

DISMINUCIÓN EN LA PROBABILIDAD DE INUNDACIONES SECTORIALES
POR AGUAS LLUVIAS A PARTIR DE UN SISTEMA DE CONTINGENCIA QUE
EVITE EL COLAPSO DE LA RED DE ALCANTARILLADO.

LUISA FERNANDA BELALCÁZAR CARREÑO
JOAN SEBASTIÁN OSORIO HOYOS

Universidad Icesi
Facultad de Ingeniería
Programa de Diseño Industrial
Santiago de Cali
2015

DISMINUCIÓN EN LA PROBABILIDAD DE INUNDACIONES SECTORIALES
POR AGUAS LLUVIAS A PARTIR DE UN SISTEMA DE CONTINGENCIA QUE
EVITE EL COLAPSO DE LA RED DE ALCANTARILLADO.

LUISA FERNANDA BELALCÁZAR CARREÑO
JOAN SEBASTIÁN OSORIO HOYOS

Proyecto de grado

Miguel Uribe
Diseñador Industrial, MDI

Universidad Icesi
Facultad de Ingeniería
Programa de Diseño Industrial
Santiago de Cali
2014

Índice

| | |
|--|-----------|
| ÍNDICE | 3 |
| LISTA DE TABLAS | 6 |
| LISTA DE ILUSTRACIONES | 7 |
| LISTA DE ANEXOS | 8 |
| GLOSARIO Y ABREVIACIONES | 9 |
| ABSTRACT | 10 |
| RESUMEN | 10 |
| INTRODUCCIÓN | 12 |
| FICHA TÉCNICA | 12 |
| PROBLEMA | 12 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 12 |
| <i>ENUNCIADO DEL PROBLEMA</i> | 14 |
| PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN | 14 |
| HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN | 15 |
| JUSTIFICACIÓN | 15 |
| OBJETIVOS | 16 |
| OBJETIVO GENERAL | 16 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 16 |
| VIABILIDAD | 16 |
| METODOLOGÍA | 17 |
| MARCO TEÓRICO | 18 |
| 1. INUNDACIONES EN CALI OCASIONADAS POR FUERTES LLUVIAS | 18 |
| 1.1 CAUSAS | 18 |
| 1.1.1 CLIMA | 18 |
| 1.1.2 GEOGRAFÍA | 20 |
| 1.1.3 CULTURA | 21 |
| 1.1.4 INFRAESTRUCTURA | 21 |
| 1.2 CONSECUENCIAS | 22 |
| 1.2.1 EMCALI | 22 |
| 1.2.2 CIUDADANOS DE CALI | 23 |
| 2. MEDIDAS PARA CONTRARRESTAR LAS INUNDACIONES | 23 |

