



UNIVERSIDAD  
DE LA FRONTERA

Facultad  
de Ingeniería  
& Ciencias







Somos una Universidad y una Facultad que, a nivel nacional e internacional, se ubica actualmente en un sitio destacado. En este posicionamiento, la investigación básica y aplicada que hemos venido desarrollando es un pilar fundamental y desde su creación, esta revista de Ingeniería de Obras Civiles (RIOC) ha sido fundamental y da cuenta de una de las áreas de estudios que aportan a la sociedad mejorando la calidad de vida de nuestra región y país: la construcción del siglo XXI.

Hoy, vemos como todo este desarrollo científico-tecnológico que se gesta bajo el alero del Departamento de Ingenierías de Obras Civiles de nuestra Universidad tiene una importante componente también de colaboración con actores externos, vinculación con el medio que ha enriquecido nuestro quehacer como institución.

Es así, como en su octava edición, RIOC nos presenta trabajos de investigación que se están desarrollando en otros países, con problemáticas que en Chile y en la Universidad de La Frontera también son materia de estudio y que sin duda marcan tendencia en nuestros futuros profesionales.

En este escenario globalizado, de nuevas tecnologías y de colaboración en áreas consideradas como estratégicas para el desarrollo y crecimiento de nuestra región y país, nos levantamos hoy día, compromiso institucional que es promovido a través de esta revista.

**Dr. Asticio Vargas Vásquez**  
**Director de Postgrado e Investigación**  
**Facultad de Ingeniería y Ciencias**  
**Universidad de La Frontera**



RIOC es una revista de carácter científico - tecnológico que proporciona un foro nacional e internacional para la difusión de la investigación y desarrollo en todos los ámbitos relacionados con la construcción, entendiéndose áreas como materiales de construcción, ciencias de la ingeniería aplicada, arquitectura, edificación, obras civiles, gestión de proyectos, entre otras.

En un momento en que existe una gran necesidad en todos los profesionales del área de la construcción por estar continuamente actualizados, para optimizar el uso de recursos, utilizar nuevas tecnologías que sean sustentables y eficientes, y a su vez, emplear nuevos métodos de construcción y materiales, RIOCI proporciona un espacio para compartir y divulgar conocimientos, de manera tal, de abrir la discusión en estas temáticas planteadas, entregando información esencial que ayudará a mejorar la eficiencia, la productividad y la competitividad en los profesionales del área de la construcción. Por lo tanto, es una lectura esencial para proporcionar a los profesionales del área, académicos y alumnos que trabajan e investigan en este campo, un material de discusión que renueve y actualice sus conocimientos.

En este contexto, RIOCI hace extensiva la invitación a todos los interesados a publicar sus artículos con la finalidad de divulgar la producción científica - tecnológica de académicos, investigadores, profesionales y estudiantes en temas relacionados con el desarrollo del área de la construcción.

**Comité Editorial Asociado**  
**Revista Ingeniería de Obras Civiles**  
**Universidad de La Frontera**



UNIVERSIDAD  
DE LA FRONTERA  
Departamento de  
Ingeniería de Obras Civiles  
Facultad de Ingeniería  
& Ciencias



Director  
Gonzalo Valdés

Editora Responsable  
Viviana Letelier

Editores de Producción  
Camila Parodi  
Daphne Bormann  
Javier Vidal  
Leonardo Sierra

Revista Ingeniería de Obras Civiles

Avda. Francisco Salazar 01145,  
Temuco,  
Región de La Araucanía,  
Chile.

Departamento de  
Ingeniería de Obras Civiles,  
Universidad de La Frontera.

Fono:  
+ 56 (45) 2325680

Fax:  
+56 (45) 2325688

Correo Electrónico:  
rioc@ufrontera.cl

## Comité Editorial

Ph.D Pedro Muñoz  
Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chile, Talca, Chile.

Ph.D. Alejandra Calabi  
Departamento Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de La  
Frontera, Temuco, Chile.

Ph.D. Tatiana Amaral  
Universidade Federal de Goiás, Jataí, Brasil.

Ph.D. Adriana Martínez  
Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio,  
Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

MSc. Carlos Andrés Aguirre  
Escuela de Construcción Civil, Universidad de Las Américas, Santiago,  
Chile.

Ph.D. Oscar Link  
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción,  
Concepción, Chile.

Ph.D. Galo Valdebenito  
Instituto de Obras Civiles, Universidad Austral, Valdivia, Chile.

Ph.D. Gonzalo Valdés  
Departamento Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de La  
Frontera, Temuco, Chile.

Ph.D. Mario Salazar  
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana, Morelia,  
México.

Ph.D. Oscar Reyes  
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Militar Nueva Granada,  
Bogotá, Colombia.

PhD. Ramón Botella  
Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio,  
Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

Ph.D. Virginia Vásquez  
Departamento de Arquitectura, Universidad Austral, Valdivia, Chile.



## Sumario

07.            Diseño de mezcla asfáltica con  
                  materiales de desecho.  
                  Hot mix asphalt design with  
                  waste material.  
                  *Rafael Villegas, Jose Aguiar,  
                  Luis Loria.*
19.            Water Hammer and Column Separation  
                  due to Pump Shutdown.  
                  Golpe de Ariete y Separación de la  
                  Columna Debido al Apagado de la Bomba  
                  *John Twyman.*
29.            La fiducia mercantil inmobiliaria en el  
                  sector de la construcción en Colombia.  
                  The real estate mercantile fiducia in the  
                  construction sector in Colombia.  
                  *Edgar Monroy, Cristina Barón.*
34.            Mejora de la interfaz diseño-construcción  
                  en la ciudad de Loja.  
                  Improving of the interface design-  
                  construction in Loja city.  
                  *Leonardo Pacheco, Lorena Alvarado.*



# Diseño de mezcla asfáltica con materiales de desecho

## Hot mix asphalt design with waste materials

Rafael Villegas<sup>1</sup>, Jose Aguiar<sup>1</sup>, Luis Loria<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Costa Rica, LanammeUCR, Ciudad de la investigación, San Pedro Montes de Oca, Costa Rica  
rafael.villegas@ucr.ac.cr, teléfono: + 50 6 25112741

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historial del  
artículo:

Recibido  
01-05-2017  
Aceptado  
15-01-2018  
Publicado  
28-02-2018

Palabras Clave:  
Asfalto modificado  
Reciclaje  
Materiales de  
desecho  
Análisis físico-  
químico

Article history:

Received  
01-05-2017  
Accepted  
15-01-2018  
Available  
28-02-2018

Keywords:  
Modified asphalt  
Asphalt mixture  
Recycling  
Waste materials  
Physicochemical  
analysis

### Resumen

Existe a nivel mundial una problemática cada vez más seria y radica en las grandes dificultades en la gestión de los residuos no biodegradables que provienen de la Industria.

Costa Rica posee el 5% de la biodiversidad del mundo, lo cual hace de esto una industria turística masiva y rentable para el país que hay que salvaguardar. Un método factible de tratar los materiales de desecho es el uso de los mismos en mezcla asfáltica. Como parte de esta investigación, bolsas de polietileno, polipropileno y bumper de coches se han evaluado como posibles modificadores de asfalto. El proceso de homogeneización de estos residuos dentro de la matriz de bitumen se evaluó por medio de Microscopía de Fuerza Atómica (AFM). Las propiedades de los modificantes se evaluaron mediante análisis físico-químico, y el desempeño del modificado se analizó por medio de deformación permanente y fatiga (DSR).

Para la mezcla asfáltica se realizaron ensayos de deformación permanente con el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA), se verificó la rigidez de la mezcla mediante el Módulo Resiliente a la Tensión Indirecta y se estudió la resistencia al daño por humedad con base en la Resistencia Retenida a la Tensión Diametral. Se pudo determinar cuantitativamente que el material de desecho beneficia el comportamiento del asfalto, y de la mezcla asfáltica, principalmente aportando a la resistencia a la deformación permanente y al daño por humedad. El aporte en cuanto a fatiga no fue significativo. Sin embargo, el modificador no generó un efecto negativo en ninguno de los parámetros analizados.

### Abstract

Non-biodegradable waste management is a current problem affecting society in many ways. A reliable method to manage waste products is to incorporate them on an asphalt mixture. Therefore, this study proposes the use of polyethylene and polypropylene bags, as well as waste car bumpers, as asphalt additives. The homogeneity of the resulting asphalts was measured by means of Atomic Force Microscopy. Additionally, physicochemical analysis and rheological evaluation of modified binders, in terms of permanent deformation and fatigue resistance, were obtained. Mechanical properties of hot-asphalt mixture produced with the modified binders were tested by means of Asphalt Pavement Analyzer, Indirect Tensile Test and Tensile Stress Ratio. The results showed that the waste materials quantitatively improve the performance of the asphalt binder and the asphalt mixture. The additives increased the permanent deformation and moisture damage resistance of the binder. On the other hand, fatigue resistance was not significantly improved. However, the additives do not reduce the initial binder performance, according to the analyzed parameters. This study helps advancing the use of alternative materials for binder modification that might significantly improve the mechanical properties of asphalt mixtures.



## 1. Introducción.

El alto costo de los combustibles hacen que estos subproductos de la refinación del crudo sean los más apetecidos por dicha industria, esto incide directamente en que los procesos de refinación sean cada vez más eficientes, degradando la calidad de los asfaltos. Por tal motivo, se requiere del uso de asfaltos modificados y mezclas no convencionales, con el fin de desarrollar pavimentos idóneos con un mejor desempeño a la deformación permanente y a la fatiga.

La experiencia de la modificación del asfalto con materiales de desecho es poca, con excepción de ciertos polímeros reciclados y comerciales [1,2]. Estos últimos cuentan con estudios que dan soporte a mejoras específicas que se buscan en el asfalto. Por lo general, lo que se espera es un aumento en la resistencia a la deformación permanente, a la fatiga y/o al daño por humedad, además de reducir la susceptibilidad térmica [3].

El comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas depende de las propiedades, composición y características del polímero a utilizar [4]. Por tanto, el objetivo principal de modificar el asfalto es mejorar las propiedades mecánicas bajo las condiciones de servicio a las que este estará sometido (temperatura, clima, zona geográfica y tipo de tráfico). De esta manera, se busca diseñar materiales resistentes a los esfuerzos de tensión, corte y a la deformación, generando que los mismos se desempeñen apropiadamente y presenten una mayor vida útil de servicio.

Considerando que la modificación de asfaltos es una práctica cada vez más común, es de interés identificar si la modificación puede ser realizada mediante el uso de materiales que pueden presentar un impacto ambiental severo debido a razones como contaminación o dificultad de desecho. Para el caso de Costa Rica, algunos candidatos son el bumper de automóviles, el polipropileno y polietileno para el empaque de banano. Es de resaltar que debido a las políticas país, cada vez más los desechos se vuelven en aliados para el aporte en la ciencia y tecnología, debido a una creciente preocupación de la

ciudadanía por analizar como reutilizarlos y reciclarlos [5]. Con esta investigación se pretende darles un mejor uso, para así evitar su degradación y reducir las emisiones de gases contaminantes.

## 2. Metodología de análisis.

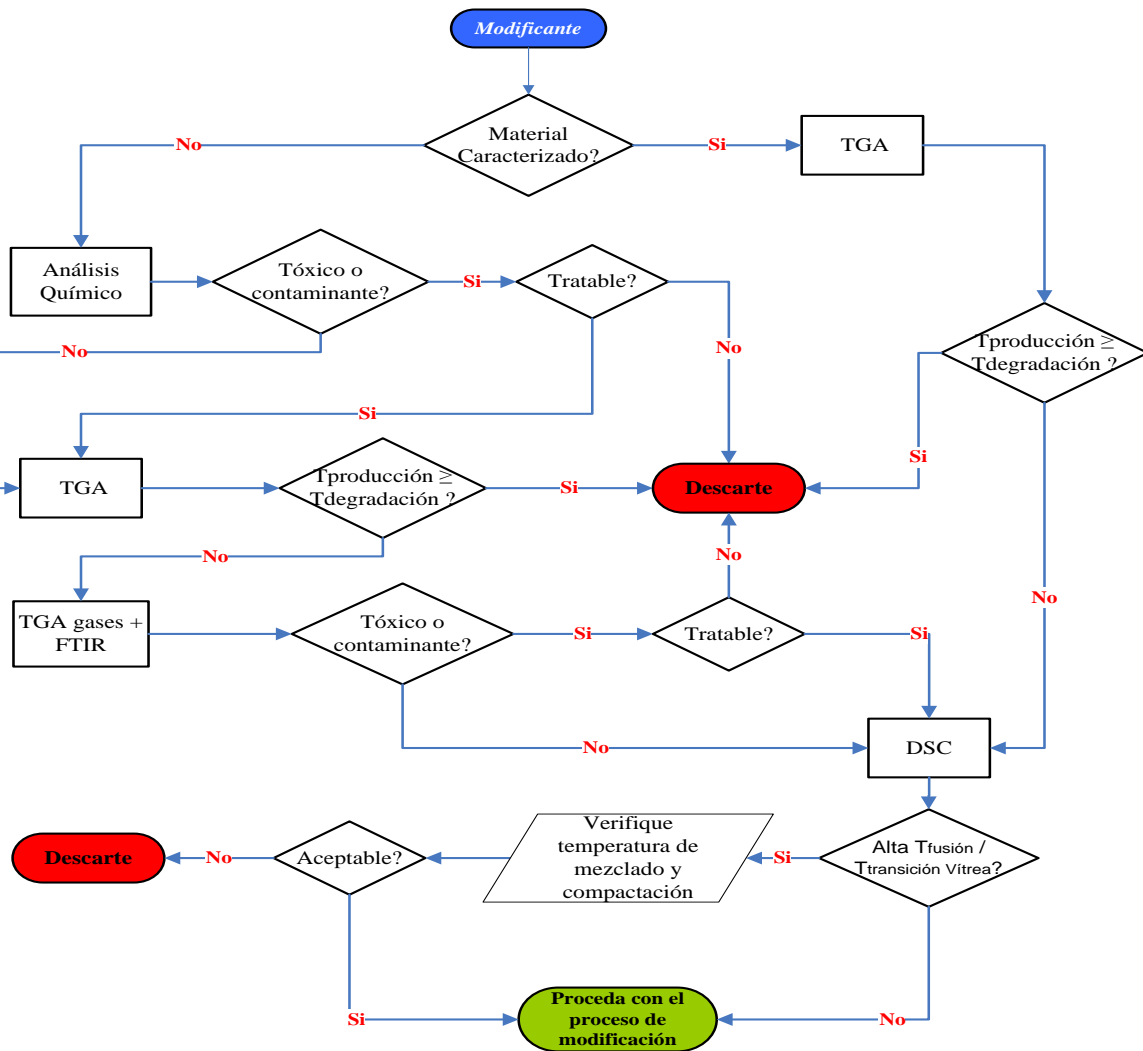
Es importante concebir este proyecto desde varias aristas, las cuales le brindan un alto grado de integralidad no sólo de desempeño en la obra, si no de diversos elementos asociados. En primer lugar el mejoramiento en las propiedades de la mezcla asfáltica. Por otro lado el impacto ambiental y social, el cual se ve plasmado no sólo por el manejo de los desechos a utilizar, sino también por la culturización de la población en la separación de dichos desechos para la construcción de la obra. Por último, el impacto económico que pudiera favorecer la economía del proyecto también es fundamental. La siguiente metodología se centra sobre el componente de viabilidad técnica del proyecto.

### 2.1 Análisis del modificante.

En todo proceso de modificación de asfaltos y mezclas asfálticas es de suma importancia el analizar el material a utilizar como modificante, máxime si este es un material de desecho. La pertinencia de analizar el material modificante radica en el control que se tiene del mismo en cuanto a composición química, homogeneidad, toxicidad, temperatura de degradación, temperatura de fusión o de otro tipo de transiciones. Este tipo de análisis se realizó bajo la metodología descrita en la **Figura 1**.

La importancia fundamental de la identificación de la naturaleza del polímero y de sus propiedades fisicoquímicas radica en que se tiene mejor control del proceso de modificación, se conoce su homogeneidad, se tiene certeza si es el producto ofrecido por el vendedor, además de corroborar la factibilidad de modificar el asfalto con este material. En la **Figura 2** se presenta el caso del polietileno a manera de ejemplo.





**Tproducción:** Temperatura a la cual se produce la mezcla asfáltica, **Tdegradación:** Temperatura a la cual el polímero se degrada, **T fusión:** Temperatura a la cual el polímero funde y es más fácil su incorporación al asfalto, **Ttransición vítrea:** Temperatura a la cual las propiedades mecánicas de un plástico / adhesivo cambian radicalmente debido a los movimientos internos de las cadenas poliméricas.

Figura 1. Metodología Integral de Incorporación de Modificantes en Matrices Asfálticas

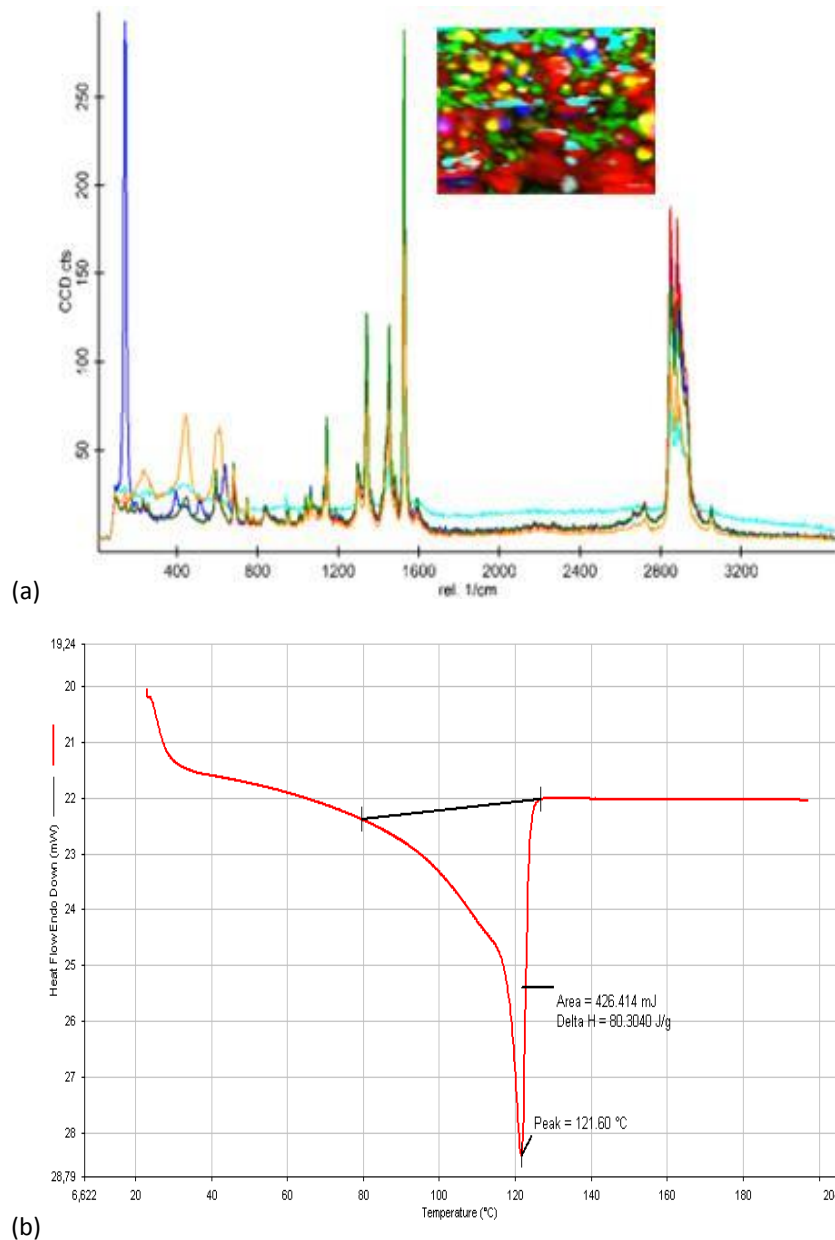


Figura 2. (a) Espectro Raman y (b) Análisis DSC.

El Análisis Raman de las bolsas plásticas muestra la composición química del material, en este caso el polietileno es de alta densidad, el cuadro de colores inscrito en el espectro (**Figura 2a**), por su diversidad de colores indica que el material analizado es heterogéneo, es decir presenta otros tipos de polímeros que no son polietileno de alta densidad o cabe la posibilidad de que exista una degradación de dicho material. En el caso del análisis de DSC, Calorimetría de Barrido Diferencial, (**Figura 2b**) se observa por la apertura del termograma en el intervalo de fusión

que el material es heterogéneo. Por otro lado se puede verificar que la temperatura de fusión de la muestra es de 121°C, dato importante a considerar en el proceso de modificación asfáltica y que es un parámetro de identificación de la muestra. En cuanto al Análisis de TGA (Análisis Termogravimétrico) se observa que la temperatura de degradación del polietileno es de aproximadamente 400°C, la cual está por encima del proceso de modificación y de la preparación de la mezcla asfáltica.

## 2.2 Análisis del Ligante Asfáltico.

Es importante optimizar el porcentaje de polímero a utilizar de acuerdo a las exigencias del proyecto de carretera, pues un porcentaje bajo de polímero eventualmente podría no alcanzar los parámetros deseados y un alto contenido del mismo podría elevar los costos de producción o causar un efecto nocivo en el producto final. Por otro lado unas condiciones extremas de tiempo y temperatura de modificación facilitan que el asfalto se envejezca u oxide, por eso resulta importante cerciorarse que estos procesos no sean favorecidos. Entre los análisis opcionales tenemos la Microscopia de Fuerza Atómica (AFM) (**Figura 3a**) y el Análisis Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) (**Figura 3b**). Estos ensayos se les denominan opcionales, pues gran cantidad de laboratorios de carreteras no los poseen. Estos análisis dan información de peso en el proceso de elección de asfaltos modificados, en el caso del FTIR (propiedades de

identificación de polímeros cambios en la composición química del asfalto, relacionados con fenómenos como oxidación). El AFM brinda información de la morfología, adherencia y el módulo del material.

La **Figura 3a** AFM del polietileno en la matriz asfáltica muestra la forma en que el material se incorpora, en donde se puede apreciar que su estructura dentro del asfalto es de tipo vascular. Por otro lado en el análisis de FTIR del asfalto en estado oxidado (**Figura 3b**) muestra los picos característicos de carbonilos y sulfóxidos propios de dicho proceso. El FTIR se puede determinar si el asfalto está sufriendo cambios de envejecimiento importantes durante la modificación por motivos de temperatura, tiempo de modificación y características propias de la composición química del asfalto. Lo que conlleva a buscar el uso de agentes que reduzcan las temperaturas de mezclado y compactación del material.

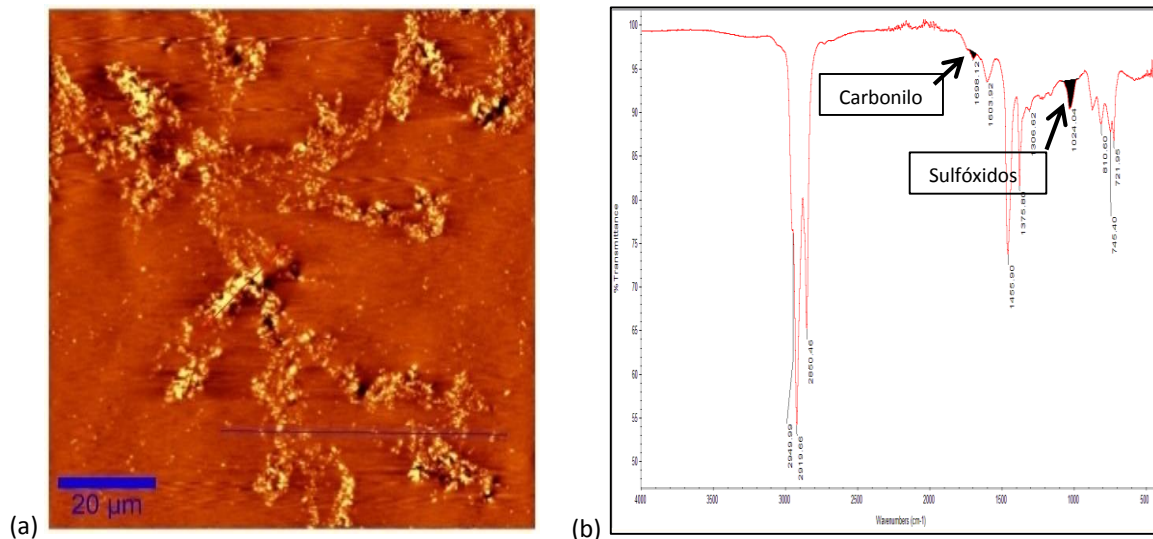


Figura 3. (a) Imagen AFM de polietileno en la matriz asfáltica, (b) Análisis FTIR asfalto oxidado.

