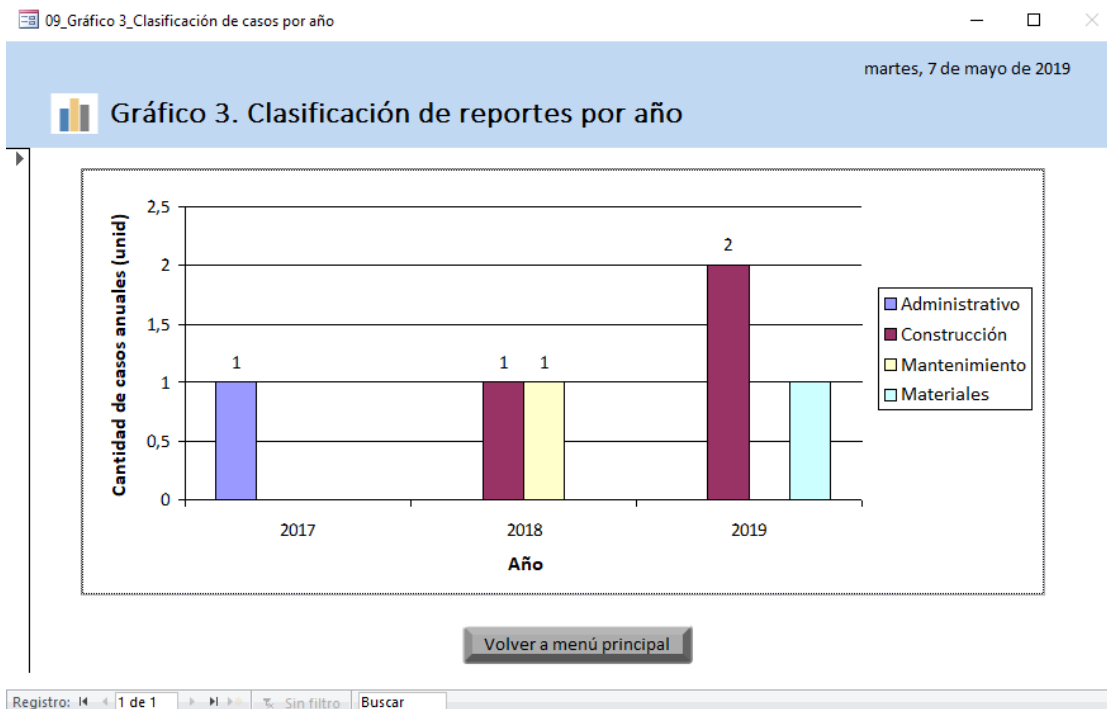


Figura 4-17. Ejemplo de gráfico de clasificación de reportes por año

Fuente: Acón y Araya, 2019

09\_Reportes según clasificación Unifomat

Reportes según clasificación Unifomat 2010

07-may.-19

Código	Unifomat	Cantidad por categoría	Porcentaje por categoría
C3030	Ceiling Finishes	3	50%
D1010	Elevators & Lifts	1	17%
C3020	Floor Finishes	2	33%

Volver a menú principal

Registro: 3 de 3 Sin filtro Buscar

Figura 4-18. Ejemplo de reportes según clasificación Unifomat 2010

Fuente: Acón y Araya, 2019

En los formularios se activaron las opciones de ventana modal y emergente, además se incluyó un código de programación en el ejecutable de Microsoft Access de manera que, al ocultar el ambiente de Access, se pudiera navegar solamente utilizando formularios, simulando de esta manera el uso de un “software”.

#### **4.4. Implementación de la herramienta para la gestión de la base de datos**

Durante el desarrollo de la interfaz de usuario, se trabajó en conjunto con una empresa constructora con más de treinta y cinco años en el mercado de la construcción de edificaciones en Costa Rica. Desde el año 2016, esta empresa inició un registro sencillo utilizando Microsoft Excel de reportes y seguimientos de no conformidades presentadas en sus proyectos finalizados.

Para verificar el funcionamiento de la base de datos y la interfaz desarrollada, se incluyeron más de 2 mil reportes de fallas y aproximadamente 6 mil seguimientos registrados en el periodo comprendido entre el año 2016 al 2019. Los datos se registraban en más de 10 tablas distintas, separadas por proyecto o relevancia, lo cual aumentaba la probabilidad de duplicidad en los reportes registrados. La mayoría de los datos fueron exportados directamente desde Excel a Access, sin embargo, los reportes del año 2019 y seguimientos correspondientes fueron ingresados de forma directa para emular el procedimiento a realizar por el usuario. De esta forma, se pudo evaluar y mejorar elementos de calidad de la interfaz, como la rapidez y facilidad de ingreso de datos, así como la edición de estos.

Al completar el ingreso de datos en la base de datos, se elaboró un instructivo de uso que se entregó junto con el archivo de la BDD a la ingeniera encargada de registro de las fallas en la empresa constructora. La opinión del usuario respecto a la herramienta que utiliza para el manejo de datos permite realizar mejoras a la calidad de esta. Por esta razón, se procedió a realizar un cuestionario para evaluar la calidad y satisfacción del usuario respecto a la base de datos y la interfaz de usuario. Considerando los distintos niveles de la metodología de evaluación de software, se diseñó un cuestionario para evaluar las características de la base de datos y la interfaz de usuario. En la Figura 4-19 se describen distintas métricas de calidad interna y externa.



Figura 4-19. Modelo de calidad de la Calidad Interna y Externa ISO/IEC – 9126

Fuente: Naranjo, s.f.

Utilizando estas características, se creó una matriz con la cual se diseña el cuestionario para evaluar la base de datos y la interfaz de usuario, esta se muestra en el Cuadro 4-1. Los objetivos principales de la evaluación era evaluar la funcionalidad, usabilidad y eficiencia de la herramienta. Con ayuda de la Figura 4-19, se describe con mayor detalle la característica a evaluar, con lo cual se establecieron indicadores específicos de la base de datos que se relacionaban a estas descripciones. De esta forma se definieron los elementos a incluir en el cuestionario de la evaluación.