## 3. Análisis del Asfalto Modificado. (Vía Seca)

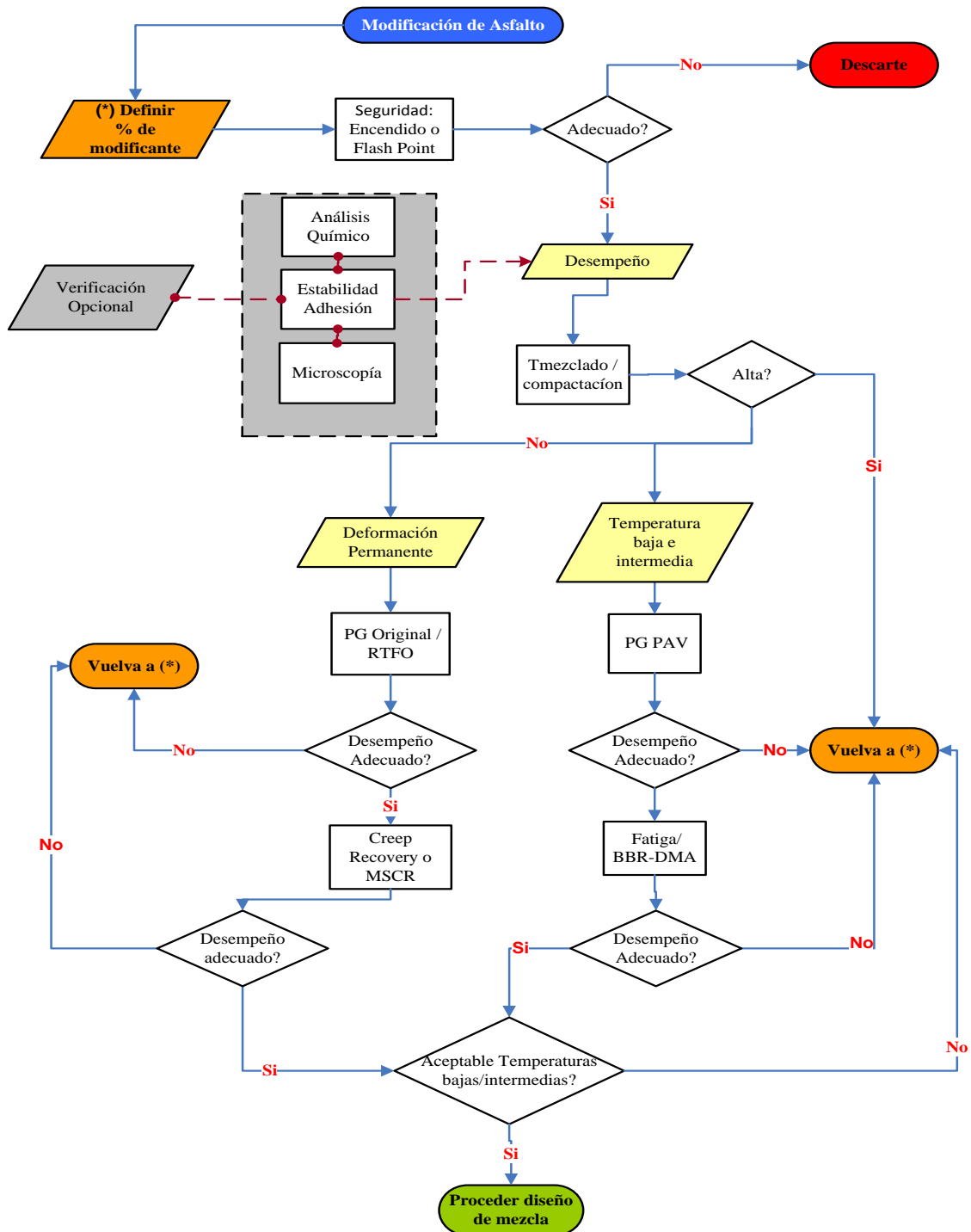
Para el método vía seca se presentan las siguientes recomendaciones:

1. Utilizar el menor tamaño de partícula del modificante como sea posible. Esto evitara complicaciones como heterogeneidad y segregaciones de dicho material en la matriz de la mezcla asfáltica.
2. Homogenizar el modificante con los agregados antes de la preparación de la mezcla asfáltica.

3. Establecer según el estudio del modificante la temperatura y el tiempo de mezclado.
4. Siempre realizar un diseño de mezcla y probar los valores del mismo con ensayos de laboratorio.

## 4. Análisis del Asfalto Modificado. (Vía Húmeda)

Es el método que brindó mejor desempeño tanto del asfalto como de la mezcla asfáltica. Al igual que al modificante, el asfalto modificado debe diseñarse y efectuarse al mismo tiempo un control de calidad. En la **Figura 4** se presenta la metodología sugerida para dicho fin.



RTFO: Rolling Thin-Film Oven, PAV: Pressure Aging Vessel, MSCR: Multiple Stress Creep Recovery, BBR: Bending Beam Rheometer y DMA: Dynamic mechanical analysis.

Figura 4. Metodología Integral de Incorporación de Modificantes en Matrices Asfálticas.

#### 4.1 Preparación de los materiales de desecho.

El bumper se debe triturar en un equipo especializado para reducir el tamaño de partícula. Como tamaño máximo de partícula se debe utilizar la malla N°16, tomando en consideración según la experiencia adquirida, pero es importante tener presente que entre menor sea el tamaño de partícula del modificante, mayor es la eficiencia en la incorporación del asfalto. El polipropileno utilizado corresponde a fibras finas por lo que no requiere de preparación adicional y el polietileno debe ser cortado en pedazos de un diámetro máximo de 4 cm de lado.

Los porcentajes de polímero utilizado se presentan con base en la relación masa/masa, por peso de asfalto. Considerando la trabajabilidad y apariencia del asfalto modificado, el contenido óptimo de los materiales de desecho para modificar un asfalto PG64-22 (AC-30) de uso común en Costa Rica fue de 2% para el bumper, 3% para el polietileno y 1.5% para el polipropileno.

##### 4.1.1 Ensayos de Reología para Asfalto.

La importancia de la reología en los asfaltos radica en el hecho de poder predecir el comportamiento de estos en servicio. Por otro lado es fundamental para el diseño de los ligantes según las especificaciones del proyecto basado en la carga vehicular, la frecuencia de la carga y la temperatura de la carpeta asfáltica. La **Tabla 1** muestra los resultados de los ensayos reológicos de los asfaltos modificados con los contenidos óptimos de material de desecho, cabe recalcar que la temperatura intermedia es medida directamente en el reómetro dinámico de cortante, con la geometría de 8mm [6,7]. Para las temperaturas bajas las mediciones fueron realizadas con el Reómetro de Viga a Flexión (BBR) [8,9].

**Tabla 1.** PG Alto e Intermedio y baja del Asfalto Original y Modificado.

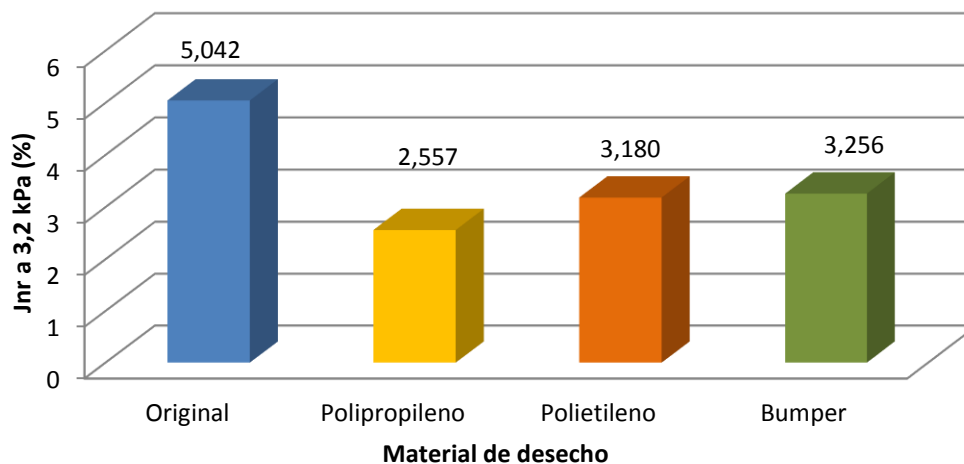
Asfalto	Temperatura alta (DSR)	Temperatura intermedia (DSR)	Temperatura baja (BBR)
Original	64	25	-22
1,5% Polipropileno	70	28	-22
3% Polietileno	70	25	-22
2,0% Bumper	76	25	-22

Como se puede observar el asfalto original cumple con la especificación únicamente para una temperatura de 64°C en el asfalto sin envejecer y envejecido en RTFO. Al ángulo de fase ( $\delta$ ) menor el  $G^*/\text{sen}\delta$  incrementa, es decir, existe aporte del componente elástico.

Como se observa en la **Tabla 1**, la temperatura intermedia que cumple con la especificación Superpave, para el asfalto original corresponde a 25°C. Para el asfalto modificado con bumper la temperatura intermedia es de 25°C y para el polipropileno 28°C.

##### 4.1.2 Resultados de Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) en el Asfalto.

La **Figura 5** muestra la relación entre la deformación no recuperable como función del tiempo y el esfuerzo aplicado ( $J_{nr}$ ), lo que hace esperar que entre más bajo sea el valor de  $J_{nr}$ , menor va a ser la deformación permanente al aplicar una carga. Por lo tanto, el polipropileno presenta mejores resultados en comparación con el asfalto original y los asfaltos modificados con polietileno y bumper.



**Figura 5.** Compliance de ligante asfáltico a 64 °C.

## 5. Verificación de Desempeño en Mezcla Asfáltica.

El aporte de los polímeros como agentes modificantes se cuantifica mediante ensayos de desempeño, el cual indica el comportamiento y propiedades de las mezclas asfálticas modificadas [3,10,11].

Para evaluar el efecto del modificante en la mezcla asfáltica, se escogió una mezcla densa fina con tamaño máximo nominal de 12.5 mm de uso típico en Costa Rica. La curva granulométrica se muestra en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Curva Granulométrica del Agregado.

Tamiz (US)	Tamiz (mm)	%Pasando
3/4"	19,0	100,0
1/2"	12,5	95,4
3/8"	9,5	78,3
N° 4	4,75	43,3
N° 8	2,36	28,9
N° 16	1,18	20,0
N° 30	0,600	14,8
N° 50	0,300	10,9
N° 100	0,150	8,0
N° 200	0,075	5,8

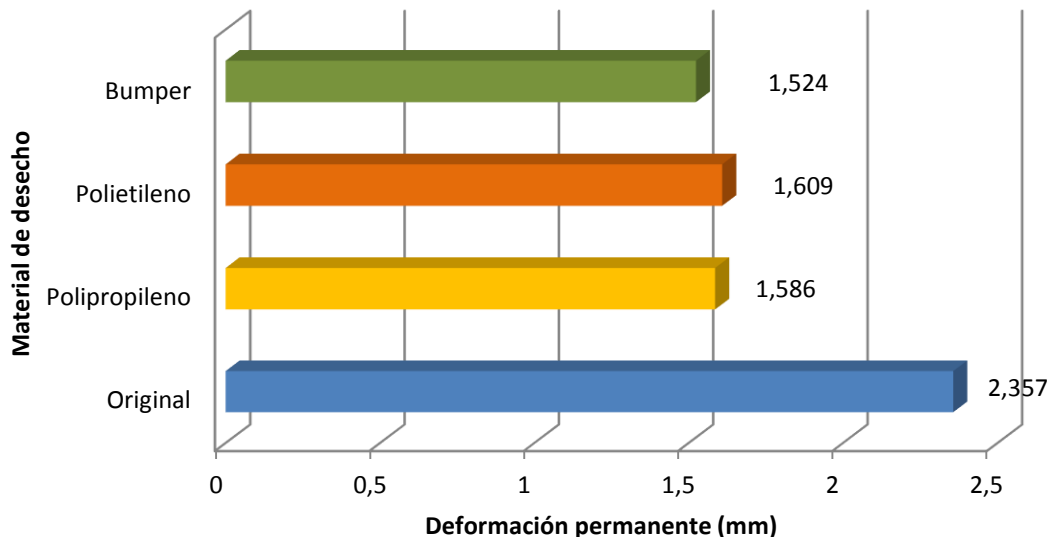
El contenido de asfalto fue diseñado para cada mezcla. Según los resultados obtenidos de la volumetría, el porcentaje de asfalto

óptimo para la mezcla con asfalto original es de un 7,49%, para el polipropileno es de un 7,41%, para el bumper es de un 7,09% y para el polietileno de un 6,6%,(se presenta una reducción en el contenido óptimo de asfalto al incluir el material de desecho). Cabe mencionar que al utilizar estos porcentajes se cumple con todos los requisitos volumétricos establecidos por Superpave, para carreteras de alto tránsito. Por otro lado, la densidad y gravedad específica para cada uno de los asfaltos modificados, en comparación con el asfalto original, son muy similares. Los ensayos de desempeño realizados y sus respectivos resultados se detallan a continuación:

### 5.1 Analizador de Pavimentos Asfálticos. (APA)

Determina la susceptibilidad a la deformación permanente de las mezclas asfálticas, además de distinguir cuál de ellas sufren una mayor deformación. Las muestras de mezcla asfáltica son sometidas a 8000 ciclos de carga bajo una presión, de 100 psi y una carga aplicada de 100 lb. Esto simula la fuerza del eje y la presión de la llanta, de un vehículo, ejercidas en un pavimento. Este ensayo se encuentra bajo la norma AASHTO TP 63.

En la **Figura 6** se puede observar la deformación permanente final para cada condición, con base en el resultado promedio para 6 especímenes de cada mezcla asfáltica.



**Figura 6.** Resultados APA para mezcla asfáltica modificada con material de desecho.

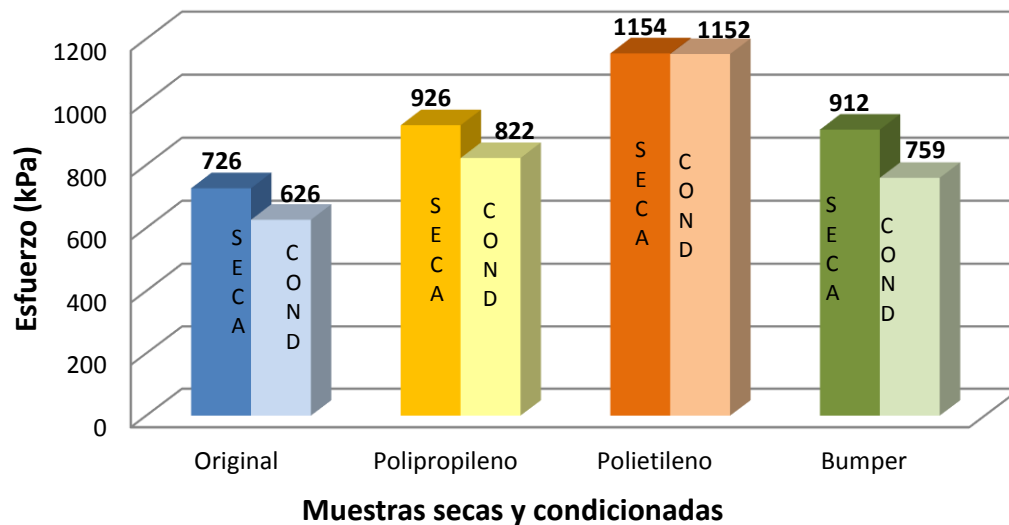
Visualmente, se puede apreciar una notable reducción en la deformación permanente en las mezclas asfálticas modificadas con respecto a la mezcla asfáltica de control. Es decir, la incorporación de los materiales de desecho al asfalto cumple la función de rigidizar la mezcla asfáltica y de esta manera aumentar la capacidad de respuesta de los especímenes modificados ante la carga aplicada en el ensayo y tiene concordancia con los parámetros reológicos anteriormente medidos al asfalto original como a los modificados.

Según los requisitos establecidos para mezclas asfálticas en Costa Rica [12], las tres mezclas anteriores se designan tipo C, puesto que la deformación plástica luego de 8000 ciclos de carga a 60 °C debe ser  $\leq 3,00$  mm, según lo indicado en la norma AASHTO T340. Por tanto las mezclas modificadas con materiales de desecho pueden ser consideradas para uso en capas de rodadura donde se puede presentar problemas de deformación permanente.

### 5.2 Resistencia Retenida a la Tensión Diametral.

Este ensayo se determina mediante la norma AASHTO T283, la cual indica la resistencia diametral de la mezcla asfáltica compactada tras estar sujeta a los efectos de la saturación con agua. Busca determinar el daño potencial por humedad en la mezcla asfáltica ya colocada y pretende predecir el desnudamiento a largo plazo de las mezclas asfálticas. Para el ensayo se dividen los especímenes en subgrupos secos (control) y acondicionados. Estos últimos se colocarán en un baño de agua a 60 °C durante 24 horas y el daño potencial por humedad se obtiene mediante la relación de resistencias entre el subgrupo de control y el subgrupo de acondicionados. Esta resistencia se determina mediante la falla a la tensión diametral de cada subgrupo.

En la **Figura 7** se detallan los resultados de la falla a la tensión diametral para especímenes secos y acondicionados de las diferentes mezclas.



**Figura 7.** Falla a la tensión diametral para mezcla asfáltica modificada con material de desecho.

Como se aprecia, los especímenes secos y acondicionados en estado modificado tienden a aumentar su capacidad de respuesta ante los esfuerzos aplicados en relación a los especímenes con asfalto original, debido a la incorporación de los agentes modificantes. Como es de esperarse, las tres mezclas asfálticas acondicionadas disminuyen su capacidad de resistencia a los esfuerzos de tensión, pues el agua está induciendo un deterioro a nivel de adhesión asfalto-agregado y posiblemente a nivel de cohesión interna del mastic asfáltico.

Según el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes [12], la resistencia a la tensión diametral a 25 °C en especímenes secos debe ser mayor o igual a 700 kPa, lo cual se cumple satisfactoriamente en las muestras. Otro parámetro requerido por la especificación es el porcentaje de la resistencia retenida a la tensión diametral, el cual debe ser mayor al 85%. La resistencia retenida busca garantizar que la mezcla asfáltica no se degrade considerablemente en presencia de humedad. La **Figura 8** presenta los resultados de resistencia retenida.

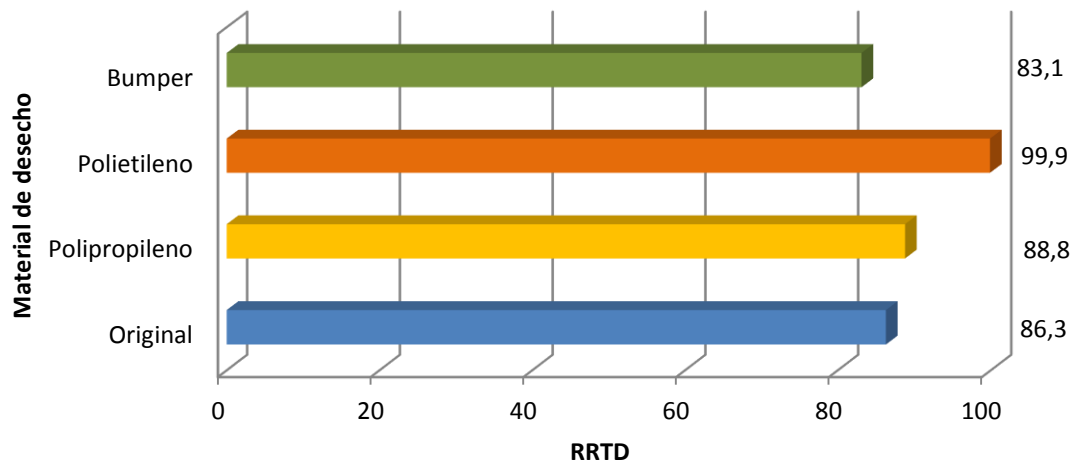


Figura 8. Resistencia retenida para mezcla modificada con material de desecho.

La mezcla asfáltica sin modificar y la modificada con polipropileno sobrepasan la especificación de resistencia retenida. Por su parte, la mezcla asfáltica con bumper, presenta un porcentaje de 83,1 %, encontrándose por debajo de la condición mencionada. Por lo tanto, el bumper está afectando el trabajo de adhesión asfalto-agregado de manera que la humectabilidad del agregado se ve reducida. Lo contrario ocurre con el polipropileno y el polietileno que demuestran un aumento en la resistencia al daño por humedad.

### 5.3 Módulo Resiliente a Tensión Diametral.

Este ensayo lo cubre la norma AASHTO TP 31 y determina los valores del módulo resiliente mediante la aplicación de cargas repetidas a tensión indirecta. Este parámetro es de gran utilidad a la hora de verificar la calidad y representación de la capacidad

de soporte de los materiales de fundación del pavimento, con el fin de diseñar, evaluar y caracterizar el estado de las capas de pavimento. La prueba se realiza en especímenes secos y acondicionados de la misma manera que el ensayo de tensión diametral. Las mezclas fueron aclimatadas a una temperatura de 25 °C y se sometieron a una carga haversiana (10% tiempo de carga y 90% tiempo de recuperación) con una frecuencia de carga de 10 Hz. Transcurrido el proceso, las mezclas fallan a tensión diametral.

Como se puede observar, en la **Figura 9** se corrobora el incremento en resistencia ante esfuerzos, dado el aumento del módulo resiliente del material modificado con respecto a la mezcla asfáltica con asfalto original.

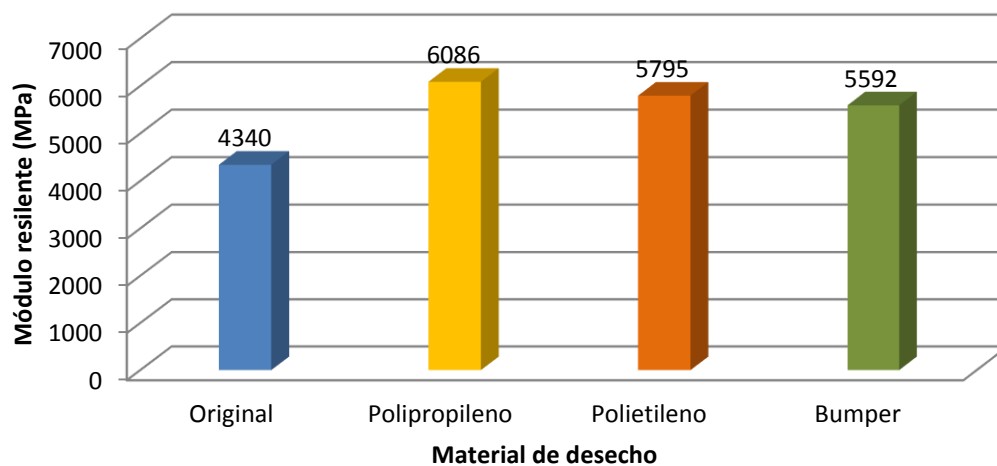


Figura 9. Módulo resiliente a 25 °C y 10 Hz para mezcla modificada con material de desecho.





## 6. Análisis de costos de modificación con polímeros.

En Costa Rica el costo por utilización de mezcla producida con asfalto modificado es aproximadamente \$20 USD / Tonelada mayor que la mezcla sin modificar [13]. Si se calcula una producción de 500 toneladas diarias, el incremento en los costos sería de \$10.000 USD por día. En el caso de que el material a utilizar no tenga ningún valor económico, el costo adicional está dado por concepto de molienda del mismo.