Cuadro 4-1. Diseño de cuestionario para evaluar la base de datos y la interfaz de usuario

Objetivo	Descripción de características	Indicadores	Def. instrumental	Modo de respuesta
Evaluar la funcionalidad y usabilidad	Capacidad de ser operado considerando la interoperabilidad entre tablas	Ingreso de datos	1. Facilidad del ingreso de datos	Escala de calidad
		Consulta de datos	2. Facilidad de la consulta de datos	
		Edición de datos	3. Facilidad de la edición de datos	
		Conexión entre formularios	6. Lógica de los menús y botones	
Evaluar solo la usabilidad	Capacidad de ser entendido y operado	Manejo general	4. Facilidad de uso en general	
	Capacidad de atracción	Estética de interfaz	7. Diseño agradable al usuario	
Evaluar la funcionalidad y eficiencia	Exactitud y comportamiento temporal	Tiempo de reacción	5. Rapidez de respuesta	
	Eficiencia	Funcionamiento eficiente	8. Eficiencia de la herramienta	
Evaluar solo la funcionalidad	Determinar la adecuación de los formularios y la información para el usuario	Objetivos	9. Cumple con el objetivo establecido	
		Uso en la empresa	10. Utilidad para la empresa	
		Información relevante	11. La herramienta permite ingresar y procesar la información que considera relevante.	
Evaluar la satisfacción del usuario	Identificar las mejoras que el usuario detecta al utilizar los formularios	Oportunidad de mejora	12. Oportunidades de mejora detectadas:	Respuesta abierta
	Identificar observaciones generales importantes para el usuario	Observaciones	13. Observaciones adicionales:	
	Conocer si usuario compartirá la herramienta con nuevos usuarios	Recomendación futura	14. Recomendaría el uso de esta herramienta a otra empresa	Afirmación/negación

Fuente: Acón y Araya, 2019

En el cuestionario se incluyeron preguntas abiertas ya que estas aportan mucha información cualitativa, y preguntas cerradas para obtener información más concisa, incluyendo para su evaluación una escala de calidad como se muestra en el Cuadro 4-2 y de afirmación/negación: SI - NO.

Cuadro 4-2. Escala de calidad utilizada en el cuestionario

Escala de calidad				
Deficiente	Insuficiente	Regular	Bueno	Excelente
1	2	3	4	5

Fuente: Acón y Araya, 2019

En el Anexo 2 se puede consultar el resultado de las respuestas de la ingeniera de la empresa constructora que usó la herramienta durante la implementación. La calificación otorgada en las características evaluadas de funcionabilidad, usabilidad y eficiencia fueron excelente excepto en la pregunta de funcionalidad que consulta si “cumple con el objetivo establecido”, la cual calificó como bueno. Como se puede observar en la Figura 4-20, esta calificación disminuye el puntaje promedio obtenido del objetivo que evaluaba solo la funcionalidad del programa, en el cual obtuvo 4.7 puntos de 5.

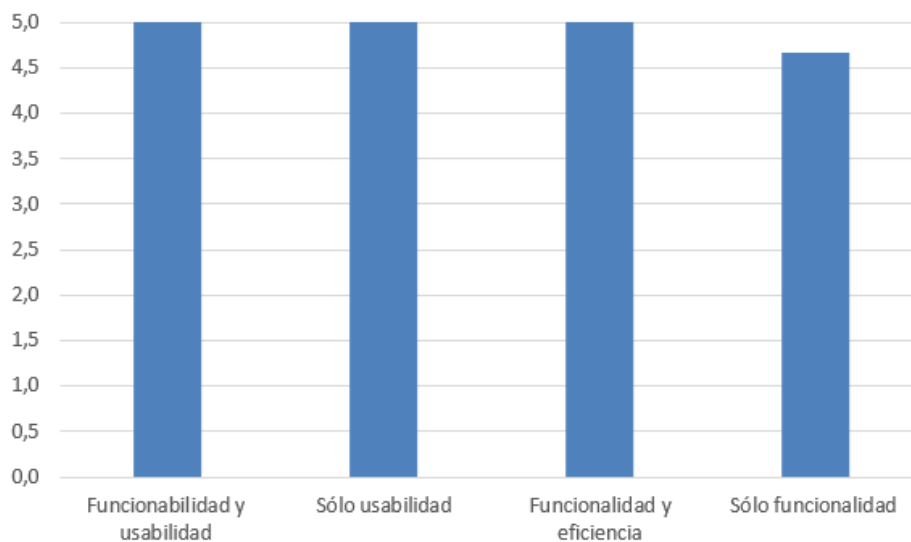


Figura 4-20. Promedio de puntajes según el objetivo evaluado

Fuente: Acón y Araya, 2019

Esta calificación se debió a que la ingeniera requería que los reportes denominados como relevantes fueran exportados con los seguimientos a otro archivo de forma automática para

presentar al director ejecutivo de la empresa. Esta característica solicitada la registró como una oportunidad de mejora detectada pero no se logró integrar a la interfaz del usuario ya que requería conocimiento de programación más extenso. En el otro rubro de satisfacción del usuario, la ingeniera hizo la observación adicional que los formularios no se ajustan de forma automática al maximizar la ventana, lo cual tampoco se logra integrar a la herramienta desarrollada debido a limitaciones de programación.

## 5. CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Discusión

Entre las labores de la ingeniería civil forense está la de buscar las causas por las cuales se presentó una falla. Esta labor suele desarrollarse bajo varios objetivos principales entre los que se encuentran detectar quién fue el responsable de la falla o hasta detectar qué fue lo que falló y por qué, para poder evitarla en posteriores construcciones. En Costa Rica no se están aprovechando las ventajas que se pueden obtener al realizar este tipo de estudios en las empresas de construcción. Entre las razones más importantes está la de volverse más competitivos en este ámbito, sin embargo, para lograr llegar a este punto se vuelve necesario un sistema de control de fallas de la empresa y la posibilidad de realizar los análisis correspondientes para evitar su repetición.

Para contribuir con una mejor distribución y seguimiento de la información en el ámbito de la ingeniería civil forense, sería de gran ayuda establecer un Capítulo de Costa Rica. Por ejemplo, una institución a la cual podría pertenecer este Capítulo sería alguna con gran cantidad de experiencia y los medios para realizar investigaciones tal como lo es el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. Asimismo, un ente como el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, podría desarrollar esta función y mejorar el nivel de calidad de las construcciones en Costa Rica. Cabe recalcar que, actualmente hay información valiosa de instituciones internacionales que recomiendan cómo debe ser el proceso adecuado para la realización de las investigaciones, pero no se está aplicando en las empresas para mejorar el nivel de las construcciones en el país.

Entre las principales metodologías que pueden ser utilizadas para su aplicación en investigaciones de la ingeniería civil forense están: modo de falla y análisis de efectos (FMEA), análisis de la causa raíz (FTA) y el método científico. Estas metodologías se enfocan en el análisis de la relación causa-efecto para determinar la raíz principal de la falla analizada.

Como resultado de la investigación realizada, se concluyó que los métodos FMEA y FTA, no son métodos que se conozcan a profundidad en Costa Rica y es importante que se puedan estudiar más en detalle. Con este trabajo se observa la utilidad de ambos métodos, así como la importancia de la guía que provee el método científico en las investigaciones. Estos métodos se han estado utilizando de manera individual en estudios de la ingeniería civil forense, en el

exterior y en nuestro país. Según sea la complejidad del caso en estudio, se recalca la posibilidad de resultados más completos si se aplican dichos métodos en conjunto.

En Costa Rica, la investigación de fallas usualmente se basa mucho en la experiencia y conocimiento del profesional a cargo. El diagrama de flujo desarrollado en este trabajo, basado en las metodologías y etapas de la investigación de ingeniería civil forense, provee una guía más concreta en cuanto a las etapas a seguir para un estudio más eficiente.

La ocurrencia de fallos y errores en la realización de un proyecto conlleva un costo económico para el constructor y el cliente, por lo que, sin duda, existe una necesidad de lograr determinar el origen de los problemas con el fin de evitarlos en un futuro y mejorar la calidad de las construcciones. En este caso, una base de datos con las lecciones aprendidas de una empresa es una forma de tener claros los aspectos a cuidar más durante la etapa constructiva y así disminuir la posibilidad de fallos posteriores.

Es posible que exista mucha información a nivel nacional sobre las patologías y sus respectivas investigaciones, sin embargo, no está disponible para el público general. A pesar de la gran cantidad de informes e investigaciones llevadas a cabo, no suele haber acceso a estos reportes de casos ni sus resultados, lo cual entorpece el aprendizaje colectivo de los profesionales que buscan enterarse del tema y, sobre todo, no propicia la difusión para que las lecciones sean aprovechadas por la industria. Ahí radica la importancia que cada empresa interesada en su mejora continua, pueda crear su propia base de datos y alimentarla constantemente para poder analizar sus propias fallas o debilidades y así corregirlas cuanto antes.

## **5.2. Conclusiones**

- En Costa Rica no existe el uso de algún método estandarizado para la investigación de casos de fallas en la construcción. Tampoco existe una base de datos de investigaciones de casos en proyectos, de acceso del público general, por lo que no es tan sencillo poder disminuir la probabilidad de seguir cometiendo el mismo error.
- Todos los objetivos propuestos para este trabajo se lograron cumplir. Desde la investigación de información sobre la ingeniería civil forense hasta la validación de la herramienta desarrollada con Microsoft Access con casos de una empresa constructora.

- Entre los métodos más comunes utilizados para la investigación en casos de ingeniería civil forense se encontraron el modo de falla y análisis de efectos, análisis de la causa raíz y el método científico.
- Se logra proponer un diagrama de flujo que servirá como guía donde se requiera resolver casos de fallas en las construcciones. Este diagrama consta de varias etapas, determinadas con base en los métodos de investigación de la ingeniería civil forense, que permiten ir entendiendo el problema en estudio con mayor claridad y orden.
- Se creó una herramienta que permitió el ingreso de información de reportes de fallas que simplifica la obtención de una base de datos en las empresas constructoras.
- A través del uso de la herramienta creada, se facilita el análisis de datos históricos y lecciones aprendidas de una empresa constructora, y se puede así evitar volver a cometer la misma falla a futuro.

### **5.3. Recomendaciones**

- Dar mayor seguimiento al estudio de la ingeniería civil forense y su posible implementación en Costa Rica. Por el momento es un campo que se ha explorado muy poco a pesar de tener gran importancia en el ámbito de la construcción.
- Desarrollar una guía para estandarizar la presentación formal del informe de la investigación de casos de ingeniería civil forense, sobre todo en reportes de casos en los que se presentaron efectos con alto impacto en alguna obra.
- La herramienta se creó de manera estándar para que pueda ser útil para cualquier empresa constructora que quiera usarla. Se recomienda evaluar la información que se puede obtener con su uso y determinar si debe adaptarse alguna característica adicional para mayor peso en la empresa.
- Si se quisiera ajustar algún aspecto de la herramienta, según la complejidad de la modificación, podría ser necesario solicitar a alguien que tenga algún conocimiento en programación, especialmente si se quisieran evitar errores que puedan afectar el ingreso y análisis posterior de los datos.
- Para la empresa que vaya a utilizar la herramienta desarrollada, se recomienda el ingreso de datos de manera constante para no perder información que podría resultar valiosa para posteriores proyectos.

- Promover el uso del programa creado con este trabajo de investigación pues permite un mejor seguimiento a los casos de las empresas. Otros programas actualmente utilizados no son necesariamente aptos para el manejo de la información y las relaciones entre datos a como lo facilita Microsoft Access.
- Agregar la función para que el programa pueda dejar un registro del usuario que realizó algún nuevo ingreso o un cambio en los datos para mayor control.
- La herramienta permite ingresar alguna imagen de referencia en cada reporte que se genera, sin embargo, se recomienda tratar de no subir gran cantidad de imágenes con alta resolución pues haría que la base de datos se vuelva más pesada.

## 6. Referencias

- Audeves-Pérez, S., Solís-Carcaño, R., Álvarez-Romero, S., & Martínez-Álvarez, A. (2013). Causas de fallas constructivas presentadas en proyectos viviendas. *Compilación artículos de administración y tecnología para la arquitectura, diseño e ingeniería*, 117-133. Recuperado el agosto de 2018, de [https://administracionytecnologiaparaldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/comp\\_2013/06.pdf](https://administracionytecnologiaparaldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/comp_2013/06.pdf)
- Benítez, A. R. (2012). El método científico en la ingeniería estructural forense. Bolivia. Recuperado el noviembre de 2018, de <https://jornadasaie.org.ar/Nuevositio/wp-content/themes/jornadas-aie-anteriores/2012/contenidos/trabajos/71.pdf>
- Bolaños, A. (2006). *Ingeniería Forense: herramienta metodológica para el estudio de problemas geotécnicos en Costa Rica*. Informe del Proyecto Final de Graduación, Universidad de Costa Rica, Ingeniería Civil.
- Canchanya, L. (s.f.). Las fallas mas comunes en una construcción. Recuperado el agosto de 2018, de [https://www.academia.edu/6967950/Las\\_fallas\\_mas\\_comunes\\_en\\_una\\_construccion](https://www.academia.edu/6967950/Las_fallas_mas_comunes_en_una_construccion)
- Chaverri, J., Salas, M., & Rodríguez, J. (2014). *Desarrollo de auditorías técnicas en la infraestructura vial de Costa Rica*. Recuperado el noviembre de 2018, de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/569/AUDITOR%C3%8DAS-%20INFRAESTRUTURA-VIAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Clemens, P. (1993). Fault Tree Analysis. Recuperado el noviembre de 2018, de <http://rischioatmosfereesplosive.studiomarigo.it/profiles/marigo2/images/file/1736612536.pdf>
- Colegio de Ingenieros Civiles de Costa Rica. (2018). Patología de Estructuras. Recuperado el noviembre de 2018, de <https://www.civiles.org/wp/staff/patologiadeestructuras-noviembre/>
- Comité de Investigación Forense. (2018). Guidelines for Failure Investigation. (Segunda Edición). American Society of Civil Engineers. Recuperado el 13 de noviembre de 2018, de <https://ascelibrary-org.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/doi/pdf/10.1061/9780784415122>