## 7. Conclusiones.

Desde el punto de vista de sostenibilidad el proyecto genera grandes influencias en diversas áreas de interés. En cuanto al área ecológica, el proyecto no sólo recicla los materiales involucrados en el proceso de modificación, si no también evita que estos materiales de desecho se depositen en lugares ecológicamente sensibles, como mantos acuíferos. Desde el punto de vista social, el proyecto promueve la recolección de desechos sólidos, utilizables en la modificación de asfaltos. Promueve la creación de centros de acopio y procesamiento de desechos como material modificante, lo cual brindaría fuentes de trabajo. En cuanto a lo económico, reduce el costo en obra, pues el costo de algunos polímeros comerciales es alto.

Por otro lado y de acuerdo al desempeño de estos materiales, todos estos estudios nos permiten realizar ingeniería de materiales en el asfalto puesto que teóricamente se puede llegar a modificar el mismo hasta alcanzar propiedades deseada. No obstante, para poder realizar dicha tarea, es fundamental conocer en detalle las características, el comportamiento del asfalto y sus modificantes para poder entonces producir los cambios en la estructura del modificante y poder cambiar sus propiedades según sean los requisitos de desempeño del proyecto.

Esta metodología permite evidenciar los cambios ocurridos en el asfalto modificado con el polímero y su interpretación clarifica la existencia de una mejora significativa en las propiedades requeridas del material.

Los análisis térmicos (TGA y DSC) ayudan a discernir el comportamiento de los polímeros durante su incorporación al asfalto, y proveen información de cuál será su desempeño en servicio.

El incremento en el grado PG desde el punto de vista de resistencia al ahuellamiento, elevó las posibilidades de uso del asfalto sin modificar, al de uno capaz de soportar tráfico pesado y altos volúmenes de tránsito.

La metodología de análisis utilizada va en función no solo de un mejor proceso productivo de los asfaltos modificados, si no que da una explicación exhaustiva a los parámetros reológicos obtenidos, los cuales permiten predecir cómo se comportará el asfalto modificado bajo sus distintas condiciones de servicio en campo. Este desarrollo empleado busca disminuir el uso de técnicas y ensayos empíricos con las cuales los asfaltos modificados se han caracterizado históricamente, tratando de cuantificar y evidenciar el comportamiento de los materiales de forma reproducible.

## 8. Referencias.

- [1] López, S, & Veloz, Y. (2013). "Análisis comparativo de mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBR y SBS, con agregados provenientes de la cantera de Guayllabamba". Tesis para optar por el grado de Licenciatura. Sangolqui: Escuela Politécnica del Ejército.
- [2] Wulf Rodríguez, Fernando. "Análisis de pavimento asfáltico con polímero". Tesis para optar por el grado de Ingeniero Constructor. Valdivia, 2010.
- [3] Villegas, R.E., Loria, L.G., Aguiar, J.P., Leiva, F., Salazar, J., & Navas, A. "Uso de materiales de desecho como modificantes de asfalto en Costa Rica", 2012.
- [4] Cruz, L.M., & Porras, A. "El efecto de materiales de desecho en el comportamiento de la mezcla asfáltica". Tesis de Licenciatura. Universidad Fidélitas, San José, Costa Rica, 2015.
- [5] Aguiar-Moya, J.P., Villegas-Villegas, R.E., Loria-Salazar, L.G., Salazar-Delgado, J. "Use of WasteProducts as BitumenModifiers in Costa Rica". EATA 2013 ConferenceProceedings. Istanbul, Turkey, 2013.
- [6] Angelone, S, Martínez, F, &Osio, H. "Antecedentes del diseño y análisis de mezclas asfálticas de Superpave". Lexington, KY, 1996.
- [7] Vargas de Morgado, M, &Osio, H. "Antecedentes de los métodos de ensayo de ligantes asfálticos de Superpave". Lexington, KY, 1998.
- [8] AsphaltInstitute. "Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente". Lexington, KY, 2010.
- [9] Asphalt Institute. "The Asphalt Handbook, Seventh Edition". Lexington, KY, 2007.
- [10] Vázquez Ruiz, Idalit. "Ventajas y desventajas del uso de polímeros en los asfaltos". Tesis para optar por el grado de Licenciatura. Veracruz, 2010.



- [11] Avellán Cruz, Martha. "Asfaltos modificados con polímeros". Tesis para optar por el grado de Ingeniera Civil. Guatemala, 2007.
- [12] MOPT. "Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes, División 400: Pavimentos Asfálticos y Tratamientos Superficiales." Designación MOPT: CR-2010. San José, Costa Rica, 2010.
- [13] Base de datos costos de proyectos viales, Unidad Técnica de Auditoria para los contratos de Conservación Vial, año 2014.



# Water Hammer and Column Separation due to Pump Shutdown. Golpe de Ariete y Separación de la Columna Debido al Apagado de la Bomba.

**John Twyman Quilodrán<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Twyman Ingenieros Consultores, Rancagua, Chile.  
john@twyman.cl, teléfono: 56-9-89044770

## INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

### Article history:

Received  
22-07-2017  
Accepted  
15-01-2018  
Available  
28-02-2018

### Keywords:

Cavity Collapse  
Cavity Length  
Method of  
Characteristics  
Water Column  
Separation

### Historial del artículo:

Recibido  
22-07-2017  
Aceptado  
15-01-2018  
Publicado  
28-02-2018

### Palabras Clave:

Colapso de la cavidad  
Discretización de la red  
Longitud de la cavidad  
Método de las  
Características  
Separación de la  
columna de agua

## Abstract

The phenomenon of water column separation (WCS) and subsequent air cavity collapse (ACC) can significantly increase the maximum pressure, with risk to damage or destroy the pipelines. In this paper, the equations governing this phenomenon by applying the analysis based on the Discrete Vapor-Cavity Model (DVCM) according to the Method of the Characteristics applied on a real pumping system discretized according to the specified time interval are shown. WCS and ACC effects are analyzed when the transient flow is generated by the pumps shutdown located in the system's upstream end. A sensitivity analysis on the main parameters affecting the DVCM model, with special emphasis on the effect of the number of pipe reaches chosen in the discretization and the air cavity length, is performed. It is concluded that the results depend on the initial parameters and the way how the network is discretized.

## Resumen

El fenómeno de la separación de la columna de agua (SCA) y el posterior colapso de la cavidad de aire (CCA) puede aumentar significativamente la presión máxima, con el riesgo de dañar o destruir las tuberías. En este trabajo se muestran las ecuaciones que rigen estos fenómenos aplicando el análisis basado en el Modelo de Cavidad de Vapor Discreta (MCVD) según el Método de las Características aplicado sobre una impulsión real discretizada utilizando el intervalo de tiempo especificado. Se analizan los efectos de SCA y CCA cuando el flujo transitorio es generado por el apagado de las bombas situadas en el extremo aguas arriba del sistema. Se realiza un análisis de sensibilidad de los principales parámetros que afectan al modelo MCVD, con especial énfasis en el efecto del número de sub-tramos de la discretización y de la longitud de la cavidad de aire. Se concluye que los resultados dependen de los parámetros iniciales y del modo en que está discretizada la red.

## 1. Introduction.

The equations describing water hammer are valid only when the pressure is greater than the liquid's vapor pressure  $H_v$  [18]. If the pressure falls below  $H_v$  the water column separation occurs in form of cavity (bag) or bubbles, whereupon the fluid becomes a two-phase liquid/liquid or liquid/vapor type (**Figure 1**). Water column separation refers to the breaking of the liquid column in fully filled pipelines. This may occur in a water hammer event when the pressure drops to the vapor pressure at specific locations such as closed ends, high points or knees due to changes in pipe slope [2, 9, 10]. A vapor cavity acts as a low-pressure point, retarding the liquid columns, which finally starts to diminish in size when the liquid columns change flow direction. The collision of two liquid columns, or of one liquid column with a closed end, moving towards the shrinking cavity, may cause a large and nearly instantaneous rise in pressure. In a water hammer event many repetitions of cavity formation and collapse may occur. Some authors mention that the system configuration could be enough to significantly mitigate the effects due to the water column separation (WCS) and cavity collapse, although the depressurization phenomenon and subsequent (WCS) has been shown to have devastating effects on pipe networks [5], especially in systems that have an unfavorable design such as an undulating longitudinal profile with points with higher relative elevation [10]. In less drastic cases, strong pressure surges may cause damage, destruction or deformation to equipment such as pipeline valves, air valves, or other surge protection devices. Sometimes the damage is not realized at the time, but results in intensified corrosion that, combined with repeated transients, may cause the pipeline to collapse in the future [4]. The main difficulty is that accurate estimates are difficult to achieve, particularly because the parameters describing the process are not yet determined during design. Moreover, the vapor cavity collapse cannot be effectively controlled [4].

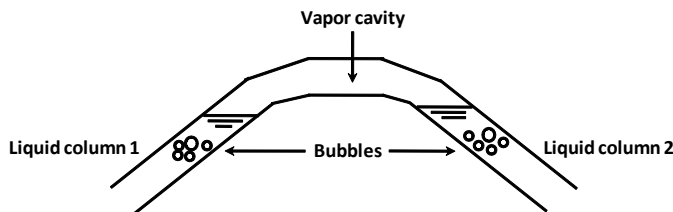


Figure 1. Basic scheme of the vapor cavity inside the pipe.

## 2. Material and methods.

A classic example of WCS is the accident that occurred in 1950 at the hydroelectric power plant (HPP) of Oigawa, Japan. During maintenance work, a rapid valve closure caused a severe water hammer which killed three workers. There was a severe drop in

pressure produced by the WCS. After that, there was a collapse of a significant pipe portion due to the pressure exerted by the atmosphere. This incident led to pipes redesign able to withstand atmospheric pressure in events where the pressure inside the pipe drops below the vapor pressure. According to Bergant et al. [3], in 1948 Jaeger examined a number of serious accidents due to water hammer in pressurized pipes. Many of the faults detected were related to vibration, resonance or oscillations. Two of the cases analyzed were due to failures attributed to the WCS. In one case, the rapid valve opening produced a negative pressure wave resulting in a WCS effect. Latter, when the liquid columns rejoined, the overpressure generated significant cracks in the affected pipe section. List [8] reviews 10 real cases of systems that suffered the effects of vapor cavity formation, pipeline rupture and air release, all of these effects generated by a rapid drop in pressure. List et al. [9] documented damage resulting from vapor cavity formation and collapse in a 7,010 (m) long, 508-609 (mm) diameter pump discharge pipeline. In 2009 there was a severe water hammer in the Sayano-Shushenskaya plant (Russia) which destroyed the base of turbine 2 (weight: 900 tons) killing 69 workers. The material losses amounted to USD 310 million and a nearby river turned out polluted. Another case occurred in 2011 in Fukushima nuclear plant (Japan), where a fast transient flow ejected radioactive cesium into the atmosphere, contaminating an area as large as the state of Connecticut (USA). Unsteady flow in pipelines can be described by one-dimensional equations of continuity and motion, as follows [18]:

$$H_t + \frac{a^2}{gA} Q_x = 0 \quad (1)$$

$$Q_t + gAH_x + \frac{fQ|Q|}{2DA} = 0 \quad (2)$$

In which  $H$  = instantaneous piezometric head,  $a$  = wave speed,  $g$  = gravitational acceleration,  $A$  = pipe cross-sectional area,  $Q$  = flow,  $f$  = Darcy-Weisbach friction factor and  $D$  = pipe diameter. The subscripts  $x$  and  $t$  denote space and time dimensions, respectively. In this case the adoption of a constant friction factor should not significantly affect the results [12]. Water hammer compatibility equations valid along the positive characteristic  $C^+$  ( $\frac{dx}{dt} = +a$ ) and the negative characteristic  $C^-$  ( $\frac{dx}{dt} = -a$ ) for the liquid flow are:

$$H = C_p - B_p \cdot Q_u \quad (3)$$

$$H = C_M + B_M \cdot Q \quad (4)$$

Where  $B_p$ ,  $B_M$ ,  $C_p$  and  $C_M$  are known constants,  $Q_u$  = flow upstream of the cavity and  $Q$  = flow downstream of the cavity. Both  $Q_u$  and  $Q$  are within the same computing interval or computational section. Water hammer equations for the liquid flow are valid when the pressure is above the liquid vapor pressure. If the pressure drops below the vapor pressure, column separation occurs either as a discrete cavity or as a vaporous cavitation zone in the liquid [14, 15]. The single-component one-phase flow is transformed into a single-component two-phase flow (liquid/liquid-vapor). Thus the standard water hammer solution is no longer valid. Some of the models to describe the water column separation are the following [14]:

- Discrete Vapor-Cavity Model or DVCM.
- Safwat and van der Polder's model.
- Kot and Youngdahl's model.
- Miwa et al. model.
- Discrete Gas Cavity Model or DGCM.
- Gas Cavity Model.

Adamkowski and Lewandowski [1] proposed a new version of DVCM model which assumes that vaporous zones are in the pipe cross-sectional area. Due to its numerical advantages, the traditional DVCM model [21] is the most widely used method to solve the two-phase flow problem, reason why will be briefly described below. For further details about DVCM and other methods is advisable to consult the references. The DVCM model in standard version has two main advantages:

- It works with MOC in specified time intervals ( $\Delta t$ ).
- It accepts a constant magnitude for wave speed.

The DVCM model allows vapor cavities to form at the MOC computing sections, where the compatibility equations (3) and (4) are applied in the fix and rectangular grid of the specified time interval method. In the interval  $\Delta t = \Delta x/a$  ( $\Delta t$  = time step,  $\Delta x$  = spatial grid size) the continuity equation in the vapor cavity volume is given by:

$$\Delta V_v = \int_{t_i}^{t_f} (Q - Q_u) \cdot dt \quad (5)$$

In which  $\Delta V_v$  = vapor cavity volume,  $t_i$  = initial time and  $t_f$  = final time. The solution of the continuity equation for the vapor-cavity volume is [1, 2, 14]:

$$(V_v)_{t_f} = (V_v)_{t_i} + \left( \frac{Q_{(t_i)} + Q_{(t_f)} - Q_{u(t_i)} - Q_{u(t_f)}}{2} \right) \cdot \Delta t \quad (6)$$

The time step in the rectangular grid, based on the Courant condition ( $C_n$ ) for the characteristic lines, is the following:

$$\Delta t = t_f - t_i = \frac{\Delta x}{a} \quad (7)$$

When the cavity collapses at a section (as a result of a negative cavity volume) the one-phase liquid flow is re-established and equations (3) and (4) are valid. Other models mentioned above work similarly but with some changes or corrections that generate numerical attenuation. Some of them only work in some singular points of the system using average flow values. In a simple pipe network composed of a reservoir (upstream), a pipe of length  $L$  and a valve (downstream), the water column separation phenomenon can be described as follows: once the valve is rapidly closed, a positive pressure wave moves toward the reservoir. This wave now negative is reflected from the reservoir, returning to the valve. The return of the wave takes place in a  $2(L/a)$  seconds span. The pressure in the valve drops below the vapor pressure, forming an air cavity (vapor) which then collapses, generating an overpressure equal to [21]:

$$\Delta H = \frac{a}{2gA} (Q_u - Q) \quad (8)$$

In which  $\Delta H$  = Joukowsky pressure head rise. Equation (8) shows that  $\Delta H$  depends on the both upstream and downstream flow at the time of air cavity collapse [13]. In certain cases  $\Delta H$  does not correspond to the expected maximum pressure. Some authors have reported the occurrence of short-duration pressure pulses SDPP [14] that would be generated immediately after the air cavity collapse, and whose magnitude may exceed the pressure given by the Joukowsky formula [19]. Furthermore, it has detected that  $\Delta H$  value is very sensitive to  $L$  and small variations in  $a$ ,  $f$ , initial fluid velocity,  $D$  and pipe slope. The assumptions related to column separation are [2, 21]:

- The liquid has entrained free gases or dissolved gases that evolve when the pressure drops below saturation pressure.
- The vapor cavity volume must be significantly less than the reach volume in the numerical model.
- The cavity pressure is equal to the vapor pressure.
- Water hammer waves are reflected off the cavity, which is assumed to occupy the total pipe cross-sectional area.
- The vapor cavity does not move.
- Mass and momentum of the cavity vapor are negligible.

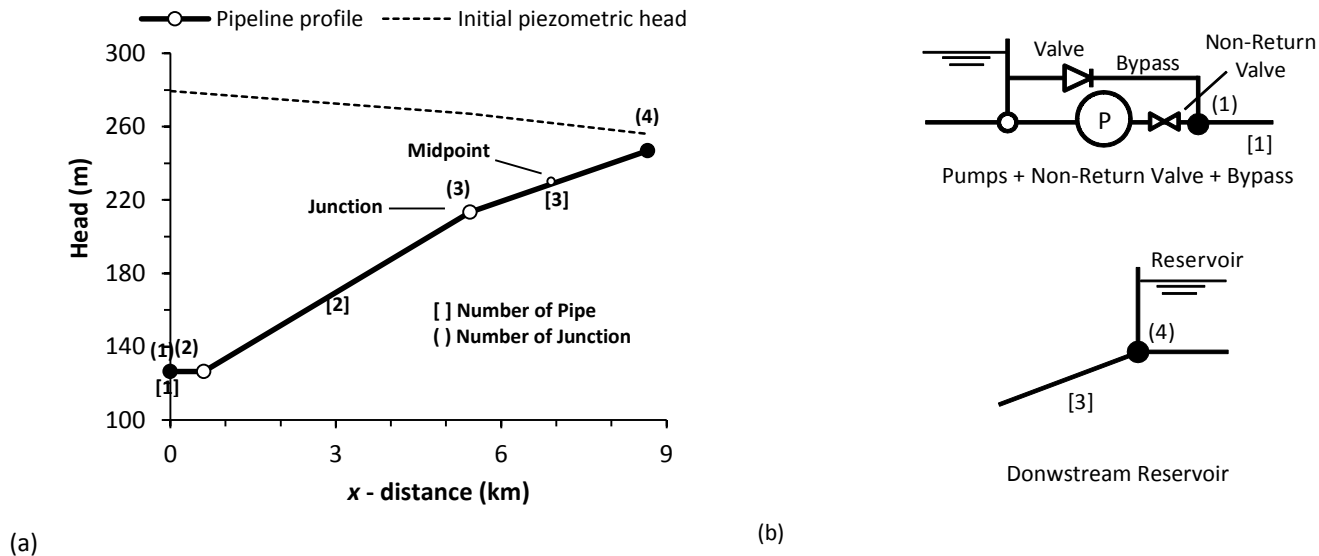
- Isothermal conditions in the cavity prevail.
- The vapor condenses completely prior to the instant of liquid columns rejoining or cavity collapse against the boundary.
- The cavities formation has no effect on head losses by  $f$ .
- The vapor void fraction in the distributed vaporous cavitation zone is much smaller than unity, so the mass and momentum of the bubbles can be neglected.
- The surface tension effect that results in a pressure difference across the vapor bubbles is ignored.
- The liquid and the vapor-bubble velocities in the mixture are the same during vaporous cavitation.
- The vapor bubble is not influenced by the expansion and compression of the neighboring liquid-vapor bubbles.
- The gravity influence on the bubbles is neglected.
- There is an infinitesimal discontinuity width between both the interface of the one-phase fluid (liquid) and the one-component two-phase fluid (homogeneous mixture of liquid and vapor bubbles).
- Increase in temperature across a shock wave front is small and therefore isothermal conditions across the interface prevail.

The SDPP is superimposed to the normal transient pressure due to a sudden valve closure or sudden pump shutdown. It should be emphasized that the maximum pressure head occurrence following the vapor cavity collapse does not occur immediately, it is delayed by between 0 and  $2L/a$  (s). The SDPP phenomenon

has been widely reported in the literature, such as in Hatcher et al. [7] and Malekpour [11].

### 3. Results.

In the system of **Figure 2**, transient flow is generated by the pumps shutdown located at the upstream end of the pipeline. When pumps are suddenly shutdown, pressure in their discharge side rapidly decreases and a negative pressure wave (which reduces pressure) begins to propagate down the pipeline toward the downstream reservoir. When the negative pressure wave reaches the high point in the pipe, the pressure can drop below atmospheric pressure up to reach the vapor pressure. At this pressure, gas within the liquid is gradually released and the liquid starts to vaporize (column separation). On subsequent cycles of the transient when the pressure recovers, cavity can collapse generating a large pressure surge spike. **Tables 1 and 2** show the pipes and junctions features, respectively, where  $\Delta t = 0.079586152$  (s) and  $N$  (number of reaches) and  $C_n$  for each pipe is: pipe 1,  $N_1 = 7$ ,  $C_n = 1.00$ ; pipe 2,  $N_2 = 55$ ,  $C_n = 1.00$ ; Pipe 3,  $N_3 = 38$ ,  $C_n = 1.00$ . The pump data is: number of pumps in parallel (NPP): 4; number of stages for pump: 5; steady-state pump speed: 1,775 (rpm); moment of inertia: 20.017 (kg-m<sup>2</sup>). The bypass diameter is equal to 0.6096 (m). In order to stop the backflow, the system has a non-return valve located downstream of the pumps set (**Figure 2**). The characteristic curves of the pumps are shown in **Table 3**.



**Figure 2.** (a) System layout. (b) Schematic of some boundary conditions.

**Table 1:** Characteristics of the pipeline.

Pipe number	$D$ (mm)	$L$ (m)	$f$	$V_0$ (ms <sup>-1</sup> )	$a$ (ms <sup>-1</sup> )
[1]	762	609.6	0.013	1.63	1,094.2
[2]	762	4,828.0	0.013	1.63	1,094.2
[3]	762	3,218.7	0.019	1.63	1,062.5

**Table 2:** nodes characteristics.

Junction number	Type of Junction	Elevation $z$ (m)	$H$ (m)
(1)	Pump Discharge Point	126.492	279.502
(2)	Simple	126.492	277.978
(3)	Simple	213.360	267.005
(4)	Reservoir	246.888	256.032

**Table 3:** pumps' characteristic curves (BHP = British Horse Power).

$Q$ (L/s)	$H$ /stage (m)	BHP/stage
0.0	39.3	50.0
63.0	38.9	58.0
126.2	36.9	78.0
189.3	31.5	92.0
252.4	20.5	97.0
283.9	0.0	80.0

**Figures 3 and 4** show the pressure vs. time plot in junction 3 and in the midpoint of pipe 3, respectively, where it is possible to observe the following events sequence for the junction 3 (counted from the pumps shutdown time):

- **Time: 6.4 (s).** The pressure drops up to reach the vapor pressure  $H_v$  whose value is approximately equal to  $-1$  atmosphere (or  $-10.06$  m gauge) in junction 3 and in midpoint of pipe 3. An air cavity is formed (**Figure 5**).
- **Time: 23.8 (s).** The air cavity collapses (**Figure 5**).
- **Time: 28.6 (s).** The first pressure peak of  $135.0$  (m) is generated.

- **Time: 39.7 (s).** A second pressure peak of  $174.0$  (m) is generated which is not caused by a second cavity collapse.
- **Time: 42.1 (s).** Pressure falls again to reach the vapor pressure without reaching to form an air cavity.
- **Time: 50.8 (s).** Again the pressure drops to reach the vapor pressure without reaching to form an air cavity.

Thereafter the minimum pressures tend to be positive and the effect of the pipe friction factor causes the pressures train tend to fade with over time.

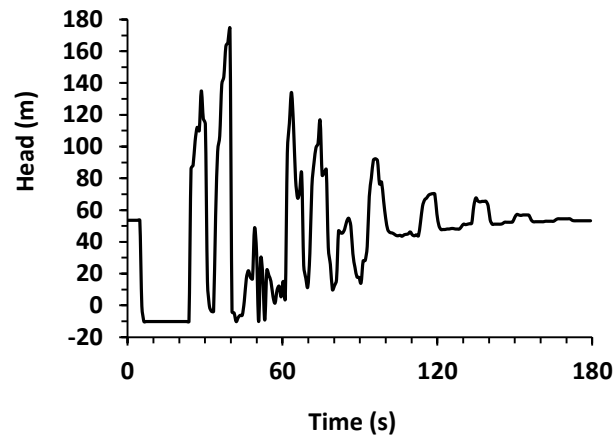


Figure 3. Pressure at the junction 3 ( $N_1 = 7$ ).

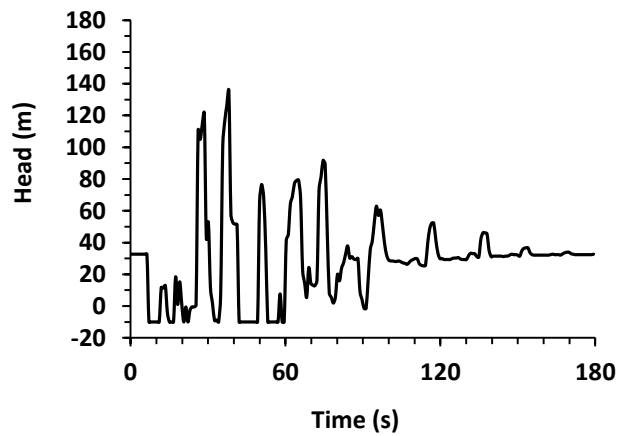


Figure 4. Pressure at the midpoint of pipe 3 ( $N_1 = 7$ ).

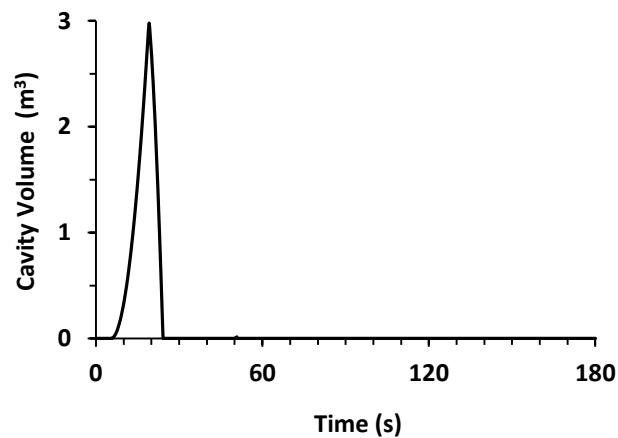


Figure 5. Air cavity volume at the junction 3 ( $N_1 = 7$ ).



It is observed in **Figures 3 and 4** that the magnitude of the main pressure peak is lower than the maximum “expected” pressure according to the Joukowsky expression given by:

$$H^{max} = H_0 + \Delta H = H_0 + \frac{a \cdot Q_u}{2gA} \quad (9)$$

In this case  $H^{max} = 390.0$  (m) when the known values are replaced in (9). In **Figure 3**, adding the pipeline elevation, the maximum peak of the piezometric head (MPPH) is 387.4 m ( $t = 39.6$  s). In **Figure 4**, the MPPH is 365.5 m ( $t = 38.1$  s).

#### 4. Effect of the pipe discretization.

Simpson and Bergant [14] and Tatu [16] emphasizes that numerical model of the cavity collapse must pay close attention to the way as network is discretized, especially in the spatial grid size ( $\Delta x$ ). The coarse discretization generates greater  $\Delta x$  value and, therefore, a higher theoretical cavity volume, whose numerical collapse could generate unrealistic pressure peaks. When  $N_1 = 1$  in pipe 1 (the shortest one),  $C_n = 1.00$  and  $\Delta t = 0.557103064$  (s). The number of reaches ( $N$ ) and  $C_n$  for the rest of pipes are:

- Pipe 2:  $N_2 = 7$ ,  $C_n = 0.88$ .
- Pipe 3:  $N_3 = 5$ ,  $C_n = 0.92$ .

In this case the length of the pipe reaches ( $\Delta x$ ) is:

- 
- Pipe 1:  $\Delta x_1 = 609.6$  (m).
- Pipe 2:  $\Delta x_2 = 689.7$  (m).
- Pipe 3:  $\Delta x_3 = 643.7$  (m).

On the other hand, when pipe 1 is discretized using  $N_1 = 7$ , the length of  $\Delta x$  is:

- Pipe 1:  $\Delta x_1 = 87.1$  (m).
- Pipe 2:  $\Delta x_2 = 87.8$  (m).
- Pipe 3:  $\Delta x_3 = 84.7$  (m).

**Figures 6 and 7** show a comparison of the pressure evolution in junction 3 and in the midpoint of pipe 3, when  $N_1$  is equal to 1 and 7.

#### 5. Sensitivity of DVCM results to input parameters.

Another important aspect is the sensitivity of the numerical model results to changes of input parameters (wave speed, friction factor, pipe diameter; pipe slope, pipe length). According

to Simpson and Bergant [14], a little wave speed variation may result in a large scatter of the maximum pressure expected value, especially in short pipelines. An investigation about the friction factor revealed that during transient cavitating flow the pipeline may operate in two regions depending on the friction factor size. Movement from one region to another occurs at a transition friction factor. For low friction factors the maximum pressure head is the short-duration pressure pulse that follows after the cavity collapse. The variations of the maximum pressure for changes in diameter are related to the resulting change in friction factor: as the diameter increases, the friction factor decreases, and depending on the case, the maximum pressure is governed by the Joukowsky pressure rise or by a short-duration pressure pulse following cavity collapse. For short pipelines an increase in negative slope leads to more severe vaporous cavitation along the pipeline therefore decreasing the maximum pressure of the short-duration pulses.

#### 6. Maximum length of the cavity.

The maximum length of the cavity ( $L_{vc}$ ) must be small compared to  $\Delta x$ , and both parameters must fulfill the following relationship for distributed cavitation regions [2]:

$$\frac{L_{vc}}{\Delta x} < 0.1 \quad (10)$$

Where  $L_{vc} = V_v/A$ , with  $V_v$  = volume of the vapor cavity. If equation (10) is not fulfilled, then the DVCM model is not longer valid and the application of alternative models should be considered. Condition (10) may sometimes be violated since the water column separation is generally a local phenomenon where only a few grid points are affected [2]. For the analyzed example, the result shown in **Figure 8** is obtained, where it is observe that when  $N_1$  varies between 1 and 9, the relation  $L_{vc}/\Delta x$  is always less than 0.1. Thus, in this case we can conclude that the applied DVCM model is numerically valid. However, it is important to highlight that Wan et al. [19] proposed a 2D CFD model which has not restriction about cavity size in the simulations.

#### 7. Discussion.

In **Figures 6 and 7** the  $\Delta x$ 's increase in magnitude meant an attenuation of the maximum peak pressure (10.2% in the first case, and 5.9% in the second case). This may be due in part to the Courant number effect because  $\Delta x$ 's increase did reduce their initial value, especially in pipes 2 and 3, although not significantly. Even though, as is expected the interpolation within the MOC grid causes numerical damping [6].

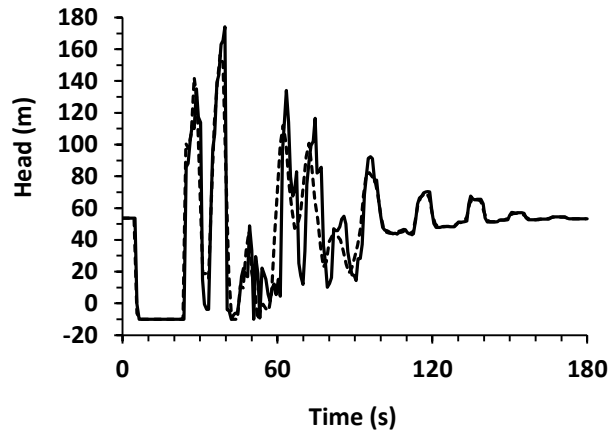


Figure 6. Pressure at the junction 3 when  $N_1 = 1$  (continuous line) and when  $N_1 = 7$  (dotted line).

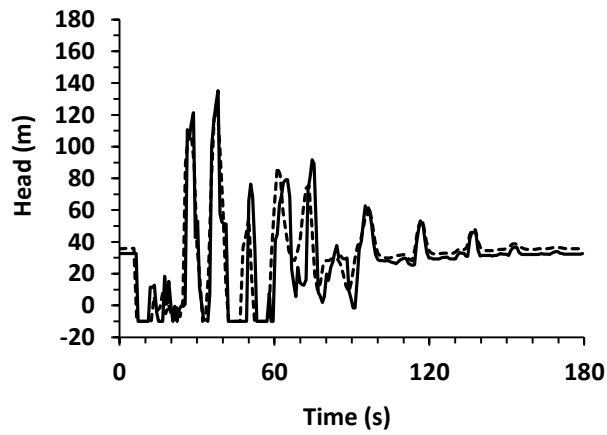


Figure 7. Pressure at the midpoint of pipe 3 when  $N_1 = 1$  (continuous line) and when  $N_1 = 7$  (dotted line). Note: in this case the location of the pipe's midpoint does not exactly match when  $N_1 = 1$  and  $N_1 = 7$ .

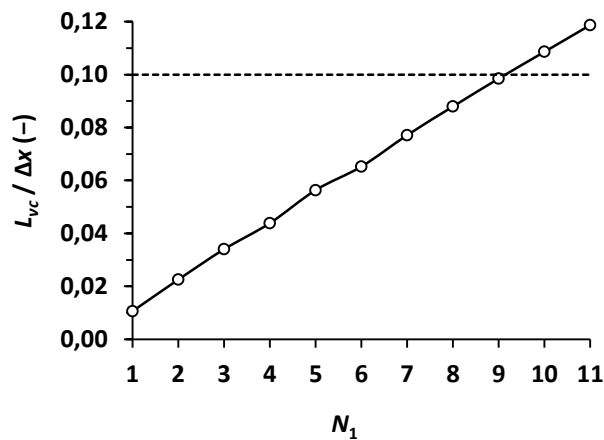


Figure 8. Relationship  $L_{vc} / \Delta x$  in pipe 3.



Another aspect that could explain the difference when  $N_1 = 1$  and  $N_1 = 7$  is because of greater number of reaches, where the greater number of cavities which form along the pipeline during column separation tends to increasing the possibility of the random multi-cavity collapse. This result in a superposition of waves and in unrealistic pressure spikes [1, 14, 19]. Only in systems with clearly defined cavity positions the results are fairly realistic, at least through the first cavity collapse [20]. Another drawback of classical DVCM is that it cannot readily distinguish between localized vapor cavity formation and distributed cavitation, being necessary a combined model by considering local liquid column separations at high points and regions of distributed vaporous cavitation [19], all of which tends to complicate the analysis. On the other hand, Tatu [16] recognizes that the vapor cushion volume will depend on the number of the calculation nodes. The bigger is the number of the calculation nodes, the smaller is the vapor cushions volume concentrated in the computing nodes. So, the calculation results will depend on the number of the calculation nodes, so that the computing nodes number will have a great influence on the results, and only in very special cases the vapor volume will have a vapor cushion shape concentrated in a given point. Another relevant point which could explain the discrepancies it is that when the pressure at the internal computational section drops below the vapor pressure, the discharge at this section takes the average of the two discharges calculated from equations (3) and (4); because this averaging discharges has no physical meaning [2] it could be an error source.

## 8. Conclusions.

When the pressure falls up to reach the vapor pressure, cavities or bubbles will develop in the liquid. In the DVCM these cavities are concentrated at the grid points. Between the grid points, pure liquid is assumed for which the basic water hammer equations remain valid. This means that the pressure wave speed ( $a$ ) is maintained between grid points in distributed cavitation regions. However, in bubble flow  $a$  is both very low and pressure-dependent. Pressure waves actually do not propagate through an established distributed cavitation region, since this is at an assumed constant vapor pressure. The annihilation of a distributed cavitation region by a pressure wave causes a delay in propagation, which must be regarded as a wave speed reduction. In the DVCM the cavities, concentrated at grid points, do not move. This is consistent with the acoustic approximation: since the overall time scale is acoustic (water hammer), the vapor bubbles displacements are small. After the water column separation (WCS), the collision of two liquid columns, or of one liquid column with a closed end, moving towards the shrinking cavity, may cause a large and nearly instantaneous rise in pressure. The occurrence of liquid column

separation may have a significant impact on subsequent transients in the system. Even though, the WCS modelling and subsequent cavity collapse requires the use of computational tools. The DVCM is the most commonly used model for column separation and distributed cavitation because it is easy to implement and it reproduces many physical events associated to the column separation in pipelines. Besides, the DVCM gives acceptable results only when the cavity occurs in a clearly and isolated defined position. One disadvantage of the DVCM is that multi-cavity collapse may produce unrealistic pressure spikes when the number of reaches becomes relatively large. For that reason, DVCM model gives reasonably accurate results when the number of reaches is restricted. Another disadvantage of the DVCM model is which in order to ensure a reliable result, in each analyzed case is necessary calculate the relationship  $L_{vc}/\Delta x$  in order to know how discretize the network being necessary a trial/error procedure.

## 9. Acknowledgements.

Author express his gratitude to both Professor E. John List (chairman of Flow Science Incorporated) and his assistant, Mrs. Melinda Werts, for allowing a rapid access to the articles called "Sudden Pressure Drop and Pipeline Failure – Case Studies" (1994) and "Vapor Cavity Formation and Collapse: Field Evidence for Major Pipeline Damage" FEDSM99-6886 (1999).

## 10. References.

- [1] Adamkowski A., Lewandowski M. (2009). A New Method for Numerical Prediction of Liquid Column Separation Accompanying Hydraulic Transients in Pipelines. *Journal of Fluids Engineering*, 131: 071302-1 – 071302-11.
- [2] Bergant A., Simpson A.R., Tijsseling A.S. (2004). Water Hammer with Column Separation: A Review of Research in the Twentieth Century. *Centre for Analysis, Scientific Computing and Applications*, Department of Mathematics and Science, Eindhoven University of Technology. CASA Report: 04-34.
- [3] Bergant A., Simpson A.R., Tijsseling A.S. (2006). Water hammer with Column Separation: A Historical Review. *Journal of Fluids and Structures*, 22: 135-171.
- [4] Boulos P.F., Wood D.J., Lingireddy S. (2015). Shock and Water Hammer Loading. *Pressure Vessels and Piping Systems*. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), pp. 32.
- [5] Collins R.P., Boxall J.B., Karney B.W., Brunone B., Meniconi S. (2012). How Severe Can Transients Be After a Sudden Depressurization? *Journal of AWWA*, E243-E251.
- [6] Goldberg D.E., Wylie E.B. (1983). Characteristics Method using Time-Line Interpolations. *Journal of Hydraulic*



- Engineering*, 109(2): 670–683.
- [7] Hatcher, T.M., Malekpour A., Vasconcelos J., Karney B.W. (2015). Comparing Unsteady Modeling Approaches of Surges Caused by Sudden Air Pocket Compression. *Journal of Water Management Modeling*, C392. DOI: 10.14796/JWMM.C392.
- [8] List E.J. (1994). Sudden Pressure Drop and Pipeline Failure – Case Studies. Hydraulics of Pipelines Conference. Sponsored by the Pipeline Division/ASCE, June 12-15, 1994, Phoenix, Arizona.
- [9] List E.J., Burnam J., Solbrig R., Hoggatt J. (1999). Vapor Cavity Formation and Collapse: Field Evidence for Major Pipeline Damage. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> ASME/JSME Joint Fluids Engineering Conference, July 18-23, 1999, San Francisco, California, FEDSM99-6886, 1-10.
- [10] Malekpour A., Karney B.W. (2011). Rapid Filling Analysis of Pipelines with Undulating Profiles by the Method of Characteristics. *International Scholarly Research Network (ISRN)*, Applied Mathematics, Article ID 930460, pp. 16.
- [11] Malekpour A. (2014). Analysis of Rapid Pipeline Filling including Column Separation & Entrapped Air Effects (Ph.D. Thesis). Toronto: University of Toronto.
- [12] Pozos-Estrada O., Fuentes O.A., Sánchez A., Rodal E.A., de Luna F. (2017). Analysis on the Effects of Entrapped Air on Hydraulic Transients in Pumping Pipelines. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 33(1-2): 79–89. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rimni.2015.11.002>
- [13] Ramezani L., Karney B. (2017). Water Column Separation and Cavity Collapse for Pipelines Protected with Air Vacuum Valves: Understanding the Essential Wave Processes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 143(2): 04016083-1 - 04016083-13. DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001235.
- [14] Simpson A.R., Bergant A. (1994). Numerical Comparison of Pipe-Column-Separation Models. *Journal of Hydraulic Engineering*, 120(3): 361–377.
- [15] Simpson A.R., Wylie E.B. (1991). Large Water-Hammer Pressures for Column Separation in Pipelines. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(10): 1310–1315.
- [16] Tatu G. (2004). Cavitation in Water-Hammer Calculation. *The 6th International Conference on Hydraulic Machinery and Hydrodynamics*, Timisoara, Romania, October 21–22, 549–552.
- [17] Twyman J. (2016). Water Hammer in a Water Distribution Network. *XXVII Latin American Hydraulics Congress (IAHR)*, Spain Water & IWHR (China), Lima, Peru, September 26-30, pp. 10.
- [18] Twyman J. (2017). Water Hammer Analysis in a Water Distribution System. *Ingeniería del Agua*, 21(2): 87-102. <https://doi.org/10.4995/la.2017.6389>
- [19] Wang H., Zhou L., Liu D., Karney B., Wang P., Xia L., Ma J., Xu C. (2016). CFD Approach for Column Separation in Water Pipelines. *Journal of Hydraulic Engineering*, 04016036-1 - 04016036-11. DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001171.
- [20] Wang L., Wang F., Karney B., Malekpour A. (2017). Numerical Investigation of Rapid Filling in Bypass Pipelines. *Journal of Hydraulic Research*, 1-10. ISSN: 0022-1686. <http://dx.doi.org/10.1080/00221686.2017.1300193>
- [21] Wylie B.E., Streeter V. (1978). *Fluid Transients*, p. 206. New York: McGraw–Hill International Book Company.



# La fiducia mercantil inmobiliaria en el sector de la construcción en Colombia

## The real estate mercantile fiducia in the construction sector in Colombia

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historial del artículo:

Recibido  
17-05-2017  
Aceptado  
20-01-2018  
Publicado  
28-02-2018

Palabras Clave:  
Fiducia mercantil  
Proyectos de  
Construcción  
Toma de  
decisiones

Article history:

Received  
17-05-2017  
Accepted  
20-01-2018  
Available  
28-02-2018

Keywords:  
Mercantile Fiducia  
Construction  
Projects  
Decision making

**Edgar Monroy<sup>1</sup>, Cristina Barón<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Piloto de Colombia, Colombia

<sup>2</sup>Universidad Santo Tomás, Colombia

edgar-monroy1@unipiloto.edu.co, teléfono: 57-1-3277333

### Resumen

---

El sector de la construcción si bien tiene un carácter privado, se encuentra íntimamente relacionado con el sector público en lo que respecta a los instrumentos normativos para el desarrollo de las actividades propias de la construcción de edificaciones. Al presentar en los últimos años un importante crecimiento económico en el país, las empresas constructoras han acudido a esquemas inmobiliarios con una regulación legal en Colombia, que resulta insuficiente ante el desarrollo del sector, llevando a problemas tanto para constructores como para consumidores, sin formación e información suficiente para la toma de decisiones.

De este modo la actual regulación legal en Colombia del esquema inmobiliario Figura Internacional de Derecho Fiduciario (FIDIS), permite ampliamente la recepción de fondos y claramente comporta una serie de riesgos para el consumidor.

### Abstract

---

The construction sector, although it has a private nature, is closely related to the public sector with respect to the normative instruments for the development of the activities inherent to the construction of buildings. By presenting in recent years a significant economic growth in the country, construction companies have resorted to real estate schemes with a legal regulation in Colombia, which is insufficient to the development of the sector, leading to problems for both builders and consumers, without training and enough information for decision making



## 1. Introducción.

La construcción es a nivel nacional uno de los principales sectores de crecimiento exponencial y en los últimos 4 años ha incrementado su valor agregado en un 28%, el doble del promedio nacional, así mismo el PIB edificador ha registrado en el cuarto trimestre de 2015 un 6,8% el doble del crecimiento de la economía en este periodo y a febrero de 2016, el sector generó en promedio 61 mil empleos directos y 122 mil en actividades inmobiliarias, aportando el 42% de los nuevos puestos generados en el país. [1]

Ante este crecimiento, el sector de la construcción específicamente inmobiliario ha acudido a esquemas inmobiliarios que no se limita a unos pocos inversionistas, sino que al negocio concurren miles de personas; ergo, era posible entender que este financiamiento dirigido al público en general con el propósito de captar dineros podía tener el tratamiento jurídico contemplado en la ley 964 de 2005 y disposiciones complementarias; y más aún, si la Figura Internacional de Derecho Fiduciario cumple los requisitos para catalogarse como valor<sup>1</sup>, esto es, que se trate de un derecho de naturaleza negociable (en este caso por cesión) que haga parte de una emisión, cuando tenga por objeto o efecto la captación de recursos del público.

Nótese que por efectos del patrimonio autónomo y el principio de separación patrimonial establecido en la ley nacional, la fiduciaria como vocera solo responde en principio con cargo y hasta la concurrencia de los fondos depositados en el fideicomiso, de suerte que, si no se generan rendimientos ni se logran las utilidades esperadas, la fiduciaria no está en la obligación de inyectar de su presupuesto el dinero faltante para cumplir la expectativa del negocio, pues el titular del derecho fiduciario contenido en la FIDIS “Figura Internacional de Derecho Fiduciario Inmobiliario” prácticamente se vuelve inversionista, trasladando consigo las contingencias de pérdida.

Claramente, la diferencia que se desprende a partir del esquema de oferta pública de valores frente al FIDIS actual, es que el deber de información contemplado en la ley 1328 de 2009 y la Circular Básica Jurídica C.E. 007 de 1996 [2] emitida por la Superintendencia Financiera de Colombia, se vuelve superlativo,

<sup>1</sup> La oferta pública de valores tiene dos presupuestos: (i) se dirige al público en general o (ii) a 100 o más inversionistas determinados, con el propósito de captar recursos del público. Los valores que se ofrezcan públicamente deben estar registrados en el Registro Nacional de Valores y Emisores (RNVE) y la oferta requiere la autorización previa de la Superintendencia Financiera de Colombia (SFC).

y en ese sentido, lo exigible de la entidad financiera es el deber de asesoría, cuyo rigor es mucho más profundo que la simple información.

Sin perjuicio de lo anterior, la Superintendencia Financiera de Colombia no ha reconocido los FIDIS como valor. La consecuencia de esta ausencia de intervención del Estado es que el ciudadano común, quien no tiene conocimiento de las reglas de la economía, compromete de forma incauta sus recursos, porque no tiene la suficiente información o los elementos de juicio necesarios para decidir si conviene a sus intereses o no, la inversión en estos esquemas fiduciarios.

Las sociedades fiduciarias no están obligadas a documentar ni certificar que brindaron la suficiente asesoría e información al cliente potencial previo a su vinculación; por lo cual, muchos de estos proyectos de construcción están amparados en la ingenuidad del público y la pasividad del control estatal, que en últimas ha legitimado una práctica por parte de las empresas Constructoras de crowdfunding inmobiliario, dejando de lado los riesgos de la parte débil de la relación negocial, donde el inversionista no profesional carece de herramientas para dar un consentimiento pleno frente a las obligaciones que asume en esta clase de estructuras jurídicas.

## 2. La fiducia mercantil inmobiliaria en Colombia.

La fiducia en Colombia se origina a partir de la adopción del Código Civil, en cuyo articulado se desarrolló la propiedad fiduciaria, como una limitación al dominio, sujeto al cumplimiento de una condición para poder ser transferido a otra persona.

El negocio fiduciario mercantil como tal, nace infundido en la figura norteamericana del trust, aplicada por los bancos como gestores de intereses de terceros. De este modo, es a través de la Ley 51 de 1918 que se autoriza la realización de operaciones fiduciarias a los Bancos, posteriormente reglamentadas mediante la Ley 45 de 1923 [4], autorizando a los Bancos para establecer las sección fiduciaria. [5]

Su auge data en los años 90, cuando los constructores utilizaban la fiducia mercantil como estrategia luego de la crisis para reducir los riesgos asociados a la construcción, ya que podían iniciar la venta de la obra de manera previa a la construcción [5] y de esta forma asegurar el punto de equilibrio del proyecto, teniendo como resultado la acumulación de inventarios de viviendas, generando en ese entonces una caída en los precios de la finca raíz.