- Consejo Técnico en Ingeniería Forense. (2012). *Guidelines for Forensic Engineering Practice*. (J. B. Kardon, Ed.) American Society of Civil Engineer.
- CRC Press LLC. (2001). *Forensic Engineering*. (K. L. Carper, Ed.) Estados Unidos.
- Delatte, N., Bosela, P., Carper, K., Landivar, H., Navarro, H., & Rendon-Herrero, O. (2012). *Forensic Engineering Education Workshops: A Review of Experiences in the U.S. and in Latin America*. Recuperado el octubre de 2018, de <https://ascelibrary-org.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/doi/pdf/10.1061/9780784412640.104>
- Departamento de Lenguajes y Computación. (2011). Introducción a las bases de datos de Microsoft Access. (U. d. Almería, Ed.) Recuperado el enero de 2019, de <https://w3.ual.es/~jmrodri/pracaccess.pdf>
- Ericson, C. A. (1999). Fault Tree Analysis. Recuperado el noviembre de 2018, de <http://www.thecourse.us/5/Library/FaultTreeAnalysis2.pdf>
- Evans, J., & Lindsay, W. (2008). Administración y control de la calidad. Santa Fe: Cengage Learning. Obtenido de <https://libros-gratis.com/ebooks/administracion-y-control-de-la-calidad-7ma-edicion-james-r-evans-y-william-m-lindsay/>
- Gordo , E. M., Potes, J. A., & Vargas, J. L. (2017). Factores que ocasionan retrasos en obras civiles en Empresas Públicas de Neiva. Colombia. Recuperado el agosto de 2018, de <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10740/Johana%20Potes-2017.pdf?sequence=1>
- Hatamura, Y. (2005). *Structure and Expression of Failure Knowledge Database*. Recuperado el Noviembre de 2018, de Failure Knowledge Database: <http://www.sozogaku.com/fkd/en/infen/mandara.html>
- Herrera, M. (2015). Diseño de una base de datos del funcionamiento de un taller de fabricación de mazos de cables e implementación en Microsoft Access. *Proyecto Fin de Carrera - Ingeniería de Telecomunicación*. (U. d. Sevilla, Ed.) Sevilla. Recuperado el enero de 2019, de [http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12278/fichero/PFC\\_BBDD.pdf](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12278/fichero/PFC_BBDD.pdf)
- Kritzinger, D. (2017). Fault tree analysis. (ScienceDirect, Recopilador) Recuperado el noviembre de 2018, de <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/fault-tree-analysis>

- Microsoft. (2019). *Get Started with Access*. Recuperado el enero de 2019, de Office Support: <https://support.office.com/en-us/article/get-started-with-access-000df874-6a6a-49e4-8c95-51cd4d368039?ui=en-US&rs=en-US&ad=US#ID0EAABAAA=Basics>
- Naranjo, B. A. (s.f.). Calidad del software educativo: Metodología de Evaluación de software educativo para determinar el que cumple con las especificaciones basadas en estándares internacionales. Recuperado el enero de 2019, de <https://www.slideshare.net/Yyessenia/calidad-del-software-educativo>
- Noon, R. K. (2001). *Forensic Engineering Investigation*. CRC Press LLC. Recuperado el noviembre de 2018, de <https://epdf.tips/download/forensic-engineering-investigation.html>
- Ordman, N. (2018). *Forensic Engineers: Expert Sleuths Solve Engineering Mysteries*. Recuperado el Noviembre de 2018, de Engineering360: <https://insights.globalspec.com/article/7824/forensic-engineers-expert-sleuths-solve-engineering-mysteries>
- Soto, J. J. (2010). Evaluación de los problemas post-construcción para mejorar el desempeño de las instalaciones sanitarias en edificaciones multifamiliares. Lima, Perú. Recuperado el setiembre de 2018, de [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3261/1/soto\\_rj.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3261/1/soto_rj.pdf)
- Tague, N. (2004). *Failure Mode Effects Analysis (FMEA)*. Recuperado el noviembre de 2018, de The Quality Toolbox: <http://asq.org/learn-about-quality/process-analysis-tools/overview/fmea.html>
- Unam. (s.f.). Capítulo 2. Marco Teórico. Recuperado el enero de 2019, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/907/A5.pdf?sequence=5>
- Velez, F. (2015). Ingeniería Forense. *Online Ingeniería de Proyectos*. Recuperado el Setiembre de 2018, de <http://www.indisa.com/indisaonline/anteriores/IndisaOnLine139-IngenieriaForense.pdf>

**ANEXO 1: INSTRUCTIVO DE USO DE BASE DE DATOS**

## Instructivo para el uso de la base de datos en Access

En el siguiente instructivo se muestra un resumen de las funciones principales para el ingreso y la edición de datos en la base de datos. Microsoft Access es un sistema de gestión de bases de datos incluido en el paquete ofimático denominado Microsoft Office que utiliza el concepto de una base de datos relacionales. La base de datos creada se basa en la siguiente relación entre proyectos, reportes y seguimientos para el orden de información tal y como se muestra en la Figura A-1.