Las fiducias mercantiles inmobiliarias son desde entonces empleadas como un instrumento que garantiza la fe y confianza entre las partes para el desarrollo de un proyecto de construcción y la administración de los recursos para tal fin; pero, debido a la falta de normatividad para uso de esta herramienta, se ha evidenciado inconvenientes legales con las constructoras y los usuarios finales, que se atribuyen a la falta de claridad de algunos de los entes fiduciarios.

Este instrumento fiduciario viene siendo en las últimas décadas un importante aliado para el desarrollo de proyectos de construcción, con diferentes finalidades entre las que se encuentran la Fiducia de Administración y Pagos, de Tesorería y Preventas; sin embargo no existe reglamentación específica, diferente a la definida de manera general para la comercialización de proyectos inmobiliarios a través del sistema

financiero, así mismo para la captación de recursos y enajenación de inmuebles.

### 3. El sector de la construcción y la fiducia.

El sector de la construcción en Colombia tiene un alto impacto en la economía, registrando un incremento significativo de su PIB. En el tercer trimestre de 2016, el PIB a precios constantes creció 1,2% con relación al mismo trimestre de 2015. Al analizar el resultado del valor agregado por grandes ramas de actividad, se observa el crecimiento del valor agregado del sector construcción de 5,8%. Este resultado se explica por el aumento de 11% en el subsector de edificaciones y aumento de 1,9% en el subsector de obras civiles. (Figura 1)

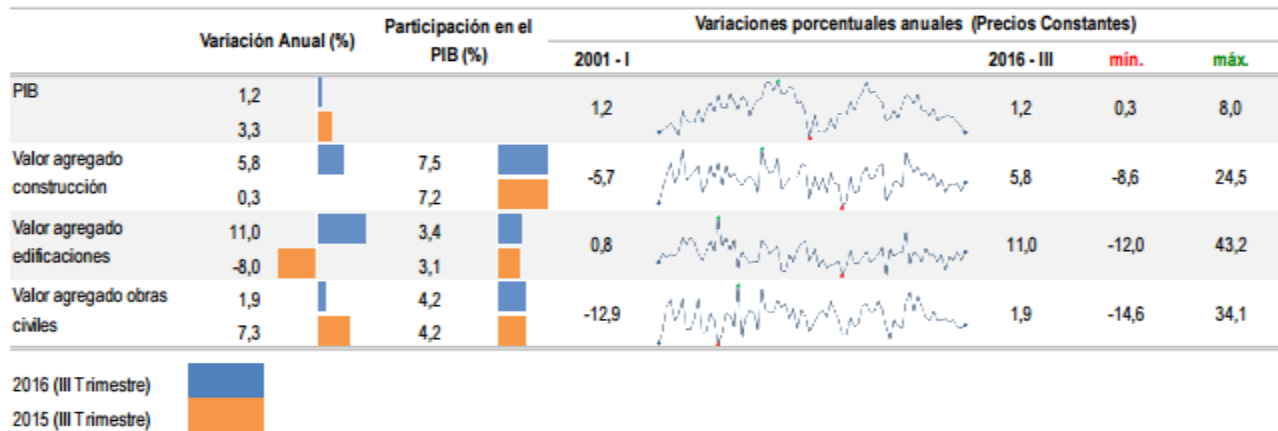


Figura 1. Fuente: DANE. Boletín técnico. Indicadores Económicos Alrededor de la Construcción – IEAC III trimestre de 2016. (Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2016)

De acuerdo con lo anterior, la gran responsabilidad que asumen los diferentes actores (empresas constructoras y entidades fiduciarias) que intervienen en la construcción no es menor, más cuando recae en sus entidades y organismos el desarrollo de proyectos inmobiliarios conducentes al mejoramiento de las condiciones de vida de las personas, orientado por un modelo promovido por los organismos de planeación gubernamentales para el crecimiento estable y ordenado de los territorios. El compromiso por parte de las entidades públicas y privadas que intervienen en esta visión de ciudad, es entonces brindar al país una oferta que cumpla con los propósitos territoriales del país. (Figura 1)

En los últimos años, en el desarrollo de dichas actividades, se ha denotado la necesidad de mejorar la seguridad jurídica, es así que la Cámara Colombiana de la Construcción establece en su informe de gestión que entre el 2015 y el 2016 se caracterizó un movimiento dinámico normativo, principalmente en temas

relacionados a proyectos de vivienda segura, propiedad horizontal, programas de vivienda, y de derechos fiduciarios; en este último, la superintendencia financiera pretende reglamentar las operaciones realizadas a través de derechos fiduciarios para lograr mayor objetividad en el desarrollo de negocios a través de esta vía y establecer algunos lineamientos generales que permitan salvaguardar los intereses de los implicados en materia de Contratos de Fiducia y Administración de activos colectivos con vocación de comercialización de participaciones fiduciarias, siendo esta propuesta motivo de estudio por parte de la Superintendencia.

Sin embargo, ante esta falta de normativa, es relevante cuestionar las garantías y prebendas que protegen al constructor en el ejercicio de su labor, a través de las Fiducias Mercantiles Inmobiliarias; como herramienta jurídica imprescindible para el desarrollo de proyectos de todo tipo y tamaño. Así mismo, la responsabilidad que los entes fiduciarios para con los proyectos



y la administración pertinente y efectiva de los dineros destinados para tal fin. Sin embargo, existiendo un marco normativo que regula este ejercicio, aún quedan vacíos legislativos en cuanto a la responsabilidad de las entidades que ejercen como administradoras de los recursos y su alcance en el ejercicio real mercantil, presentándose desventajas tanto para constructores como usuarios finales.

En el mecanismo de la Fiducia Mercantil los bienes transferidos salen del patrimonio del fideicomitente y constituyen un patrimonio autónomo para cumplir la finalidad contemplada en el contrato. Los bienes no pueden ser perseguidos ni embargados por los acreedores del fideicomitente, salvo cuando se den las condiciones establecidas para ejercer la acción del artículo 1238 del Código de Comercio. El patrimonio autónomo como sujeto contractual y procesal puede ser sujeto de derechos y obligaciones, su vocero es la sociedad fiduciaria y puede adquirir la calidad de contratante o contratista con sus derechos y obligaciones, independientemente del fideicomitente y del fiduciario.

En Colombia el desarrollo del negocio fiduciario es producto de un proceso regulatorio poco pacífico y lleno de contrastes. Así por ejemplo, en la tradición legislativa colombiana se encuentra que los primeros antecedentes de la fiducia contenidos en la leyes 51 de 1918, y 45 de 1923 [4] por medio de la cual se habilitaba a los Bancos el ejercicio de los encargos de confianza a través de las secciones fiduciarias (concepción anglosajona derivada del “*trust*”), no guarda ninguna relación de consonancia con la concepción posteriormente establecida en el Código de Comercio expedido en el año 1971. [3]

Sobre este último referente normativo, desarrollado en los artículos 1226 a 1244 del C.Co, se advierte en cuanto al objeto de la fiducia mercantil, que ya no es un típico negocio de confianza como su predecesor, sino que, el mismo responde a un esquema amplísimo, carente de rigor (a pesar de invocar la profesionalidad del fiduciario) y maleable por intereses particulares de las partes que intervienen en el negocios (fideicomitente, fiduciario y en algunos casos el beneficiario).

Infortunadamente, este cúmulo de factores y la usanza mercantil han dado lugar a escenarios controversiales que llevan a cuestionarse sobre cuál es el alcance real de la fiducia como contrato, y adicional a ello, qué responsabilidad le asiste a las sociedades fiduciarias de cara a los consumidores financieros, a los constructores y al estado, quienes se han visto afectados por la estructuración de esquemas que desconocen directrices cardinales del ordenamiento jurídico nacional.

### 3. Discusión y resultados.

Cabe reflexionar como punto principal las implicaciones que desde el punto de vista legal tiene el modelo de inversión conocido como FIDIS, a través del cual, las constructoras obtienen el financiamiento de un proyecto inmobiliario valiéndose de un patrimonio autónomo, donde la fiduciaria como vocera del mismo es la encargada de recibir los recursos del público y administrarlos de manera independiente mediante su inversión en un cartera colectiva y de acuerdo a los términos del contrato de fiducia.

La noción de FIDIS, popularizada en diversos proyectos inmobiliarios, en realidad contiene varios elementos que requieren un análisis más riguroso, entre ellos, la contraprestación y riesgos asociados a esta práctica, los motivos que conducen al público a poner su capital en esta especie de negocio fiduciario y el esquema de operación avalado por el gobierno.

Con relación al primer punto, vale la pena aclarar que por el hecho de vincularse a un esquema FIDIS, el inversionista no recibe para sí ningún título de propiedad independiente o tangible del inmueble donde se adelanta el proyecto urbanístico, pues la contraprestación que se da en realidad es una alícuota de una propiedad inmobiliaria, cuya rentabilidad dependerá de la explotación del mismo y su valorización.

En ese orden de ideas, una persona que invierte sus recursos mediante FIDIS no está comprando ningún inmueble, simplemente está apalancando financieramente un proyecto del constructor y participando en la calidad de inversionista del mismo a cambio también de una rentabilidad futura. Ello significa que, como inversionistas del proyecto, los ciudadanos que adquieren derechos fiduciarios en esta modalidad también se hacen responsables de las pérdidas o contingencias que se puedan presentar, incluidas las derivadas de la baja o nula rentabilidad que reporten los fondos de inversión colectiva administrados por la sociedad fiduciaria.

Bajo ese entendido, el panorama comercial pone de presente un riesgo para los ciudadanos, que conduce a abordar el siguiente punto, esto es, las razones por las cuales las personas acuden masivamente a poner sus ahorros y activos dentro de estas figuras cuyo nivel de exposición es variable y sujeto al alea de las circunstancias del constructor.





Pues bien, un factor clave para este tipo de decisiones en el público, es el hecho de que los FIDIS estén siendo ofrecidas por conducto de un esquema administrado y respaldado a través una sociedad fiduciaria, esto es, una entidad profesional (principal rasgo de la reforma del código de comercio y la ley 45/90) vigilada por la Superintendencia Financiera de Colombia, quien “garantiza” a la gente la transparencia de la inversión de sus recursos y el desarrollo de la operación inmobiliaria.

Ciertamente, la confianza del inversionista en nuestro país tiene un factor subjetivo ligado a la institucionalidad y el respaldo que ofrece una sociedad monitoreada por los órganos de vigilancia y control del estado. Es por ello que un elemento común en la publicidad de los todos los esquemas inmobiliarios FIDIS es la continua y destacada alusión a la intermediación de las fiduciarias como administradoras de los recursos. Estrategia que ha dado resultado y ha logrado que los ciudadanos inviertan con mayor seguridad y en proporciones cada vez más altas su capital en los proyectos FIDIS.

No obstante, la institucionalidad y el nombre del fiduciario no es garantía del retorno de los recursos invertidos ni de los rendimientos que normalmente se prometen a los inversionistas en la fase de capitalización; pues el fiduciario se limita únicamente a recibir aportes, administrar en sus carteras colectivas y poner a disposición del constructor los recursos cuando es alcanzado el punto de equilibrio.

Así las cosas, si el negocio es tan abierto para la recepción de fondos y claramente comporta una serie de riesgos sobre los cuales el consumidor financiero no tiene conciencia, nos cuestionamos sobre el por qué el gobierno nacional no exigió que la estructuración de estos negocios se hiciera bajo el esquema de una oferta pública de valores<sup>2</sup>.

Bajo ese entendido, el negocio fiduciario en Colombia queda sectorizado en beneficio de algunos particulares que aprovechan la inacción del Estado, apoyados además en las declaraciones de indemnidad del fiduciario quien por vía de convención se exonera de toda responsabilidad civil frente a las reclamaciones de los potenciales afectados con la ejecución del mismo.

#### 4. Referencias.

- [1] Camacol, Boletín técnico Indicadores Económicos Alrededor de la Construcción – IEAC III trimestre de 2016.
- [2] Circular Básica Jurídica CE 007 de 2006. Superintendencia Financiera De Colombia.
- [3] Decreto N° 410. Código del Comercio Colombiano. Diario oficial 33.339, Bogotá, Colombia, del 16 de junio de 1971.
- [4] Ley N° 45. Diario Oficial 19137 a 19139, Bogotá, Colombia, del 6 de agosto de 1923.
- [5] Rodríguez Azuero, S., (2002). Contratos Bancarios y su significación en América Latina, quinta edición, Bogotá D.C., Colombia: Editorial Legis.

---

<sup>2</sup> La oferta pública de valores tiene dos presupuestos: (i) se dirige al público en general o (ii) a 100 o más inversionistas determinados, con el propósito de captar recursos del público. Los valores que se ofrezcan públicamente deben estar registrados en el Registro Nacional de Valores y Emisores (RNVE) y la oferta requiere la autorización previa de la Superintendencia Financiera de Colombia (SFC).

# Mejora de la interfaz diseño-construcción en la ciudad de Loja

## Improving of the interface design-construction in Loja city

Leonardo Pacheco<sup>1</sup>, Lorena Alvarado<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.

<sup>2</sup>Universidad Técnica Particular de Loja. Loja, Ecuador.  
nayopacheco@hotmail.com, teléfono: +593 99 760 5479

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historial del  
artículo:

Recibido  
06-04-2017  
Aceptado  
20-01-2018  
Publicado  
28-02-2018

Palabras Clave:  
Interfaz diseño-  
construcción  
Mejora continua  
Proyecto ejecutivo  
Modelado 3D.

Article history:

Received  
06-04-2017  
Accepted  
20-01-2018  
Available  
28-02-2018

Keywords:  
Interface design-  
construction  
Continuous  
improvement  
Executive project  
3d modeling

### Resumen

---

Se propuso una herramienta de mejora de la interfaz diseño-construcción, basada en el método Kaizen, para reducir los defectos de diseño y optimizar los recursos de la construcción en la ciudad de Loja, Ecuador. La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, se usó la recolección de datos a través de encuestas y estudios de caso para identificar los problemas, establecer parámetros de mejora y aplicarlos en las obras arquitectónicas.

La investigación fue experimental, se identificó la variable independiente "mejora de la interfaz diseño-construcción" y se analizó las consecuencias de las variables dependientes "defectos de diseño" y "recursos en la construcción". La encuesta realizada determinó el nivel de aplicación de las etapas del proceso diseño y construcción. En los casos de estudio se evaluó la interfaz diseño-construcción, se determinó los defectos de diseño y se estableció los parámetros de mejora. Para el desarrollo de la herramienta se aplicó el método Kaizen, principio de Pareto e indicadores de eficiencia como propuesta de mejora. Tanto en la encuesta como en los casos de estudio se realizaron las mediciones a través del escalamiento de Likert para obtener valores cuantificables.

La interfaz diseño-construcción comprende las etapas: proyecto ejecutivo y modelado 3D, en las que se detectó mayor incidencia de defectos de diseño: Para solucionarlos se creó hojas de comprobación como herramienta que permitió la mejora continua. La implementación de la herramienta propuesta tuvo varios beneficios para los diseñadores y constructores por la facilidad de proponer mejoras, además la implementación es para aquellos profesionales que no tienen recursos económicos para ejecutar sistemas complejos y costosos. Así como también, contribuyó a evitar la producción de residuos y retrabajo, tanto en la oficina de diseño como en la obra al detectar a tiempo los problemas.

### Abstract

---

A design-build interface improvement tool based on the Kaizen method was proposed to reduce design defects and optimize construction resources in Loja, Ecuador. The research took a quantitative approach, using data collection through surveys and case studies to identify problems, establish improvement parameters and apply them in architectural building.

The research was experimental, the independent variable "improving the design-build interface" was identified and the consequences of the dependent variables "design defects" and "resources on construction" were analyzed. The survey carried out determined the level of application of the design stages and construction process. In the case studies was evaluated the design-build interface, determined design defects and established improvement parameters. For the development of the tool the Kaizen method, Pareto principle and efficiency indicators were applied as an improvement proposal. In both the survey and in the case studies measurements were made through Likert scaling to obtain quantifiable values.

The design-construction interface comprises the stages: executive project and 3D modeling, in which a higher incidence of design defects was detected. To solve them, check lists were created as a tool that allowed continuous improvement. The implementation of the proposed tool had several benefits for the designers and constructors for the ease of proposing improvements and their implementation is for those professionals who do not have the economic resources to execute complex and expensive systems. It also contributed to avoid the production of waste and work, both in the design office as and in site to detect problems in time.

## 1. Introducción.

El proyecto o proceso de producción de la arquitectura se compone de la fase de diseño y la fase de construcción. El enlace, relación o intersección entre éstas se denomina interfaz. En la presente investigación las etapas que se intersecan entre fases son proyecto ejecutivo y modelado 3D.

La recopilación histórica indica que la interfaz diseño-construcción se conoce desde la antigua Mesopotamia y se encuentra en el Código de Hammurabi (1800 a.C.) donde se fija que la responsabilidad del diseño y construcción es del “arquitecto” [14]. En la época greco-romana diseñar y construir son componentes integrados e indivisibles. En el medioevo los “arquitectos” son los albañiles más experimentados. No existe separación entre el dibujo de la obra y labrar la piedra para ser reconocido como tal, debe prepararse en ambas artes. En el renacimiento la complejidad de los proyectos aumentó y por tal razón el diseño y construcción evolucionaron como disciplinas distintas, donde el constructor se relaciona únicamente con el trabajo de obra. En la revolución industrial, con el surgimiento de nuevos materiales que necesitaban un conocimiento exacto de sus propiedades físico – mecánicas, aparece la figura del ingeniero y se separaron definitivamente la labor de diseñar y construir. Hoy en plena revolución informática en proceso, aparece la figura de Director de Proyecto, o “Project Manager” en inglés, como especialista en el manejo de la información del proyecto, separando las actividades de diseñar, calcular, construir y coordinar [10]. Así como se muestra en la **Figura 1**.

Algunos estudios realizados en otros países sobre la interfaz diseño-construcción como el de Sugumaran & Lavanya [14] han indicado que la forma en que se diseña y se construyen edificios ha evolucionado significativamente desde la integración implícita entre diseño y construcción que existía en la antigüedad, hasta la separación explícita con base en el ideal de conocimiento profesional especializado que rige en la actualidad. Es importante estudiar la interfaz diseño-construcción para minimizar los defectos de diseño y maximizar los recursos en la construcción, dado que la escasa comunicación entre especialistas durante el diseño ocasiona decisiones desacertadas y alto número de cambios, así la construcción genera retrasos y costos en exceso.

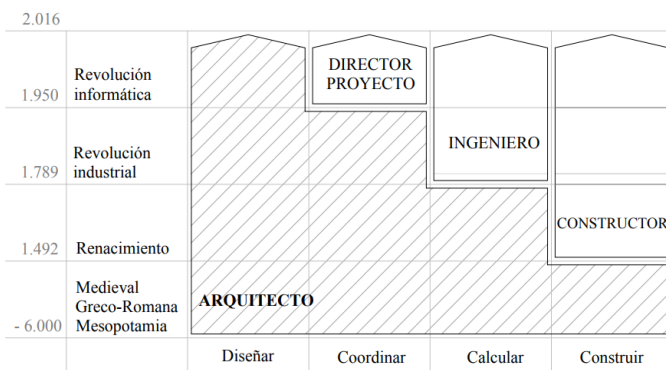
En la industria de la construcción la incompatibilidad entre especialidades impide que los integrantes del equipo de proyecto puedan intercambiar información de forma rápida y precisa; esto es la causa de múltiples problemas, como el aumento de costos, plazos y descoordinación general del proyecto [13].

El impacto de los cambios en la interfaz diseño-construcción no se entienden y rara vez son reconocidos en términos de eficiencia. Las horas de trabajo invertidas por los diseñadores en los cambios han sido estimadas entre un 40 y 50% del total del proyecto [14].

Si las necesidades del cliente no son claras en un proyecto de construcción, es probable que resulte un bajo cumplimiento de las expectativas o existan varias reformas de diseño durante el proceso del proyecto que llevan a sobrecostos y pérdida entre los participantes del proyecto. Resulta complejo la puesta en práctica de los requerimientos del cliente en la construcción [5].

Se identificó la reducción de defectos de diseño en las actividades que producen “residuos” y agregan “valor” durante el proceso de diseño y construcción. [14], por ende la eficiencia de la construcción está determinada directamente por la calidad del diseño basada en los requerimientos y necesidades del cliente y su entorno, y por lo tanto a mayor calidad de diseño, menor desperdicio en los recursos [8]

Algunos estudios realizados en los últimos años a nivel latinoamericano muestran que desde los años noventa el nivel de pérdidas en la construcción se redujo con la adopción de planes y certificaciones de calidad ISO [9].



**Figura 1:** Evolución de actividades, industria de la construcción (Fuente: Loyola & Goldsack, 2010).



En México las estadísticas muestran que un 25% de los proyectos fallan por completo, el 50% finalizan a destiempo y fuera de presupuesto, y solo el 25% terminan a tiempo y cumpliendo los presupuestos. Es por esto que el éxito de un proyecto de construcción depende de las funciones administrativas. Sin embargo, es evidente que en esta industria existen problemas que generan pérdidas debido a la deficiencia de una metodología que permita la reducción de los mismos [2].

En Chile el proceso de diseño se entiende en tres formas: como proceso de transformación de entradas y salidas, flujo de materiales a través de espacio y tiempo, y producción de valor para clientes. Por medio de la recolección de datos y entrevistas con expertos se determinó en el estudio que los principales problemas son: la mala calidad de diseño, escasos estándares de diseño y poca constructividad. La revisión de los principales defectos de diseño permite crear herramientas para prevenir la aparición de estos defectos. Además, para algunas empresas de construcción el principal problema en los proyectos son los continuos cambios que realizan los propietarios en los diseños, ya que afectan directamente la productividad y calidad, impactando en el tiempo de ejecución y costo de los proyectos [14].

En Colombia más del 70% de los proyectos de construcción no cumplen su cronograma de ejecución. El 85% de estos asumen sobrecostos en el proceso constructivo y el 63,4% de los proyectos producen accidentabilidad por el incumplimiento de las normas de seguridad industrial. Este estudio determinó que la causa principal de los problemas mencionados es la escasa gestión y deficiencia de herramientas administrativas que permitan hacer de la industria de la construcción competitiva [15].

En Perú la principal causa de las pérdidas que se originan en la construcción de edificaciones radica en la elaboración no optimizada de proyectos [10].

Las investigaciones de los países latinoamericanos hacen referencia a los problemas que se presentan en el proceso de diseño y la construcción, la pérdida de recursos tanto del propietario como del constructor.

En Ecuador las investigaciones sobre la interfaz diseño-construcción son escasas, realizan análisis de diseño y construcción por separado. Según algunas definiciones la construcción es el estudio de la ciencia, tecnología y técnicas de ensamblaje, levantamiento y mantenimiento de estructuras públicas, comerciales, industriales y residenciales. En el 2014, la industria de la construcción tuvo una importante contribución a

la economía con una inversión de USD. 6.938 millones, equivalente al 9,9% del producto interno bruto, ocupando un puesto importante dentro de las actividades económicas [1].

Según [7] se otorga 28.379 permisos de construcción a nivel nacional, el 86,9% corresponde a construcciones residenciales, el 7,7% a no residenciales y el 5,4% a construcciones mixtas. De este registro los valores altos corresponden a las ciudades de Cuenca, Guayaquil, Ambato, Daule y Loja. La investigación se desarrolla en Loja, donde el municipio emite 1.610 permisos de construcción que representan el 5,67% del total en Ecuador de forma anual.

De acuerdo a los estudios realizados, las principales causas de los problemas en la interfaz diseño-construcción son: las necesidades del cliente poca claras, continuos cambios, escasa comunicación entre especialistas, incompatibilidad entre especialidades, diseños con baja calidad, ausencia de metodología y herramientas de mejora. Es así que debido a esta problemática es necesario la aplicación de un método que permita una mejora continua que detecte los problemas a tiempo para optimizar los recursos de forma cíclica y que no sea una imposición.