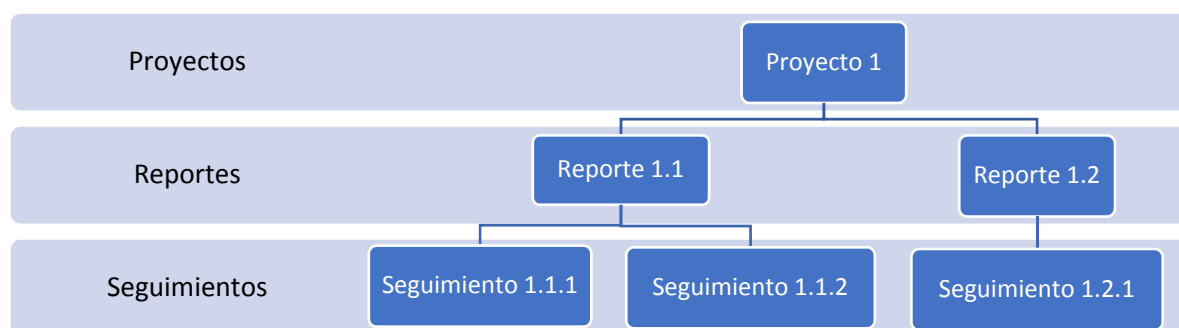


Figura A-1. Relación entre proyectos, reportes y seguimientos

Fuente: Acón y Araya, 2019

Si el usuario requiere un acceso al ambiente de Microsoft Access para realizar edición de las tablas o formularios, debe mantener presionada la tecla “Shift” del teclado y luego proceder a abrir el archivo de la base de datos con un doble clic sobre el icono.

### A. Formulario de acceso y niveles de usuario

Se habilita un formulario de acceso para permitir al usuario dar mayor seguridad a la base de datos. En la Figura A-2 se adjunta un ejemplo del formulario, el cual permite el acceso del usuario “admin” con la contraseña “admin”. Para este usuario se habilita el formulario de edición de usuarios tal como se muestra en la Figura A-3, el cual permite modificar usuarios y contraseñas de todos los usuarios. El nivel de seguridad “user”, permite el acceso al menú principal de la base de datos sin la opción de la edición de usuarios.



## B. Menú principal

En la Figura A-4 se muestra el menú principal de la base de datos. En este formulario se muestran las funciones principales que se pueden realizar:

- Ingresar datos
- Consultar datos
- Editar datos guardados
- Gráficos para análisis de datos

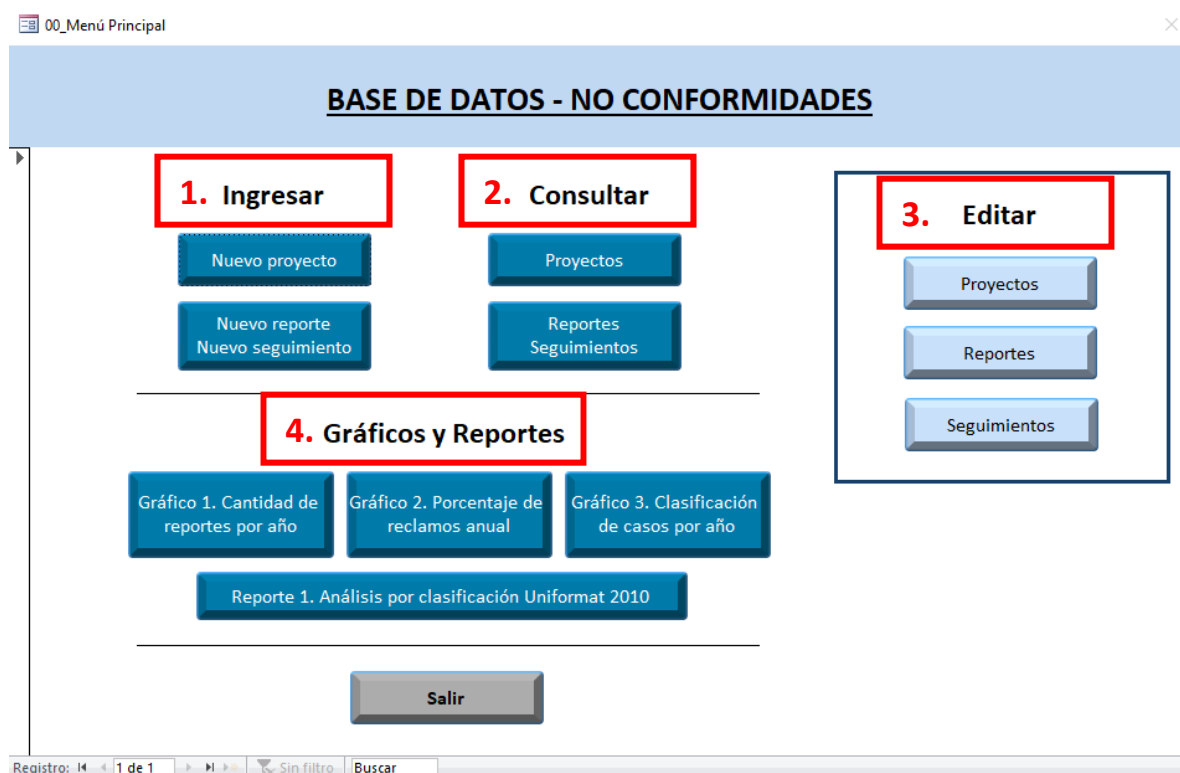


Figura A-4. Menú principal de la base de datos

Fuente: Acón y Araya, 2019

### 1. Ingresar datos

Estos formularios permiten el ingreso de datos.

## a) Ingresar nuevo proyecto

En la Figura A-5 se muestra el formulario para el ingreso de proyectos. Esto es el primer paso ya que posteriormente durante el registro de reportes se debe indicar el proyecto al cual se relaciona por medio de una lista desplegable. Es importante resaltar en este formulario que el **número de proyecto** debe ser un valor único, ya que es un dato clave para la relación con la tabla de reportes y seguimientos.

Figura A-5. Formulario para el ingreso de un nuevo proyecto

Fuente: Acón y Araya, 2019

## b) Ingresar nuevo reporte y seguimiento

En la Figura A-6 se muestra el formulario para el registro de un reporte de falla y seguimiento inicial. Similar al formulario del proyecto, en el ingreso de un nuevo reporte se debe ingresar un **número de reporte** que debe ser único en toda la base de datos. Este valor es clave para la relación con la tabla de seguimientos. Se recomienda al usuario utilizar una combinación del número de proyecto y un consecutivo para el número de reporte de ese proyecto, sin embargo, el campo permite cualquier combinación alfanumérica que se requiera hacer. A continuación, se

incluye en detalle la explicación de cada uno de los datos a ingresar en este formulario, ver la Figura A-7 para identificar las tres partes principales.

Figura A-6. Formulario para el registro de un reporte de falla y seguimiento inicial

Fuente: Acón y Araya, 2019

Figura A-7. Partes principales del ingreso de un reporte de falla

Fuente: Acón y Araya, 2019

### Parte 1: Datos iniciales del reporte a evaluar

- Número de proyecto: según asignado a la hora de ingresar datos de proyecto (1.a)
- Número de reporte: consecutivo para cada reporte
- Fecha de reporte: fecha en que se genera el reporte
- Quién reporta: nombre de la persona que solicitó abrir el reporte
- Ubicación detallada: dentro del proyecto para descripción más específica (ej. # de apartamento, piso, zona, etc.)
- Descripción inicial de caso: información brindada para revisión
- Hipótesis inicial: supuesto inicial del por qué se está dando el problema
- Estatus de reporte: permite seleccionar en qué estado se encuentra el reporte
- Clasificación de reporte: agrega una categoría para poder identificar en qué rubros está presentando más problemas la empresa
- Clasificación de reporte: agrega una categoría para poder identificar en qué rubros está presentando más problemas la empresa
- Contratista responsable: quién va a ser el encargado de resolver el reporte, quién es el principal responsable de arreglar el problema reportado
- Incluir en la lista de reportes relevantes: si se selecciona se va agregando a una lista de reportes con mayor importancia

### Parte 2: Datos de los seguimientos del reporte

- Fecha de seguimiento: fecha en que se da un nuevo avance en la investigación del reporte
- Descripción de seguimiento: detalle de lo que se quiere mantener en registro

### Parte 3: Datos de cierre del reporte

- Fecha cierre de reporte: fecha en que se da por resuelto el reporte
- Clasificación unformat: permite seleccionar la categoría según Unifomat para poder estudiar porcentualmente qué elementos o trabajos están presentando mayor o menor problema y así enfatizar revisiones a la hora de la construcción
- Lección aprendida: registra la explicación del por qué se dio el reporte y crea una base de datos para la empresa

#### Parte 4: Fotografía del reporte

- Permite agregar una imagen, preferiblemente que no sea pesada para que no ocupe mucha memoria en el programa y evitar que vuelva lento su funcionamiento.

#### 2. Consultar datos

En los formularios para la consulta de datos se inhabilita la edición de datos, de forma que el usuario que realiza la consulta no pueda editar por error la información de la base de datos. Para mayor comodidad, la consulta de proyectos registrados y de reportes se visualiza como una hoja de datos, con las funciones de filtro y búsqueda de datos en la parte inferior. En la Figura A-8 se muestra el formulario de consulta de proyectos y en la Figura A-9 se observa el formulario de consulta de reportes y seguimientos en la cual a medida que el usuario selecciona un reporte en la parte superior, la parte inferior se actualiza y muestra automáticamente los seguimientos asociados al reporte.

06\_Consulta de proyectos

### Consulta de proyectos

Número de proyecto	Nombre de proyecto	Nombre_abreviado	Director de proyecto	Fecha de entrega sustanci
1	Proyecto 1	Proy 1	Director 1	
2	Proyecto 2	Proy 2	Director 1	
3	Proyecto 3	Proy 3	Director 1	

Registro: 1 de 3 Sin filtro Buscar

Ingresar nuevo proyecto Editar proyectos

Volver a menú principal

Registro: 1 de 1 Sin filtro Buscar

Figura A-8. Consulta de proyectos

Fuente: Acón y Araya, 2019

07\_Consulta de casos

**Resumen de reportes y seguimientos** Número de reporte: 1,1

Repc	Número de proyect	Nombre proyecto	Número de reporte	Fecha de reporte	Quien reporta	Descripción inicial de caso	Estatus de re	Clasificación de i
<input type="checkbox"/>	1	Proy 1	1,1	07-may.-18	Cliente 1		Pendiente	Construcción
<input type="checkbox"/>	2	Proy 2	2,1	07-may.-18	Cliente 2		Pendiente	Mantenimiento
<input type="checkbox"/>	2	Proy 2	2,2	07-may.-19	Cliente 2		Pendiente	Materiales
<input type="checkbox"/>	3	Proy 3	3,1	07-may.-17	Cliente 3		Pendiente	Administrativo
<input type="checkbox"/>	3	Proy 3	3,2	07-may.-19	Cliente 3		Pendiente	Construcción
<input type="checkbox"/>	3	Proy 3	3,3	07-may.-19	Cliente 3		Pendiente	Construcción

Registro: 1 de 6 Sin filtro Buscar

Número	Fecha de se	Descripción de seguimiento
1,1	07-may.-19	Seguimiento 1,1,2
1,1	07-may.-19	Seguimiento 1,1,1

Registro: 1 de 2 Sin filtro Buscar

Registro: 1 de 6 Sin filtro Buscar

Figura A-9. Consultas de reportes y seguimientos

Fuente: Acón y Araya, 2019

### 3. Edición de datos

Los formularios de edición de datos de proyectos y reportes en apariencia son casi idénticos a los de ingreso de datos, excepto a que se debe de buscar el número de reporte o proyecto que se desea editar en el cuadro rojo en la esquina superior derecha. Para recordar al usuario de esto, se programó un cuadro automático con la indicación de utilizar el cuadro rojo para realizar la búsqueda y evitar errores. En la Figura A-10 y Figura A-11 se muestran estos dos formularios. El formulario de edición de seguimientos se muestra en la Figura A-12, el cual se asemeja al formulario de consulta de reportes ya que este facilita la edición de los seguimientos de varios reportes en un mismo formulario.