El método viable es el Kaizen. El método Kaizen surge en marzo de 1949 cuando se forma la Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros con el fin de desarrollar y difundir ideas de control de calidad. En 1950 el estadounidense W.E. Deming es invitado a Japón para enseñar el control de calidad estadístico, sus aportes fueron claves para la aplicación del método Kaizen. En los años ochenta este método convierte a Japón en la primera potencia económica del mundo [6]. El término "Kaizen" se introdujo en América en 1986 al publicar Masaaki Imai, el libro "Kaizen: La Clave de la Ventaja Competitiva Japonesa" que tuvo amplia aceptación entre industriales y empresas que requerían de un método de mejora continua [16]. Imai explica que en el lenguaje japonés Kaizen significa "Mejora Continua" y que en la práctica pretende involucrar por igual a todos los miembros de la organización en el proceso que se está analizando y a costo relativamente bajo para la empresa.

El método Kaizen es cíclico y sirve para analizar los problemas, corregirlos y que estos no vuelvan a presentarse mediante la aplicación de disciplina y orden. Además, aumenta la productividad con poca inversión económica [6].

La aplicación del método Kaizen en la presente investigación es a través del ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar), desarrollado por W.E. Deming. Este ciclo es un proceso mediante el cual se fijan nuevos estándares sólo para ser objetados, revisados y sustituidos por estándares nuevos [6].

El objetivo general de la investigación es proponer una herramienta de mejora de la interfaz diseño-construcción basada en el método Kaizen, para reducir los defectos de diseño y optimizar los recursos de la construcción en la ciudad de Loja. Para ello, será necesario:

- Investigar sobre la interfaz diseño-construcción y el método Kaizen para conocer la conceptualización de ambas temáticas.
- Evaluar la interfaz diseño-construcción mediante un estudio de campo para determinar la problemática en la ciudad de Loja.
- Establecer parámetros de mejora de la interfaz diseño-construcción para reducir los defectos de diseño.
- Proponer una herramienta de mejora de la interfaz diseño-construcción para optimizar los recursos de la construcción en la ciudad de Loja.

## 2. Materiales y métodos.

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo. Se usó la recolección de datos a través de encuestas y estudios de caso para establecer una herramienta basada en el método Kaizen y comprobar la mejora de la interfaz diseño-construcción en la ciudad de Loja.

El tipo de estudio que abordó la investigación fue experimental. Se identificó la variable independiente “mejora de la interfaz diseño-construcción” y se analizó las consecuencias de las variables dependientes “defectos de diseño” y “recursos en la construcción”.

Los datos de la encuesta y estudios de caso fueron recolectados en la ciudad de Loja, Ecuador. La encuesta realizada sirvió para determinar el nivel de aplicación de las etapas de diseño y construcción. Los estudios de caso se realizaron para evaluar la interfaz diseño-construcción, determinar los defectos de diseño y establecer parámetros de mejora.

El planteamiento base para la toma de decisiones es la investigación de Alarcón y Mardones (1997) en su propuesta estudio experimental: identificación de los problemas y soluciones de diseño

Se realizaron 279 encuestas, los datos fueron recolectados del 09/ene/2017 al 31/ene/2017. La población se obtuvo mediante la fórmula estadística de Gauss (Ecuación 1) con una confiabilidad de 95% y con un error admisible del 5%.

$$N = \frac{n\sigma^2 Z^2}{(n-1)e^2 + \sigma^2 Z^2} \quad (1)$$

Donde  $N$  = Tamaño de la muestra (No. de unidades a determinarse);  $\sigma^2$  = Varianza de la población respecto a las principales características que se van a presentar. Es un valor constante que equivale a 0.5;  $n$  = Universo o número de unidades de la población total;  $Z^2$  = Valor obtenido mediante niveles de confianza o nivel de significancia con el que se va a realizar el tratamiento de las estimaciones. Es un valor constante que su se lo toma en relación al 95% equivale a 1.96;  $n - 1$  = Es una corrección que se usa para muestras grandes mayores a de 30;  $e^2$  = Límite aceptable de error muestral, que generalmente varía entre 0.01 y 0.09 para este caso se tomó el valor de 0.05 que equivale al 5%.

Cuya muestra resulta del promedio de profesionales que obtuvieron una licencia de construcción en el municipio de Loja entre 2012 y 2016.

Los estudios de caso consistieron en evaluar 15 proyectos de vivienda unifamiliar de dos plantas de entre 101 a 200 m<sup>2</sup>. El tamaño de la muestra fue el mínimo establecido para un estudio experimental cuantitativo [4]. Las características de los proyectos corresponden a las más frecuentes entre 2012 y 2016 al momento de obtener una licencia de construcción. La evaluación se realizó sobre la información y documentación del proyecto que poseía el constructor al momento de iniciar la obra y comprobación del cumplimiento al finalizarla.

Para el desarrollo de la herramienta se aplicó el método Kaizen, principio de Pareto e indicadores de eficiencia. Tanto en la encuesta como en los estudios de caso se realizaron las mediciones a través del escalamiento de Likert.

El escalamiento de Likert fue desarrollado por Rensis Likert en 1932. Consiste en un conjunto de cinco puntos que permite valorar el grado de conformidad o cumplimiento respecto de una acción, donde a cada punto se le asigna un valor numérico [4].

En la herramienta se incorporó la mejora continua aplicando el método Kaizen. Se escogió este método debido a que involucra a todos los miembros de la organización por igual, es cíclico, estudia los problemas, los corrige y se preocupa para que no se vuelvan a presentar mediante la disciplina y orden. Además aumenta la productividad con poca inversión económica.

El método Kaizen fue aplicado en la herramienta a través del ciclo Deming o PHVA, que es una estrategia de mejora continua de la calidad en cuatro pasos. Empieza con un estudio de la situación actual, donde se reúnen los datos en hoja de comprobación que van a usarse en la propuesta del plan de mejoramiento “parámetros de mejora” y “reducción de defectos de diseño”. Una vez que el plan ha sido terminado, es ejecutado “puesta en práctica”. Luego, se revisa la ejecución para observar si han producido los mejoramientos “optimización de recursos en la construcción”. Si ha tenido éxito el experimento, se emprende la acción final, la estandarización metodológica, para asegurar que la inserción de los nuevos métodos serán aplicados de forma continua para el mejoramiento sostenido “acciones correctivas” [6]. Además en la etapa de planificar, dentro de la reducción de defectos de diseño, se aplicó el principio de Pareto para la selección de datos y en la etapa de verificar, la optimización de recursos se basó en la eficiencia.

El principio de Pareto, más conocido como el principio del 80/20, plantea que un 20% de los factores o causas se concentra el 80% del efecto [3]. La aplicación del 20% más alto de los parámetros de mejora, reducen los defectos de diseño del interfaz diseño-construcción en un 80%; es así que para alcanzar la mejora continua se establece la regla que únicamente los parámetros de mejora son aptos si los valores se encuentran sobre el 80%. Convirtiéndose así el principio de Pareto en el test de significancia de ésta investigación.

El análisis de la eficiencia se refiere a la optimización de recursos o entradas del proceso, que deben ser obtenidos al mejor costo, tiempo oportuno, cantidad adecuada y de calidad. Por lo que se incluyen medios humanos, materiales y económicos [11]. Es por eso que en la herramienta (%) eficiencia es lo mismo que (%) optimización de recursos y está dada por la siguiente relación:  $(\text{Puesta en práctica} \times \text{Reducción de defectos de diseño}) / \text{Planificación esperada}$  o 100%.

Para comprobar la ejecución de la herramienta, se aplica en un caso de vivienda unifamiliar de dos plantas en la ciudad de Loja. Se registró el cumplimiento de parámetros de mejora, reducción de defectos y la puesta en práctica. Al ser una herramienta de mejora el profesional que la aplique corregirá sus componentes para que llegue a la optimización de recursos esperados. Al ser cíclica, se propone la aplicación de un flujograma con la finalidad de entender el proceso que se aplica.

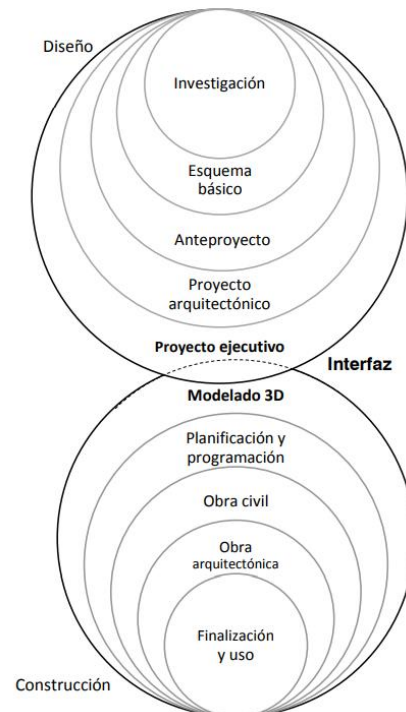
### 3. Resultados.

#### 3.1. Proceso de producción de la arquitectura.

El proceso de producción de la arquitectura o proyecto se

organiza jerárquicamente por fases, etapas, factores, actividades y requerimientos. Está conformado por la fase de diseño y la fase de construcción. Según la revisión bibliográfica la fase de diseño comprende las etapas de investigación, esquema básico, anteproyecto, proyecto arquitectónico, proyecto ejecutivo y modelado 3D. La fase de construcción engloba las etapas de proyecto ejecutivo, modelado 3D, planificación y programación, obra civil, obra arquitectónica, finalización y uso.

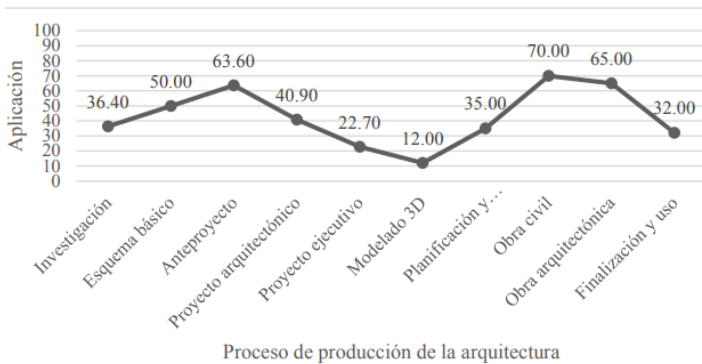
Como se muestra en la **Figura 2**, la intersección de la fase de diseño y la fase de construcción generan la zona de interfaz en las etapas de proyecto ejecutivo y modelado 3D. Además, la figura muestra que a medida que las fases se acercan una de otra, la cantidad de información aumenta, y a medida que se alejan, la cantidad de información disminuye. Las fases que contienen mayor cantidad de información están en la zona de interfaz.



**Figura 2.** Etapas diseño – construcción y su interfaz.

Para determinar el grado de ejecución de las etapas del proceso de producción de la arquitectura diseño-construcción en la ciudad de Loja se realizó una encuesta a los profesionales.

La **Figura 3**, valorada por medio del escalamiento de Likert, muestra el porcentaje de encuestados que ejecutan muy a menudo cada etapa. Esto demuestra que el 63% de las obras civiles son ejecutadas con un anteproyecto. Así mismo las etapas de interfaz diseño-construcción, como son el proyecto ejecutivo y el modelado 3D, se ejecutan en un 22% y 12% respectivamente en las obras. Lo que significa trabajar sobre ellas para mejorar el proceso de producción de la arquitectura.



**Figura 3.** Aplicación del proceso de producción de la arquitectura diseño – construcción en Loja.

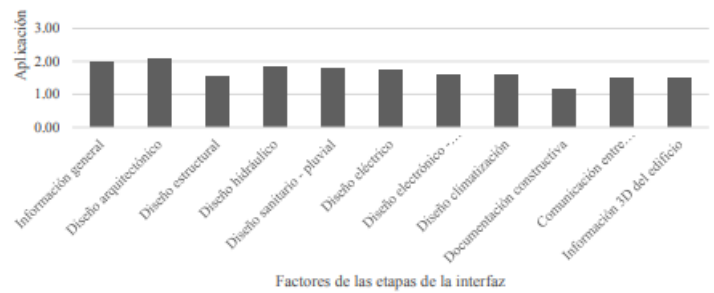
### 3.2. Evaluación de la interfaz diseño – construcción.

Luego de la revisión y análisis del proceso de producción de la arquitectura, la investigación se centró en el estudio de la zona de interfaz proyecto ejecutivo y modelado 3D, la cual debe desarrollarse entre el diseñador y constructor formando un equipo.

El proyecto ejecutivo es la solución constructiva del proyecto arquitectónico. Agrupa detalles y especificaciones de todos los materiales, elementos, sistemas constructivos y equipos. Debe llevarse a cabo en su totalidad antes del inicio de la obra. En base a la revisión bibliográfica, se compone por los factores de: información general, diseño arquitectónico, diseño estructural, diseño hidráulico, diseño sanitario y pluvial, diseño eléctrico, diseño electrónico y telecomunicaciones, diseño climatización, documentación constructiva y comunicación entre especialistas. Cada factor a su vez se compone de actividades que contribuyen al desarrollo de la etapa [12].

El Modelado 3D se refiere a la representación digital en tres dimensiones del proyecto ejecutivo. Origina el modelo de información del edificio, que comprende información geográfica, geometría del edificio, relaciones espaciales, cantidades y propiedades de sus componentes. Es el primer acercamiento a la construcción de la obra. Según la bibliografía, el factor que lo compone es información 3D del edificio, además se compone de actividades que contribuyen al desarrollo de la etapa [12].

La evaluación de las etapas del proyecto ejecutivo y modelado 3D se realizó a través de los estudios de caso. Estos se valoraron de acuerdo al escalamiento de Likert en cinco puntos: muy bajo (1), bajo (2), medio (3), alto (4) y muy alto (5). Cada etapa del proyecto ejecutivo está directamente influenciada por los factores que son el resultado de la valoración de las actividades. En la **Figura 4** se muestran los resultados de la evaluación de los factores que conforman cada etapa:



**Figura 4.** Aplicación de los factores de las etapas de la interfaz en Loja.

De acuerdo a la evaluación de la interfaz diseño-construcción que se muestra en la figura anterior, los factores que se encuentran en escala muy baja (1) son: documentación constructiva, comunicación entre especialistas e información 3D del edificio.

El análisis de los estudios de caso detectó y jerarquizó las actividades de la interfaz diseño-construcción que no permiten el óptimo cumplimiento de las etapas de proyecto ejecutivo y modelado 3D. La **Tabla 1** presenta los resultados.

**Tabla 1.** Aplicación de las actividades interfaz diseño-construcción en Loja. (Autor)

No.	ACTIVIDADES INTERFAZ DISEÑO-CONSTRUCCIÓN	APLICACIÓN (%)
1	Control de cambios entre especialidades	20.00
2	Necesidades del cliente	20.00
3	Registro de cambios del propietario	20.00
4	Cronograma de obra	21.33
5	Volumen de obra y costos	21.33
6	Especificaciones estructurales	22.67
7	Especificación de detalles constructivos	22.67
8	Detalles de carpinterías	22.67
9	Detalles electrónicos - telecomunicaciones en modelo 3D	24.00
10	Detalles climatización en modelo 3D	24.00
11	Especificaciones climatización	25.33
12	Especificaciones arquitectónicas	25.33
13	Especificaciones electrónicas y telecomunicaciones	25.33
14	Procedimiento de ejecución de especificaciones constructivas	25.33
15	Detalles estructurales en modelo 3D	25.33
16	Detalles sanitarios - pluviales en modelo 3D	25.33
17	Detalles eléctricos en modelo 3D	26.67
18	Modelado 3D acorde con materiales de diseño arquitectónico	28.00
19	Detalles arquitectónicos en modelo 3D	29.33
20	Dimensiones y ejes en diseño arquitectónico	29.33
21	Control de errores entre especialidades	30.67
22	Dimensiones en diseño eléctrico	30.67
23	Especificaciones eléctricas	30.67
24	Detalles hidráulicos en modelo 3D	30.67
25	Dimensiones en diseño sanitario y pluvial	30.67
26	Lectura de vistas de diseño electrónico y telecomunicaciones	30.67
27	Simbología y codificaciones estructurales	30.67
28	Detección de conflictos en el modelo 3D	32.00
29	Dimensiones en diseño hidráulico	32.00
30	Representación gráfica de diseño climatización	32.00

**Tabla 1.** Continuación.

31	Representación gráfica de diseño estructural	32.00
32	Control de entregas entre especialidades	32.00
33	Informes técnicos entre especialidades	32.00
34	Especificaciones sanitarias y pluviales	32.00
35	Simbología y codificaciones arquitectónicas	32.00
36	Simbología y codificaciones diseño eléctrico	32.00
37	Dimensiones y ejes en diseño estructural	32.00
38	Dimensiones del modelo 3D concuerdan con plano ejecutivo	32.00
39	Registro de soluciones de diseño en modelo 3D	33.33
40	Documentos de registro de aprobaciones internas entre especialidades	33.33
41	Codificación de instalaciones en modelo 3D de acuerdo a estudios	33.33
42	Representación gráfica de diseño electrónico y telecomunicaciones	33.33
43	Dimensiones en diseño climatización	33.33
44	Simbología y codificaciones hidráulicas	33.33
45	Simbología y codificaciones climatización	34.67
46	Lectura de vistas de diseño climatización	34.67
47	Simbología y codificaciones electrónicas y telecomunicaciones	34.67
48	Especificaciones hidráulicas	34.67
49	Simbología y codificaciones sanitarias y pluviales	34.67
50	Dimensiones en diseño electrónico y telecomunicaciones	36.00
51	Lectura de vistas diseño estructural	37.33
52	Lectura de vistas diseño hidráulico	37.33
53	Lectura de vistas diseño sanitario y pluvial	38.67
54	Lectura de vistas diseño eléctrico	38.67
55	Representación gráfica de diseño eléctrico	41.33
56	Representación gráfica de diseño hidráulico	44.00
57	Representación gráfica de diseño sanitario y pluvial	44.00
58	Descomposición del modelo 3D	44.00
59	Rotulación del proyecto	48.00
60	Áreas de proyecto	50.67
61	Lectura de vistas diseño arquitectónico	58.67
62	Escalas del proyecto	60.00
63	Representación gráfica de diseño arquitectónico	61.33

El porcentaje del cumplimiento muy bajo hace referencia a la falta o falla de alguna parte o característica de las actividades, y por ende se convierten en defectos de diseño. Su incidencia está comprendida en un rango de 0% a 29,99% del total de casos analizados. Son 20 actividades con defectos que necesitan ser mejoradas o corregidas para obtener la optimización en los recursos previo a la construcción. En la ciudad de Loja la práctica de proyecto ejecutivo es muy baja y el modelado 3D tiene poca aplicación, como se demuestra en la **Tabla 2**. Los defectos son la clave para determinar los parámetros de mejora.

### 3.3. Parámetros de mejora.

Un parámetro es la información necesaria y orientativa para valorar o evaluar una determinada actividad o situación, que puede generar comparaciones o predicciones mediante un valor asignado. Se busca corregir defectos de diseño mediante la

aplicación de actividades que sirvan de guía o referencia para mejorar la calidad de la interfaz. Las actividades que fueron valoradas con un bajo nivel de cumplimiento serán las seleccionadas para implantar los parámetros de mejora y estas agrupadas según el grado de especialidad, como se observan en la

**Tabla 2.**

**Tabla 2.** Parámetros de mejora interfaz diseño-construcción en Loja.

Información general	1.	Necesidades del cliente
	2.	Registro de cambios del propietario
	3.	Especificaciones estructurales
Especificaciones de estudios	4.	Especificaciones climatización
	5.	Especificaciones arquitectónicas
	6.	Especificaciones electrónicas y telecomunicaciones
Dimensionamiento	7.	Dimensiones y ejes en diseño arquitectónico
	8.	Cronograma de obra
	9.	Volumen de obra y costos
Documentación constructiva	10.	Especificación de detalles constructivos
	11.	Detalles de carpinterías
	12.	Procedimiento de ejecución de especificaciones constructivas.
Comunicación entre especialidades	13.	Control de cambios entre especialidades
	14.	Detalles electrónicos - telecomunicaciones en modelo 3D
	15.	Detalles climatización en modelo 3D
Modelado 3D	16.	Detalles estructurales en modelo 3D
	17.	Detalles sanitarios - pluviales en modelo 3D
	18.	Detalles eléctricos en modelo 3D
	19.	Modelado 3D acorde con materiales de diseño arquitectónico
	20.	Detalles arquitectónicos en modelo 3D

Una vez identificados los parámetros de la interfaz diseño-construcción se establecen los puntos de partida para su mejoramiento. Es necesario contar con una herramienta que permita su control y seguimiento.

### 3.4. Herramienta de mejora de la interfaz.

La herramienta está compuesta de dos hojas de comprobación:

*3.4.1. Lista de control, contiene los requerimientos de las actividades, en donde se medirá la reducción de defectos de diseño y la puesta en práctica.*

Para determinar con exactitud la reducción de defectos de diseño y puesta en práctica se propone una lista de control que abarca todos los requerimientos de las actividades que conforman los parámetros de mejora, medidos con valoración de cumple (10) y no cumple (0) (**Tabla 3**).