04\_Edición\_Información\_Proyectov2

**Editar información de proyecto**

**BUSQUEDA POR PROYECTO**  
Número proyecto para editar:

**ETAPA 1/3**

Número de proyecto:

Nombre de proyecto:

Nombre abreviado proy:

Director del proyecto:

Fecha de entrega sustancial:

Registro: 1 de 3 Sin filtro Buscar

Figura A-10. Edición de información de proyectos

Fuente: Acón y Araya, 2019

05\_Edición\_Reporte\_casov3

**Editar reporte**

Fotografías del reporte

**BUSQUEDA POR REPORTE**  
Número reporte para editar:

**ETAPA 2/3**

Número de proyecto:

Número de reporte:

Fecha de reporte:

Quien reporta:

Ubicación detallada:

Descripción inicial de caso:

Hipótesis inicial:

Estatus de reporte:

Clasificación de reporte:

Contratista responsable:

Incluir en la lista: Reportes relevantes

**ETAPA 3/3**

Fecha cierre de reporte:

Uniformat 2010:

Lección aprendida:

Número de reporte	Fecha de seguir	Descripción de seguimiento
1,1	07-may.-19	Seguimiento 1,1,2
1,1	07-may.-19	Seguimiento 1,1,1
* 1,1	13-may.-19	

Registro anterior   Próximo registro

Registro: 1 de 6 Sin filtro Buscar

Figura A-11. Edición de reportes de fallas

Fuente: Acón y Araya, 2019

07\_Consulta de casos

**Resumen de reportes y seguimientos** Número de reporte: 1,1

Rep	Número de proyect	Nombre proyecto	Número de reporte	Fecha de reporte	Quien reporta	Descripción inicial de caso	Estatus de r	Clasificación de i	Cont
<input type="checkbox"/>	1	Proy 1	1,1	07-may.-18	Cliente 1		Pendiente	Construcción	
<input type="checkbox"/>	2	Proy 2	2,1	07-may.-18	Cliente 2		Pendiente	Mantenimiento	
<input type="checkbox"/>	2	Proy 2	2,2	07-may.-19	Cliente 2		Pendiente	Materiales	
<input type="checkbox"/>	3	Proy 3	3,1	07-may.-17	Cliente 3		Pendiente	Administrativo	
<input type="checkbox"/>	3	Proy 3	3,2	07-may.-19	Cliente 3		Pendiente	Construcción	
<input type="checkbox"/>	3	Proy 3	3,3	07-may.-19	Cliente 3		Pendiente	Construcción	

Registro: 1 de 6

Número	Fecha de se	Descripción de seguimiento
1,1	07-may.-19	Seguimiento 1,1,2
1,1	07-may.-19	Seguimiento 1,1,1
* 1,1	13-may.-19	

Registro: 1 de 2

Figura A-12. Edición de seguimientos de reportes

Fuente: Acón y Araya, 2019

#### 4. Gráficos

Se incluyen en la base de datos varios gráficos predeterminados que analizan los reportes almacenados para brindar al usuario información rápida para analizar los datos.