**Tabla 3.** Modelo de lista de control con valores óptimos.

No.	PARÁMETROS DE MEJORA	Reducción defectos diseño (%)	Puesta práctica (%)
	* Escala de valoración: óptimo (100%), excelente (80%), muy aceptable (70%), aceptable (60%), significativo (50%), parcial (40%), limitado (30%), deficiente (20%), insuficiente (10%), nulo (0%).	Condición $\geq 80\%$	Condición $\leq (\%)$ Reducción defectos diseño
<b>1</b>	<b>Necesidades del cliente</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
a	Datos cliente (s)	10	10
b	Ubicación del terreno	10	10
c	Dimensiones del terreno	10	10
d	Documentos legales	10	10
e	Capacidad de inversión	10	10
f	Espacios a proyectarse	10	10
g	Condicionantes municipales	10	10
h	Condicionantes de clima	10	10
i	Factibilidad	10	10
j	Alcance de la obra	10	10
<b>2</b>	<b>Registro de cambios del propietario</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
a	Hoja tipo de procedimiento	10	10
b	Datos de la persona que solicita cambios	10	10
c	Fecha y hora de cambios	10	10
d	Motivo de los cambios	10	10
e	Viabilidad de los cambios	10	10
f	Rediseños según cambios solicitados	10	10
g	Codificación según número de cambios	10	10
h	Datos del ejecutor de cambios	10	10
i	Firma del ejecutor de cambios	10	10
j	Firma de conformidad y aceptación del propietario	10	10
<b>3</b>	<b>Especificaciones estructurales</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
a	Título de rubro	10	10
b	Descripción del rubro	10	10
c	Procedimiento de ejecución del rubro	10	10
d	Condiciones de ejecución del rubro	10	10
e	Unidades de medición del rubro	10	10
f	Recursos humanos a intervenir	10	10
g	Equipo y maquinaria utilizado en el rubro	10	10
h	Herramienta utilizada en el rubro	10	10
i	Control de calidad del rubro	10	10
j	Control de seguridad industrial en el rubro	10	10
<b>4</b>	<b>Especificaciones climatización</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
a	Título de rubro	10	10
b	Descripción del rubro	10	10
c	Procedimiento de ejecución del rubro	10	10
d	Condiciones de ejecución del rubro	10	10
e	Unidades de medición del rubro	10	10
f	Recursos humanos a intervenir	10	10

g	Equipo y maquinaria utilizado en el rubro	10	10
h	Herramienta utilizada en el rubro	10	10
i	Control de calidad del rubro	10	10
j	Control de seguridad industrial en el rubro	10	10
<b>5</b>	<b>Especificaciones arquitectónicas</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
a	Título de rubro	10	10
b	Descripción del rubro	10	10
c	Procedimiento de ejecución del rubro	10	10
d	Condiciones de ejecución del rubro	10	10
e	Unidades de medición del rubro	10	10
f	Recursos humanos a intervenir	10	10
g	Equipo y maquinaria utilizado en el rubro	10	10
h	Herramienta utilizada en el rubro	10	10
i	Control de calidad del rubro	10	10
j	Control de seguridad industrial en el rubro	10	10
<b>6</b>	<b>Especificaciones electrónicas y telecomunicaciones</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
a	Título de rubro	10	10
b	Descripción del rubro	10	10
c	Procedimiento de ejecución del rubro	10	10
d	Condiciones de ejecución del rubro	10	10
e	Unidades de medición del rubro	10	10
f	Recursos humanos a intervenir	10	10
g	Equipo y maquinaria utilizado en el rubro	10	10
h	Herramienta utilizada en el rubro	10	10
i	Control de calidad del rubro	10	10
j	Control de seguridad industrial en el rubro	10	10
<b>7</b>	<b>Dimensiones y ejes en diseño arquitectónico</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
a	Nomenclatura de ejes	10	10
b	Ejes transversales	10	10
c	Ejes longitudinales	10	10
d	Nomenclatura para dimensiones	10	10
e	Dimensiones en planta	10	10
f	Dimensiones en alzados	10	10
g	Dimensiones en secciones	10	10
h	Niveles en planta	10	10
i	Niveles en alzados	10	10
j	Niveles en secciones	10	10
<b>8</b>	<b>Cronograma de obra</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
a	Datos del constructor	10	10
b	Lugar y fecha de inicio	10	10
c	Listado de rubros a ejecutarse	10	10
d	Unidades de los rubros	10	10
e	Volúmenes de obra	10	10
f	Tiempo de ejecución de la obra	10	10
g	Actividades antecesoras y predecesoras	10	10
h	Costos de los rubros	10	10



**Tabla 3.** Continuación.

i	Segmentación de los costos por actividad	10	10
j	Aprobación del cliente (s)	10	10
<b>9</b>	<b>Volumen de obra y costos</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
a	Datos del responsable de obtener volúmenes	10	10
b	Datos del responsable de obtener costos	10	10
c	Listado de rubros a ejecutarse	10	10
d	Estratificación de rubros	10	10
e	Anexos planimétricos	10	10
f	Base de datos de costos unitarios, actualizados	10	10
g	Costos indirectos	10	10
h	Costos de impuestos	10	10
i	Análisis de imprevistos	10	10
j	Aprobación del cliente (s)	10	10
<b>10</b>	<b>Especificación de detalles constructivos</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
a	Título de rubro	10	10
b	Descripción del rubro	10	10
c	Procedimiento de ejecución del rubro	10	10
d	Condiciones de ejecución del rubro	10	10
e	Unidades de medición del rubro	10	10
f	Recursos humanos a intervenir	10	10
g	Equipo y maquinaria utilizado en el rubro	10	10
h	Herramienta utilizada en el rubro	10	10
i	Control de calidad del rubro	10	10
j	Control de seguridad industrial en el rubro	10	10
<b>11</b>	<b>Detalles de carpinterías</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
a	Listado de carpinterías a ejecutarse	10	10
b	Proceso de instalación	10	10
c	Detalle de tiempo para instalación	10	10
d	Detalles de ensamblajes	10	10
e	Detalles planimétricos	10	10
f	Detalles axonométricos	10	10
g	Detalles de tipo de material	10	10
h	Detalles de fijaciones	10	10
i	Aprobación del cliente (s)	10	10
j	Términos de referencia para contratación	10	10
<b>12</b>	<b>Procedimiento de ejecución de especificaciones constructivas</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
a	Datos del procedimiento	10	10
b	Objetivo del procedimiento	10	10
c	Alcance del procedimiento	10	10
d	Código del procedimiento	10	10
e	Número de la versión del procedimiento	10	10
f	Identificación de cambios con respecto a la última versión	10	10
g	Personal que realiza el procedimiento	10	10
h	Visto bueno de los responsables	10	10

i	Contenido de los procedimientos en cuestión	10	10
j	Anexos gráficos del procedimiento	10	10
<b>13</b>	<b>Control de cambios entre especialidades</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
a	Listado de cambios arquitectónico	10	10
b	Listado de cambios estructural	10	10
c	Listado de cambios hidro-sanitario	10	10
d	Listado de cambios eléctrico	10	10
e	Listado de cambios otras ingenierías	10	10
f	Detección de errores	10	10
g	Detección de causas	10	10
h	Detección del efecto del error	10	10
i	Propuesta de posibles soluciones	10	10
j	Legalización de cambios por parte de los especialistas	10	10
<b>14</b>	<b>Detalles electrónicos - telecomunicaciones en modelo 3D</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
a	Verificar planos y especificaciones en 2D	10	10
b	Listado de elementos que conforman la ingeniería	10	10
c	Desarrollo de capas	10	10
d	Desarrollo de bloques	10	10
e	Desarrollo de materiales	10	10
f	Codificación de cada elemento del modelado	10	10
g	Emplazamiento de cada elemento de acuerdo a las especificaciones de ingeniería	10	10
h	Convalidación de errores 2D a 3D	10	10
i	Convalidación de soluciones	10	10
j	Aprobación del especialista	10	10
<b>15</b>	<b>Detalles climatización en modelo 3D</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
a	Verificar planos y especificaciones en 2D	10	10
b	Listado de elementos que conforman la ingeniería	10	10
c	Desarrollo de capas	10	10
d	Desarrollo de bloques	10	10
e	Desarrollo de materiales	10	10
f	Codificación de cada elemento del modelado	10	10
g	Emplazamiento de cada elemento de acuerdo a las especificaciones de ingeniería	10	10
h	Convalidación de errores 2D a 3D	10	10
i	Convalidación de soluciones	10	10
j	Aprobación del especialista	10	10
<b>16</b>	<b>Detalles estructurales en modelo 3D</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
a	Verificar planos y especificaciones en 2D	10	10
b	Listado de elementos que conforman la ingeniería	10	10
c	Desarrollo de capas	10	10
d	Desarrollo de bloques	10	10
e	Desarrollo de materiales	10	10
f	Codificación de cada elemento del modelado	10	10

**Tabla 3.** Continuación.

g	Emplazamiento de cada elemento de acuerdo a las especificaciones de ingeniería	10	10
h	Convalidación de errores 2D a 3D	10	10
i	Convalidación de soluciones	10	10
j	Aprobación del especialista	10	10
<b>17</b>	<b>Detalles sanitarios - pluviales en modelo 3D</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
a	Verificar planos y especificaciones en 2D	10	10
b	Listado de elementos que conforman la ingeniería	10	10
c	Desarrollo de capas	10	10
d	Desarrollo de bloques	10	10
e	Desarrollo de materiales	10	10
f	Codificación de cada elemento del modelado	10	10
g	Emplazamiento de cada elemento de acuerdo a las especificaciones de ingeniería	10	10
h	Convalidación de errores 2D a 3D	10	10
i	Convalidación de soluciones	10	10
j	Aprobación del especialista	10	10
<b>18</b>	<b>Detalles eléctricos en modelo 3D</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
a	Verificar planos y especificaciones en 2D	10	10
b	Listado de elementos que conforman la ingeniería	10	10
c	Desarrollo de capas	10	10
d	Desarrollo de bloques	10	10
e	Desarrollo de materiales	10	10
f	Codificación de cada elemento del modelado	10	10
g	Emplazamiento de cada elemento de acuerdo a las especificaciones de ingeniería	10	10
h	Convalidación de errores 2D a 3D	10	10
i	Convalidación de soluciones	10	10
j	Aprobación del especialista	10	10
<b>19</b>	<b>Modelado 3D acorde con materiales de diseño arquitectónico</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
a	Lista de materiales de diseño arquitectónico exterior	10	10
b	Lista de materiales de diseño arquitectónico interior	10	10
c	Listado de materiales para entorno	10	10
d	Convalidación de errores y soluciones 2D	10	10
e	Verificación de capas 3D	10	10
f	Verificación de codificaciones 3D	10	10
g	Recopilación de información gráfica	10	10
h	Configuración de software de renderizado	10	10
i	Registro de pruebas de renderizado	10	10
j	Convalidación de errores y soluciones 3D	10	10
<b>20</b>	<b>Detalles arquitectónicos en modelo 3D</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
a	Verificar planos y especificaciones en 2D	10	10

b	Listado de elementos que conforman lo arquitectónico	10	10
c	Desarrollo de capas	10	10
d	Desarrollo de bloques	10	10
e	Convalidación de materiales 2D	10	10
f	Codificación de cada elemento del modelado	10	10
g	Emplazamiento de cada elemento de acuerdo a las especificaciones	10	10
h	Convalidación de errores 2D a 3D	10	10
i	Convalidación de soluciones	10	10
j	Aprobación del diseñador	10	10

Para la puesta en práctica primero debe llenarse la lista de control, la que proporciona los datos a la herramienta en sí.

#### 3.4.2. Herramienta de mejora de la interfaz diseño-construcción, que se enlazará con la lista de control.

La herramienta de mejora es una hoja de comprobación que se estructura en base al método Kaizen a través del ciclo Deming o PHVA. (Tabla 4)

**PLANIFICAR:** Compuesta por los parámetros de mejora interfaz diseño-construcción y la reducción de defectos de diseño. Los parámetros de mejora son valorados de acuerdo a la reducción de defectos de diseño. Deben cumplir la condición de ser mayor o igual al 80% (principio de Pareto). En caso de que el valor sea menor, se deberán realizar las acciones correctivas en lista de control hasta cumplirlo.

**HACER:** La puesta en práctica se evalúa al momento de finalizar la fase de construcción, donde se comprueba en obra la aplicación de los parámetros de mejora desarrollados. El porcentaje de puesta en práctica no debe superar el porcentaje de reducción de los defectos de diseño.

**VERIFICAR:** La constatación del cumplimiento de lo planificado se lo hace a través del cálculo de la eficiencia que determina la optimización de recursos. La eficiencia es la relación entre el resultado alcanzado y los recursos utilizados, es decir entre la puesta en práctica y la reducción de defectos de diseño.

**ACTUAR:** Si luego de la verificación la optimización de recursos en la construcción es  $\leq 60\%$ , el equipo del proyecto ejecuta las acciones correctivas en cada parámetro que no cumpla con la condición para solucionar en proyectos futuros. Además en esta etapa se debe implementar una estandarización metodológica para el mejoramiento continuo a través de acciones que aporten con soluciones como registros, formatos, listas de verificación y procedimientos.

Tabla 4. Modelo de herramienta con valores óptimos.

HERRAMIENTA PARA MEJORAR LA INTERFAZ DISEÑO-CONSTRUCCIÓN APLICANDO EL MÉTODO KAIZEN EN LA CIUDAD DE LOJA					
Método Kaizen: Ciclo Deming (PHVA)					
PLANIFICAR	HACER	VERIFICAR	ACTUAR		
Parámetros de mejora interfaz diseño-construcción	Reducción defectos diseño (%)	Puesta práctica (%)	Optimización recursos construcción (%)	Acciones correctivas	
* Escala de valoración: óptimo (100%), excelente (80%), muy aceptable (70%), aceptable (60%), significativo (50%), parcial (40%), limitado (30%), deficiente (20%), insuficiente (10%), nulo (0%).	Condición $\geq$ 80%	Condición $\leq$ (%) Reducción defectos diseño	Eficiencia (%)	Condición $\leq$ (60%) optimización de recursos construcción	
No.					
1	Necesidades del cliente	100	100	100	optimo
2	Registro de cambios del propietario	100	100	100	optimo
3	Especificaciones estructurales	100	100	100	optimo
4	Especificaciones climatización	100	100	100	optimo
5	Especificaciones arquitectónicas	100	100	100	optimo
6	Especificaciones electrónicas y telecomunicaciones	100	100	100	optimo
7	Dimensiones y ejes en diseño arquitectónico	100	100	100	optimo
8	Cronograma de obra	100	100	100	optimo
9	Volumen de obra y costos	100	100	100	optimo
10	Especificación de detalles constructivos	100	100	100	optimo
11	Detalles de carpinterías	100	100	100	optimo
12	Procedimiento de ejecución de especificaciones constructivas	100	100	100	optimo
13	Control de cambios entre especialidades	100	100	100	optimo
14	Detalles electrónicos - telecomunicaciones en modelo 3D	100	100	100	optimo
15	Detalles climatización en modelo 3D	100	100	100	optimo
16	Detalles estructurales en modelo 3D	100	100	100	optimo
17	Detalles sanitarios - pluviales en modelo 3D	100	100	100	optimo
18	Detalles eléctricos en modelo 3D	100	100	100	optimo
19	Modelado 3D acorde con materiales de diseño arquitectónico	100	100	100	optimo
20	Detalles arquitectónicos en modelo 3D	100	100	100	optimo

La estructura de la herramienta puede ser útil para cualquier tipo de proyecto sin distinción de uso o actividad, así mismo sirve como mecanismo para dar seguimiento a los proyectos y mejorar de forma cíclica, hasta tener la información que permita la optimización de los recursos. El usuario de la herramienta puede personalizarla para que se ajuste a su proceso de trabajo.

El proceso de mejora continua se completó con la aplicación cíclica de la herramienta, es decir, el mejoramiento de proyecto a proyecto. Le permite llevar un control de cierre de fases tanto del diseño como construcción establece los recursos a evaluar en la interfaz (Figura 5)

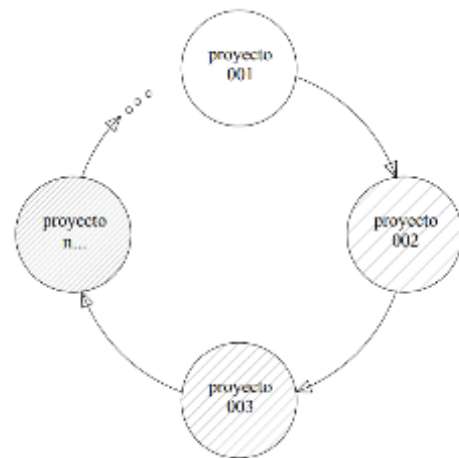


Figura 5. Herramienta de mejora de la interfaz diseño-construcción.

### 3.5. Puesta en práctica de la herramienta en un proyecto experimental.

El proyecto experimental consistió en la evaluación de una vivienda unifamiliar de 145m<sup>2</sup> distribuidos en dos plantas en la ciudad de Loja. En primer lugar se evaluó la reducción de defectos de diseño analizando toda la información y documentación del proyecto que poseía el constructor al momento de iniciar la obra,

y en segundo lugar se evaluó la puesta en práctica que consistió en valorar el cumplimiento al finalizar la fase de construcción. El propietario contrató a un arquitecto director de proyecto responsable de las fases de diseño y construcción. El diseño arquitectónico e ingenierías fueron realizados por los respectivos especialistas, bajo la supervisión y coordinación del director de proyecto. A continuación los resultados (**Tabla 5**).

**Tabla 5.** Puesta en práctica de la herramienta de mejora en un proyecto experimental.

PUESTA EN PRÁCTICA: HERRAMIENTA PARA MEJORAR LA INTERFAZ DISEÑO-CONSTRUCCIÓN APLICANDO EL MÉTODO KAIZEN EN LA CIUDAD DE LOJA					
Método - Kaizen: Ciclo Deming (PHVA)					
	PLANIFICAR	HACER	VERIFICAR	ACTUAR	
Parámetros de mejora interfaz diseño-construcción	Reducción defectos diseño (%)	Puesta práctica (%)	Optimización recursos construcción (%)	Acciones correctivas	
No.	* Escala de valoración: óptimo (100%), excelente (80%), muy aceptable (70%), aceptable (60%), significativo (50%), parcial (40%), limitado (30%), deficiente (20%), insuficiente (10%), nulo (0%).	Condición ≥ 80%	Condición ≤ (%) Reducción defectos diseño	Condición ≤ (60%) optimización de recursos construcción	
1	Necesidades del cliente	60	60	36	Registro de datos del cliente
2	Registro de cambios del propietario	0	0	0	Formato de registros
3	Especificaciones estructurales	0	0	0	Estandarización de especificaciones
4	Especificaciones climatización	0	0	0	Estandarización de especificaciones
5	Especificaciones arquitectónicas	0	0	0	Estandarización de especificaciones
6	Especificaciones electrónicas y telecomunicaciones	0	0	0	Estandarización de especificaciones
7	Dimensiones y ejes en diseño arquitectónico	50	50	25	Normalizar el dibujo
8	Cronograma de obra	0	0	0	Registro en formatos
9	Volumen de obra y costos	0	0	0	Registro en formatos
10	Especificación de detalles constructivos	0	0	0	Estandarización de especificaciones
11	Detalles de carpinterías	0	0	0	Normalizar el dibujo
12	Procedimiento de ejecución de especificaciones constructivas	0	0	0	Establecer procedimientos
13	Control de cambios entre especialidades	0	0	0	Registro en formatos
14	Detalles electrónicos - telecomunicaciones en modelo 3D	0	0	0	Estandarización de especificaciones
15	Detalles climatización en modelo 3D	0	0	0	Estandarización de especificaciones
16	Detalles estructurales en modelo 3D	0	0	0	Estandarización de especificaciones
17	Detalles sanitarios - pluviales en modelo 3D	0	0	0	Estandarización de especificaciones
18	Detalles eléctricos en modelo 3D	0	0	0	Estandarización de especificaciones
19	Modelado 3D acorde con materiales de diseño arquitectónico	20	20	4	Check list
20	Detalles arquitectónicos en modelo 3D	0	0	0	Estandarización de especificaciones

Como se observa, en los resultados no se cumplió los parámetros de mejora, la reducción de defectos de diseño tuvo una valoración por debajo de la condicionante (80%) y por ende la optimización de recursos fue nula.

Se recomienda tomar acciones correctivas como recopilar la información, comprobar formatos de registros de estandarización

de especificaciones en cada uno de los parámetros para solucionar los defectos del proyecto ejecutivo y modelado 3D. Estas acciones deben realizarse de acuerdo a la metodología que aplica el profesional en su empresa u oficina.

### 3.6. Proceso de la herramienta.

Para garantizar la mejora continua de cada proyecto es necesario establecer un proceso que permita encontrar salidas y orientar al profesional en la toma de decisiones. El diagrama de flujo representa de manera gráfica el proceso de la herramienta que responde a la interfaz diseño-construcción. La estructura está diseñada para que en caso de desviación tome las medidas

correctivas y continúe a la siguiente etapa. (Figura 6)

El proceso determina cuando tomar decisiones en la reducción de defectos de diseño para continuar con la fase de construcción, también detecta si la puesta en práctica permite optimizar los recursos y reconocer cuando se debe tomar las acciones correctivas de acuerdo a las condicionantes.

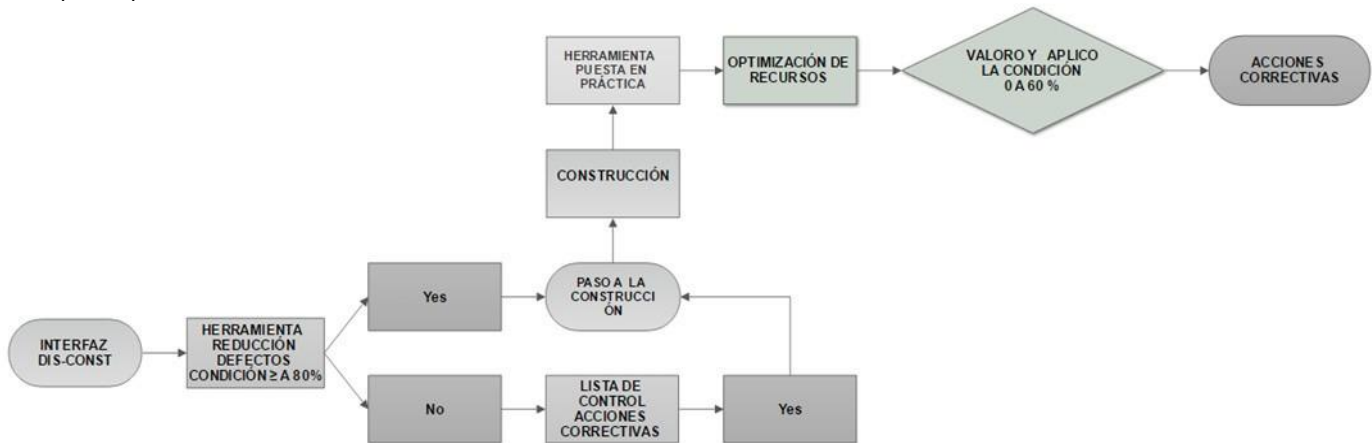


Figura 6. Proceso para aplicación de la herramienta de mejora de la interfaz.

## 4. Discusión.

En la presente investigación se determina que el proceso de producción de la arquitectura está compuesto jerárquicamente por fases, etapas, factores, actividades y requerimientos. Las etapas de proyecto ejecutivo y modelado 3D, se convierten en la interfaz diseño-construcción, poco aplicadas en la ciudad de Loja.

Los análisis de estudios de caso determinaron que la interfaz diseño-construcción en la ciudad de Loja tiene baja incidencia en los factores documentación constructiva, comunicación entre especialistas e información 3D del edificio. Así mismo en actividades de información general, especificaciones de estudios y dimensionamiento.

El bajo cumplimiento de las actividades son los defectos de diseño y para corregirlos se determinó 20 parámetros de mejora que sirven para desarrollar la herramienta bajo el esquema de mejora continua.

Se tienen dos limitaciones de la investigación, la primera es que al igual que en cualquier estudio por encuestas, la recopilación de datos puede tener influencia de respuestas poco confiables y limitación de tiempo. La segunda se debe a que los parámetros de mejora podrían variar.

El principal aporte de esta investigación es la herramienta desarrollada para medir las variables de reducción de defectos de

diseño y optimización de recursos en la construcción a través de la eficiencia detectada en obra, además de generar una mejora continua en base a su aplicación. Entre otros puntos positivos es el esquema que permite comprender el funcionamiento del proceso diseño-construcción y su interfaz, así como identificar las etapas donde los defectos de diseño generan más conflictos.

Con respecto a otros estudios se aporta claramente con la definición de la interfaz en el proceso de producción de la arquitectura. Los aportes propios de la investigación son:

- El funcionamiento, estructuración y relación del proceso de producción de la arquitectura; entendido como el análisis del diseño y la construcción al reconocer las fases que un proyecto presenta, el cumplimiento de cada etapa y actividades que demanda la interfaz (Figura 2).
- La esquematización de su funcionamiento mediante listas de control y hojas de comprobación (Tabla 3), que aportan a la comunicación entre las partes (sea este cliente o profesionales especialistas independientes o de pequeñas empresas).
- La valoración de parámetros de diseño al dar cumplimiento con información general clara, especificaciones de estudios, dimensionamientos correctos, documentación constructiva, comunicación entre especialidades y el modelado 3d (Tabla 2).

- La eficiencia de la interfaz al establecer que la construcción es ejecutada según lo planificado, de acuerdo a lo diseñado, a través de una herramienta que permite ciclos de mejoramiento continuo, aportando con los correctivos necesarios de proyecto a proyecto registrados y evidenciados, brindando efectos positivos y de calidad.

La herramienta puede ser aplicada por cualquier profesional o empresa ya sea pública o privada, durante las fases de diseño y construcción de cualquier tipo de infraestructura. En investigaciones futuras se pueden evaluar los problemas de la interfaz desde el punto de vista de recursos humanos, materiales, financieros y tecnológicos.

La representación gráfica del proceso de aplicación de la herramienta permite tener una lectura concreta del procedimiento a seguir a través del flujograma por parte de los profesionales.

El funcionamiento de la herramienta es a largo plazo ya que depende del ciclo de vida del proyecto, es decir, hay que considerar que el proyecto ejecutivo y el modelado 3d esté finalizado para realizar un primer acercamiento de medición, otro aspecto a considerar es que conforme avance la obra se va midiendo los parámetros de mejora según la puesta en práctica. Una vez finalizada la obra se puede medir la optimización de recursos para aplicar en los proyectos posteriores, hasta lograr un óptimo resultado en ciclos de proyectos posteriores.

## 5. Conclusiones.

Entendiendo la arquitectura como el arte y técnica de diseñar y construir edificios, que genera una contribución importante en el desarrollo económico, y en la generación de empleo, es que el diseño-construcción debe ser estudiado con mayor énfasis.