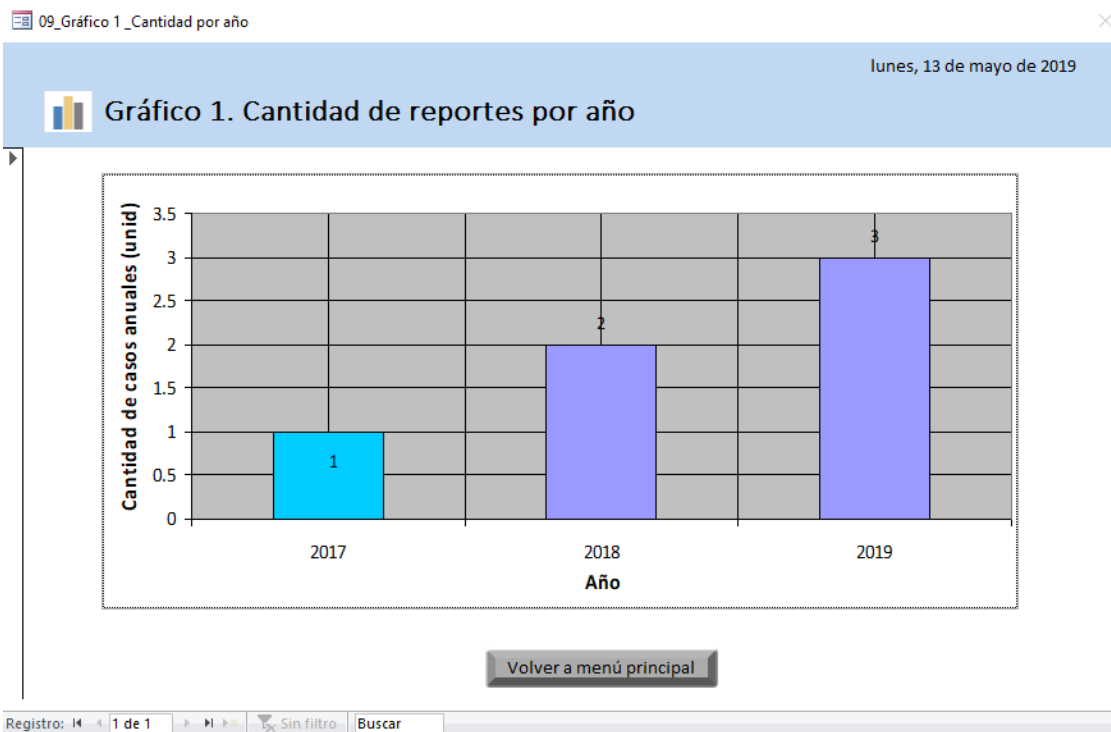


Figura A-13. Ejemplo de Grafico 1. Cantidad de reportes por año

Fuente: Acón y Araya, 2019

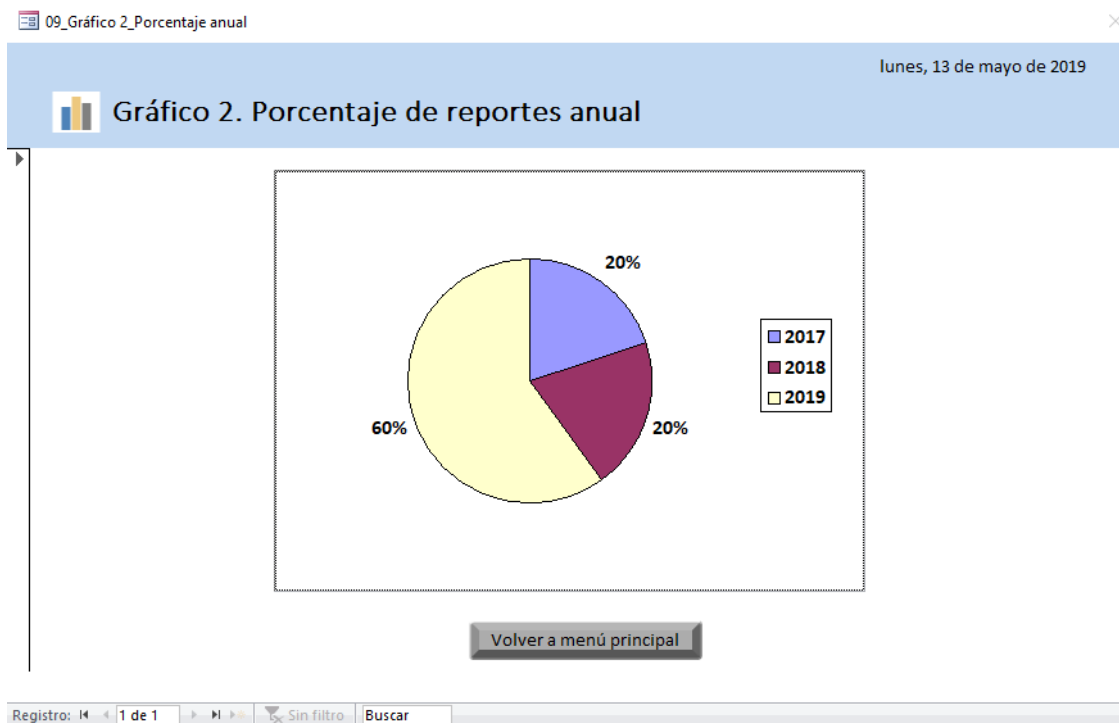


Figura A-14. Ejemplo de Grafico 2. Porcentaje de reportes anual

Fuente: Acón y Araya, 2019

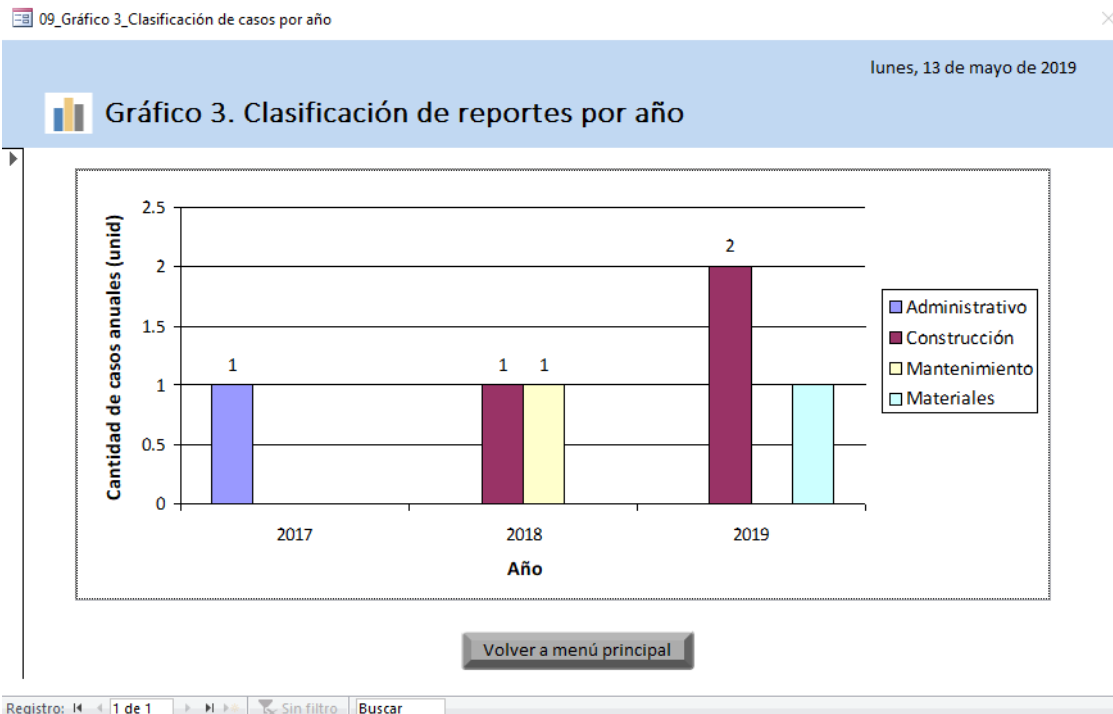


Figura A-15. Ejemplo de Grafico 3. Clasificación de reportes por año

Fuente: Acón y Araya, 2019

09\_Reportes según clasificación Unifomat

13-may.-19

### Reportes según clasificación Unifomat 2010

Código	Unifomat	Cantidad por categoría	Porcentaje por categoría
C3030	Ceiling Finishes	1	17%
C3030	Ceiling Finishes	2	33%
D1010	Elevators & Lifts	1	17%
C3020	Floor Finishes	2	33%

Volver a menú principal

Registro: 14 1 de 4 Sin filtro Buscar

Figura A-16. Ejemplo Reporte 1. Porcentaje según clasificación Unifomat 2010

Fuente: Acón y Araya, 2019

**ANEXO 2: EVALUACIÓN DE BASE DE DATOS E INTERFAZ DE USUARIO DISEÑADA**

## ENCUESTA DE USO DE HERRAMIENTA PARA LA CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS DE NO CONFORMIDAD EN MICROSOFT ACCESS

Nombre: Ingeniera a cargo de la implementación de la herramienta

Fecha de encuesta: 08 Mayo 2019

Para cada elemento identificado a continuación, rodee con un círculo el número de la derecha que considere más acorde con su criterio de calidad y satisfacción. Utilice la escala anterior para seleccionar el número de calidad.

Descripción del elemento a evaluar	Escala				
	Deficiente	Insuficiente	Regular	Bueno	Excelente
1. Facilidad del ingreso de datos	1	2	3	4	5
2. Facilidad de la consulta de datos	1	2	3	4	5
3. Facilidad de la edición de datos	1	2	3	4	5
4. Facilidad de uso en general	1	2	3	4	5
5. Rapidez de respuesta	1	2	3	4	5
6. Lógica de los menús y botones	1	2	3	4	5
7. Diseño agradable al usuario	1	2	3	4	5
8. Eficiencia de la herramienta	1	2	3	4	5
9. Cumple con el objetivo establecido	1	2	3	4	5
10. Utilidad para la empresa	1	2	3	4	5

Descripción del elemento a evaluar	Escala				
	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Indeciso	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
11. La herramienta permite ingresar y procesar la información que considera relevante.	1	2	3	4	5

12. Oportunidades de mejora detectadas:

Generar cuadros resumen con los relevantes que se vean todos los seguimientos.

13. Observaciones adicionales:

Tratar de que cuando se pasa a una pantalla más grande se agrande también.

14. Recomendaría el uso de esta herramienta a otra empresa

SI

NO