Las principales fases del proceso de producción de la arquitectura se han distanciado a lo largo de los tiempos. Esto ha causado muchos problemas entre los profesionales de campo. Los principales defectos según los resultados son: la escasa información de las necesidades del cliente, la falta de coordinación entre especialidades, el desaprovechamiento de recursos y retrasos causados por cambios de última hora de propietarios, diseñadores y constructores que no se registra en documentación para poderlos corregir oportunamente.

Los parámetros de mejora establecidos reducen los defectos de diseño y sus requerimientos son determinados por cada usuario de la herramienta. La optimización de recursos en la construcción se mide a través de la aplicación de la eficiencia relacionando lo planificado y lo ejecutado.

La implementación de la herramienta propuesta tiene varios beneficios para los diseñadores y constructores, ya que contribuyen a evitar la producción de residuos y retrabajo, tanto en la oficina de diseño como en la obra porque se proponen acciones correctivas antes de pasar a la construcción

## 6. Referencias.

- [1] Banco Central del Ecuador. (16 de octubre de 2016). BANCO CENTRAL DEL ECUADOR. Obtenido de <https://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/773>
- [2] Cisneros, L. (2011). Metodología para la Reducción de Pérdidas en la Etapa de Ejecución de un Proyecto de Construcción (Tesis de Maestría). México: Universidad Autónoma de México.
- [3] Delers, A. (2016). El principio de Pareto: Optimice su negocio con la regla del 80/20. 50Minutos.Es.
- [4] Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2010). Metodología de la Investigación. México DF., México: Mc. Graw Hill.
- [5] Hygum, M., Emmitt, S., Bonke, S., & Kirk, A. (2011). Facilitating Client Value Creation in the Conceptual Design Phase of Construction Projects: A Workshop Approach. *Architectural Engineering and Design Management*, 18-30.
- [6] Imai, M. (2014). La clave de la ventaja competitiva japonesa. México: PATRIA S.A.
- [7] INEC. (2015). Encuesta de edificaciones. Quito.
- [8] Loyola, M., & Goldsack, L. (2010). Constructividad y Arquitectura. Santiago: Facultad de Arquitectura y Urbanismo - Universidad de Chile.
- [9] Maciel, T., Stumpf, M., & Kern, A. (2016). Propuesta de un sistema de planificación y control de residuos en la construcción. *Revista ingeniería de construcción*, vol. 31 no.2.
- [10] Orihuela, P., Orihuela, J., & Motiva, S. (2005). Aplicaciones del Lean Design a proyectos inmobiliarios de vivienda. Seminario Internacional: Ventajas competitivas en la construcción. Lima.
- [11] Rodríguez, E. (2012). Guía para la construcción de indicadores de gestión. Departamento Administrativo de la Función Pública, Bogotá, 15.
- [12] Soler, M. (2015). Saber vivir de la arquitectura. Madrid: Mairia.
- [13] Soler, M. (2016). Manual para la dirección integrada de proyectos en construcción (Segunda ed.). Madrid: Mairia Libros.



- [14] Sugumaran, B., & Lavanya, M. (2013). Evaluation of Design Construction Interface in Construction Industry. International Journal of Engineering Research & Technology.
- [15] Tercero, J. (2011). Propuesta de metodología para la implementación de la Filosofía Lean en proyectos de construcción (Tesis de Maestría). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- [16] Vivan, A., Ortiz, F., & Paliari, J. (2016). Model for kaizen project development for the construction industry. Gestão & Produção, 23(2), 333-349.



Los artículos enviados a la revista RIOCI deberán ser trabajos originales que no han sido publicados previamente ni estar presentados a otra revista, para ser publicados con acceso abierto. Los artículos pueden ser escritos en inglés o español y deberán ser enviados en versión electrónica en **formato.doc** o **.docx**. Los artículos deberán ser subidos a través de la página web **www.rioci.cl** para lo cual debe registrarse y generar un envío. El artículo será enviado a evaluadores externos especialistas en los temas específicos para su revisión. El Editor podrá solicitar revisiones y correcciones antes de tomar una decisión final de aceptación o rechazo del artículo. Además, tenga en cuenta que:

- No hay tarifa de publicación
- Los artículos están disponibles gratuitamente tanto para los suscriptores como para el público en general con reutilización permitida.
- La revista aplica criterios de revisión por pares y estándares de aceptación.

### **Asegúrese de que los siguientes elementos estén presentes en sus manuscritos:**

Un autor ha sido designado como el autor de correspondencia con los datos de contacto:

- Dirección de correo electrónico
- Dirección postal completa

El Manuscrito debe incluir:

- Palabras clave (máximo 4)
- Todas las figuras (incluir títulos relevantes)
- Todas las tablas (incluyendo títulos, descripción, notas al pie)
- A modo de referencia el manuscrito no debiese exceder de 10.000 palabras

Otras consideraciones

- El manuscrito ha sido corregido ortográficamente y se ha verificado la gramática.
- Todas las referencias mencionadas en la Lista de referencias se citan en el texto y viceversa.
- Se revisaron las políticas de la revista detalladas en esta guía y las normas en envío. a

### **Declaración y verificación**

La presentación de un artículo implica que el trabajo descrito no se ha publicado previamente (excepto en forma de resumen o como parte de una conferencia o tesis académica publicada o como preimpresión electrónica), que no está bajo consideración para su publicación en otro lugar, que su publicación es aprobada por todos los autores y tácita o explícitamente por las autoridades responsables donde se realizó el trabajo, y que, si se acepta, no se publicará en otro lugar en la misma forma, en inglés o en cualquier otro idioma, incluido electrónicamente sin el consentimiento por escrito del titular de los derechos de autor.

### **Cambios en la autoría**

Se espera que los autores consideren cuidadosamente la lista y el orden de los autores antes de enviar su manuscrito y proporcionen la lista definitiva de los autores en el momento de la presentación original. Cualquier adición, eliminación o reordenación de los nombres de los autores en la lista de autoría debe hacerse solo antes de que el manuscrito haya sido aceptado y solo si el editor de la revista lo aprueba.

### **Fuentes de financiamiento**

Se le solicita que identifique quién brindó apoyo financiero para la realización de la investigación y / o preparación del artículo y para describir brevemente el papel del (de los) patrocinador (es), en su caso, en el diseño del estudio; en la recopilación, análisis e interpretación de datos; en la redacción del informe; y en la decisión de enviar el artículo para su publicación. Esta condición opcional puede ser incorporada en la sección "Reconocimientos" después de las Conclusiones del trabajo

### **Presentación**

Nuestro sistema de envío en línea lo guía paso a paso a través del proceso de ingresar los detalles de su artículo y cargar sus archivos. Se requieren archivos editables (p. Ej., Word) para componer su artículo para la publicación final. Toda la correspondencia, incluida la notificación de la decisión del Editor y las solicitudes de revisión, se envía por correo electrónico a través de la plataforma de la revista.

## NUEVAS PRESENTACIONES

Las presentaciones de trabajos a esta revista y su proceso de revisión se llevan a cabo totalmente en línea. Se recomienda a los autores tener en cuenta los siguientes puntos

### Revisión por pares

El editor evaluará inicialmente todas las contribuciones para determinar su idoneidad para la revista. Los documentos que se consideran adecuados se envían normalmente a un mínimo de dos revisores expertos independientes para evaluar la calidad científica/tecnológica del documento. El Editor es responsable de la decisión final con respecto a la aceptación o rechazo de artículos. La decisión del editor es final e inapelable.

### Uso de software de procesamiento de textos

Independientemente del formato de archivo del envío original, para una adecuada revisión se nos debe proporcionar un archivo editable de todo el artículo. Mantenga el diseño del texto lo más simple posible. La mayoría de los códigos de formato serán eliminados y reemplazados al procesar el artículo. El texto electrónico debe prepararse de una manera muy similar al formato ejemplo disponible en la WEB) Para evitar errores innecesarios, se recomienda encarecidamente utilizar las funciones de "revisión ortográfica" y "verificación gramatical" de su procesador de texto.

## ESTRUCTURA DEL ARTÍCULO

### Subdivisión: secciones numeradas

Divida su artículo en secciones numeradas y claramente definidas. Las subsecciones deben numerarse 1.1 (luego 1.1.1, 1.1.2,...), 1.2, etc. (el resumen no está incluido en la numeración de las secciones). Use esta numeración también para las referencias cruzadas internas, es decir no solo se refiera a 'el texto'. Cualquier subsección puede recibir un breve encabezado. Cada título debe aparecer en una línea separada.

### Página de título

- **Título.** Conciso e informativo. Los títulos se usan a menudo en sistemas de recuperación de información. Evite abreviaturas y fórmulas cuando sea posible. Evite nombres conocidos solo en un contexto definido.
- **Nombres de los autores y afiliaciones.** Indique claramente el (los) nombre (s) y apellido (s) de cada autor y verifique que todos los nombres estén escritos con precisión. Presente las direcciones de afiliación de los autores (institución u organismo donde se realizó el trabajo real, en tanto aplique) debajo de los nombres. Indique todas las afiliaciones con una letra superíndice minúscula inmediatamente después del nombre del autor y frente a la dirección correspondiente. Proporcione la dirección postal completa de cada afiliación, incluido el nombre del país y, si está disponible, la dirección de correo electrónico de cada autor.
- **Autor de correspondencia.** Indique claramente quién manejará la correspondencia en todas las etapas de arbitraje y publicación, también después de la publicación. Por ejemplo un \* a continuación del nombre del autor de correspondencia y una nota posterior que indique "Autor de correspondencia" sería adecuado. Es deseable que el autor por correspondencia sea el responsable de cargar los documentos en la plataforma virtual de la RIOCI. Esto asegura una más fluida comunicación. Asegúrese que el autor de correspondencia proporcione una dirección de correo electrónico y mantenga actualizados los datos de contacto en la plataforma de la RIOCI.

### Resumen

Se requiere un resumen conciso y real. El resumen debe indicar brevemente el propósito de la investigación, los resultados principales y las principales conclusiones. Un resumen a menudo se presenta por separado del artículo, por lo que debe ser capaz de ser independiente. Por esta razón, las referencias deben evitarse. Además, se deben evitar las abreviaturas no estándar o poco comunes, pero si son esenciales, deben definirse en su primera mención en el mismo resumen. **Un resumen no debiese exceder de 1800 caracteres (incluido los espacios).** El resumen debe escribirse en un correcto inglés y castellano, siendo el primero el idioma del cuerpo del manuscrito.

## Palabras clave

Inmediatamente después del resumen, proporcione un máximo de 4 palabras clave, utilizando la ortografía estadounidense y castellana. Evite los términos generales, plurales y múltiples conceptos (evite, por ejemplo, "y", "de"). Séa respetuoso con las abreviaturas: solo las abreviaciones firmemente establecidas en el campo pueden ser elegibles. Estas palabras clave se usarán con fines de indexación.

## Introducción

Indique los objetivos del trabajo y proporcione un trasfondo adecuado, evitando una encuesta bibliográfica detallada o un resumen de los resultados. Debe aportar los antecedentes teóricos que justifican el objetivo del trabajo y especifican el punto de partida del conocimiento respecto del problema u oportunidad que desea abordar.

## Teoría

Una nueva sección de carácter teórico debe ampliar no repetir, el fondo del artículo ya tratado en la Introducción y sentar las bases para el trabajo posterior. Una nueva sección de teoría será aplicable ante la necesidad de proporcionar mayores antecedentes que precisen la temática que se abordará.

## Materiales y/o métodos o metodología

Proporcione suficientes detalles para permitir que el trabajo sea reproducido por un investigador independiente. Los métodos que ya están publicados deben resumirse e indicarse mediante una referencia. Si cita directamente (literalmente) de un método publicado previamente, use comillas y también cite la fuente. Cualquier modificación a los métodos existentes también debe describirse.

## Los Resultados

Los resultados son el producto de haber aplicado los métodos y/o materiales expuestos previamente. La presentación de los resultados debe ser clara y concisa. Evite la explicación detallada del procesamiento de la información. Tenga en cuenta que sus resultados deben ser expuestos en el espacio limitado. Solo en los casos justificados tablas de más de una página serán permitidas.

## Discusión

Esto debería explorar la importancia de los resultados del trabajo, no repetirlos. Una sección combinada de Resultados y Discusión a menudo es apropiada. Evite citas extensas y discusiones sobre literatura ya publicada.

## Conclusiones

Las principales conclusiones del estudio que dan respuesta a su objetivo pueden presentarse en una breve sección de Conclusiones. Además, asegure se indicar el aporte científico /tecnológico de la investigación (novedad y utilidad del artículo) y futuras líneas de trabajo que podrían derivarse de su aporte.

## Reconocimientos

Intercalar los reconocimientos en una sección separada al final del artículo antes de las referencias. Por lo tanto evite incluir agradecimiento o reconocimientos en la página del título, como una nota al pie del título o de otro modo. En esta sección las fuentes de financiamiento pueden ser incorporadas. Para ello emplee el siguiente formato.

Este trabajo fue apoyado por los Institutos Nacionales de Salud [números de concesión xxxx, yyyy]; la Fundación Bill & Melinda Gates, Seattle, WA [número de concesión zzzz]; y los Institutos de Paz de los Estados Unidos [número de concesión aaaa].

## Referencias y citaciones

### • Citación en el texto

Asegúrese de que cada referencia citada en el texto también esté presente en la lista de referencias (y viceversa). Los resultados no publicados y las comunicaciones personales no se recomiendan en la lista de referencias, pero pueden mencionarse en el texto. Si estas referencias se incluyen en la lista de referencia, deben seguir el estilo de referencia estándar de la revista y deben incluir una sustitución de la fecha de publicación por "Resultados no publicados" o "Comunicación personal". La cita de una referencia como 'en prensa' implica que un artículo aún no publicado ha sido aceptado para su publicación.

Todas las citas en el texto deben referirse a:

1. *Autor único*: el nombre del autor (sin iniciales, a menos que exista ambigüedad) y el año de publicación;
2. *Dos autores*: los nombres de ambos autores y el año de publicación;
3. *Tres o más autores*: primer nombre del autor seguido de 'et al.' y el año de publicación.

Las citas pueden incluirse en la narrativa (por ejemplo Kramer et al. (2010) han mostrado recientemente... ') o hacerse entre paréntesis (por ejemplo 'como se demostró (Allan, 2000a, 2000b; Allan y Jones, 1999)).

Por cada citación se recomienda no incluir más de tres citas.

Si se identifican más de una referencia del mismo autor (es) con el mismo año, se deben incluir las letras "a", "b", "c", etc., colocadas después del año de publicación.

## • Formato del listado de referencia

En general son aceptadas listas de referencias basadas en la norma APA; sin embargo no hay requisitos estrictos sobre el formato de referencia en la presentación, debiendo ser coherente en todo el manuscrito. De cualquier forma se recomienda evitar los modelos Vancouver u otros que presentan las referencias asociadas a un número correlativo en el cuerpo del manuscrito.

Las listas de referencias deben organizarse primero alfabéticamente y luego ordenarse cronológicamente si es necesario.

Un estilo de referencia adecuado para RIOC es:

Nombre (s) del autor (es) <Apellido, inicial del nombre;...>, año de publicación, título del capítulo / título del artículo, título de la revista / título del libro, número de volumen (número de edición), pág. inicial – pág. final, DOI

## Ejemplos:

*Referencia a una publicación de revista:*

Van der Geer, J.; Hanraads, J.A.; Lupton, R.A., 2010. El arte de escribir un artículo científico. J. Sci. Commun. 163, 51-59.

*Referencia que usa DOI para un artículo que aún no está publicado:*

VanDecar, J.C.; Russo, R.M.; James, D.E.; Ambeh, W.B.; Franke, M., 2003. Continuación sísmica de la losa de las Antillas Menores bajo el noreste de Venezuela. Journal of Geophysical Research. En prensa. <https://doi.org/10.1029/2001JB000884>

*Referencia a un libro:*

Strunk Jr., W.; White, E.B. 2000. The Elements of Style, 4ta Ed. Longman, Nueva York.

*Referencia a un capítulo en un libro editado:*

Mettam, G.R.; Adams, L.B.; 2009. Cómo preparar una versión electrónica de su artículo, en: Jones, BS, Smith, RZ (Eds.), Introducción a la era electrónica. E-Publishing Inc., Nueva York, pp. 281-304.

*Referencia a un sitio web:*

Cancer Research UK, 1975. Reportes de estadísticas de cáncer para el Reino Unido. Disponible en <http://www.cancerresearchuk.org/aboutcancer/statistics/cancerstatsreport/> (consultado el 13 de marzo de 2003).

*Referencia a un conjunto de datos:*

[conjunto de datos] Oguro, M.; Imahiro, S.; Saito, S.; Nakashizuka, T., 2015. Datos de mortalidad de la enfermedad del marchitamiento del roble japonés y las composiciones de los bosques circundantes. Mendeley Data, v1. <https://doi.org/10.17632/xwj98nb39r.1>.

## ELEMENTOS DEL ARTÍCULO

### Abreviaturas

Defina abreviaturas que no son estándar en este campo solo la primera vez que esta sea usada en el cuerpo del documento. Asegure la consistencia de las abreviaturas en todo el artículo.

### Fórmulas matemáticas

Envíe ecuaciones matemáticas como texto editable y no como imágenes. Presente fórmulas simples en línea con el texto normal siempre que sea posible y utilice (/) en lugar de una línea horizontal para términos fraccionarios pequeños, por ejemplo, X / Y. En principio, las variables deben presentarse en cursiva. Numerar consecutivamente todas las ecuaciones que deben mostrarse por separado del texto entre paréntesis y asegurar que cada ecuación sea citada en el cuerpo del documento.

## Notas al pie

Las notas al pie deben usarse con moderación. Numerarlos consecutivamente a lo largo del artículo. Muchos procesadores de texto crean notas al pie en el texto, y esta característica puede ser utilizada. Si este no fuera el caso, indique la posición de las notas a pie de página en el texto y presente las notas al pie de página por separado al final del artículo.

## Figuras y tablas incrustadas en el texto

Asegúrese de que las figuras y las tablas incluidas en el archivo único se coloquen junto al texto relevante en el manuscrito, en lugar de en la parte inferior o superior del archivo. El título correspondiente debe colocarse directamente debajo de la figura o tabla. Cada tabla y figura deberán contar con un número identificador a través del cual debe estar citado en el cuerpo del manuscrito. El orden de presentación de cada figura en el cuerpo del documento debe ser consistente en su aparición; es decir no puede mencionarse la Figura 2 si antes no ha sido mencionada la Figura 1. Esta situación es análoga para la mención de Tablas y Ecuaciones.

## Ilustraciones

Las ilustraciones pueden incluir gráficos, dibujos lineales, esquemas, diagramas y fotografías. Deben numerarse en forma secuencial, en el mismo orden en que son referenciadas en el texto como: figura 1, figura 2, etc. El título debe presentarse bajo la figura. Evite emplear Ilustraciones optimizadas para el uso de la pantalla (resolución muy baja) y evite gráficos que sean desproporcionadamente grandes para el contenido.

## Leyendas de las figuras

Asegúrese de que cada ilustración tenga al menos un título. Una figura debe incluir un título breve (no en la misma figura). Figuras compuestas emplearán letras minúsculas para diferenciarlas (Por ejemplo Figura 3a, Figura 3b...). Cada parte de una figura compuesta debe estar mencionada en el cuerpo del manuscrito. Por su parte, el texto en la ilustración (en el interior de la figura) podrá emplear tamaño mínimo y explicará todos los símbolos y abreviaturas utilizados.

## Tablas

Por favor envíe las tablas como texto editable y no como imágenes. Es recomendable que las tablas se adjunten al texto relevante en el artículo. Numere las tablas consecutivamente de acuerdo con su apariencia en el texto y coloque las notas de la tabla debajo del cuerpo de la tabla. Emplea las tablas responsablemente y asegúrese de que los datos presentados en ellas no dupliquen los resultados descritos en otra parte del artículo. Evite el uso de reglas verticales y sombreado en las celdas de la tabla.

## Material suplementario

El material suplementario, como aplicaciones, imágenes y conjuntos de datos, se puede publicar con su artículo para mejorarlo. Los artículos suplementarios enviados se publican exactamente tal como se reciben (los archivos Excel o PowerPoint aparecerán como tales en línea). Por favor, envíe su material junto con el artículo y proporcione un título descriptivo y conciso para cada archivo suplementario. Si desea realizar cambios en el material suplementario durante cualquier etapa del proceso, asegúrese de proporcionar un archivo actualizado. Desactive la opción "Control de cambios" en los archivos de Microsoft Office ya que estos aparecerán en la versión publicada.

## DESPUES DE LA ACEPTACION

### Corrección de pruebas

Los autores correspondientes recibirán un correo electrónico con la presentación borrador de la prueba de impresión de su manuscrito. En un plazo establecido los autores podrán solicitar enmiendas sobre la prueba de impresión. Trascorrido dicho plazo sin pronunciamiento del autor de correspondencia se considera que la prueba es aceptada para su impresión. El autor debe tener en cuenta potenciales errores de edición asociados a la composición tipográfica, la integridad, la corrección del texto, las tablas y figuras.

Es importante asegurarse de que todas las correcciones nos sean enviadas en una sola comunicación. Verifique cuidadosamente antes de responder, ya que no se puede garantizar la inclusión de correcciones posteriores. En esta instancia la revisión es exclusivamente su responsabilidad.



El equipo editorial, conformado por dos profesionales del área de la Ingeniería en Construcción y el Editor, tienen la responsabilidad de recibir los artículos y emitir un primer juicio sobre los aspectos formales, además de rechazar un artículo cuando este no cumpla con las instrucciones básicas para su publicación y esté fuera de la temática de la Revista o bien no cuente con suficiente mérito científico y académico.


El Editor enviará el artículo a un evaluador externo a la entidad o institución editora de la revista especialista en el área del tema, el cual deberá realizar su evaluación de acuerdo a una pauta previamente confeccionada. Este evaluador externo deberá rechazar, aceptar o bien aceptar con distinción un artículo. En caso de rechazo se deberá fundamentar esta situación, luego el artículo será devuelto al autor con las observaciones pertinentes.

Los evaluadores deberán verificar que se cumplan todos los aspectos formales, además de comprobar que las conclusiones estén acordes con los diseños metodológicos expuestos y los objetivos planteados. Los evaluadores conocerán la identidad de los autores, pero estos desconocerán a sus evaluadores.

De existir observaciones, sean menores o medianas, y si el artículo está aceptado, el Editor se contactará con el autor para que este realice las modificaciones indicadas en un plazo prudente, una vez realizadas estas modificaciones el artículo estará en condiciones de ser publicado.

Si el artículo no es aceptado será enviado a otro árbitro; si el rechazo es confirmado, el artículo lo será definitivamente y se comunicará al autor esta decisión y se enviarán las evaluaciones correspondientes.

Si el artículo es rechazado por un evaluador y aceptado por un segundo, se enviará el artículo a su autor con las evaluaciones correspondientes, una vez que se hayan realizado las modificaciones el Comité Editorial lo incluirá nuevamente en la lista de artículo para evaluar.



# LABORATORIO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DEPARTAMENTO INGENIERÍA OBRAS CIVILES  
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA

## SERVICIOS DE NUESTRO LABORATORIO

ESTUDIO DE  
MECÁNICA DE SUELOS

MUESTREO &  
ANÁLISIS DE SUELOS

MUESTREO & ANÁLISIS DE  
ÁRIDOS PARA DOSIFICACIÓN DE  
HORMIGONES & MORTEROS

TOMA DE MUESTRAS DE  
HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO

EXTRACCIÓN & ENSAYO DE  
TESTIGOS DE HORMIGÓN

ENSAYOS DE RESISTENCIA  
MECÁNICA AL HORMIGÓN

ASESORÍAS DE  
LABORATORIO

**ÁREA MECÁNICA DE SUELOS**  
**ÁREA ÁRIDOS & HORMIGONES**

**HORARIO DE ATENCIÓN**  
LUNES A VIERNES 09 A 13 HRS. & 14 A 19 HRS.  
AVDA. FRANCISCO SALAZAR 01145 TEMUCO  
FONO FAX 45 259 2818 LABMATERIALES@UFRO.CL



rioc.cl