| | |
|--|------------------|
| 2.1 MEDIDAS LOCALES..... | 24 |
| 2.2 SUDS..... | 24 |
| 3. SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE CALI..... | 28 |
| 3.1. DEFINICIÓN Y TIPOS..... | 28 |
| 3.1.1. SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL..... | 28 |
| 3.1.1.1 CANALES DE AGUAS LLUVIAS | 29 |
| 3.1.1.1.1 INFRAESTRUCTURA DE LOS CANALES ABIERTOS | 29 |
| 3.1.1.1.2 PROBLEMÁTICAS DE LOS CANALES DE AGUAS LLUVIAS E INTERVENCIONES PARA SOLUCIONARLAS..... | 30 |
| <u>FUENTE: DIARIO ADN (2012) EMCALI SOLICITÓ A LA CIUDADANÍA CUIDADO DE CANALES Y SUMIDEROS</u> | <u>30</u> |
| 4. ESPACIO PÚBLICO | 31 |
| 4.1 DEFINICIÓN | 31 |
| 4.2 CULTURA Y HABITABILIDAD | 32 |
| 4.3 PUBLICIDAD EN ESPACIOS PÚBLICOS | 32 |
| <u>TRABAJO DE CAMPO</u> | <u>33</u> |
| METODOLOGÍA APLICADA | 33 |
| RESULTADOS | 35 |
| DISCUSIÓN..... | 39 |
| <u>DISCUSIÓN Y MARCO CONCEPTUAL</u> | <u>39</u> |
| HIPÓTESIS DE DISEÑO..... | 39 |
| PROMESA DE VALOR | 40 |
| DETERMINANTES | 40 |
| REQUERIMIENTOS Y PRINCIPIOS..... | 40 |
| PRINCIPIOS DE DISEÑO | 40 |
| REQUERIMIENTOS DE USO..... | 41 |
| REQUERIMIENTOS DE FUNCIÓN..... | 41 |
| REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES | 41 |
| REQUERIMIENTOS TÉCNICO-PRODUCTIVOS | 41 |
| REQUERIMIENTOS ECONÓMICOS O DE MERCADO | 41 |
| REQUERIMIENTOS LEGALES | 42 |
| CONCEPTO | 42 |
| PROCESO DE PROPUESTA..... | 42 |
| PROPUESTA DEFINITIVA | 46 |
| ¿CÓMO FUNCIONA?..... | 47 |
| ¿CÓMO SE INSTALA? | 50 |
| ASPECTOS PRODUCTIVOS Y DE IMPACTO AMBIENTAL | 51 |
| ASPECTOS DE COSTOS..... | 66 |
| ASPECTOS DE MERCADO Y MODELO DE NEGOCIO | 67 |
| <u>PROMESA DE VALOR</u> | <u>68</u> |
| <u>CANALES DE DISTRIBUCIÓN.....</u> | <u>69</u> |
| <u>RELACIÓN CON LOS CLIENTES</u> | <u>70</u> |

| | |
|--|------------------|
| <u>FLUJO DE INGRESOS</u> | <u>70</u> |
| <u>ANÁLISIS DEL PRECIO</u> | <u>70</u> |
| <u>RECURSOS, ACTIVIDADES Y ALIANZAS CLAVES</u> | <u>70</u> |
| <u>ESTRUCTURA DE COSTOS</u> | <u>71</u> |
| <u>COMPETENCIA</u> | <u>72</u> |
| <u>CONCLUSIONES.....</u> | <u>73</u> |
| <u>CONCLUSIONES.....</u> | <u>74</u> |
| <u>BIBLIOGRAFÍA.....</u> | <u>75</u> |
| <u>ANEXOS/APÉNDICES.....</u> | <u>78</u> |
| <u>ANEXO 1. VACTOR</u> | <u>78</u> |
| <u>ANEXO 2. PLANOS TÉCNICOS PIEZAS ESPECIALES</u> | <u>79</u> |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Precipitaciones en Cali..... | 19 |
| Tabla 2 Intensidad lluvias en Cali | 19 |
| Tabla 3 Encuesta función del sistema de alcantarillado | 37 |
| Tabla 4 Encuesta causa de las inundaciones | 38 |
| Tabla 5 Encuesta percepción del sistema de alcantarillado | 38 |
| Tabla 6 BOM Elemento de captación | 53 |
| Tabla 7 BOM elemento de contención..... | 54 |
| Tabla 8 Proveedores..... | 55 |
| Tabla 9 Diagrama flujo de procesos SUDS industrial | 57 |
| Tabla 10 Matriz MET SUDS Industrial | 60 |
| Tabla 11 Eco Design Wheel SUDS industrial VS SUDS convencional..... | 62 |
| Tabla 12 Impacto ambiental elemento de captación..... | 63 |
| Tabla 13 Comparación impacto ambiental acero Vs hierro | 64 |
| Tabla 14 Impacto medioambiental componentes elemento de captación..... | 65 |
| Tabla 15 Costos SUDS Industrial | 66 |

LISTA DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| Ilustración 1..... | 20 |
| Ilustración 2 Mapa zonas de Cali..... | 20 |
| Ilustración 3 Tanques de almacenamiento | 25 |
| Ilustración 4 Cubiertas vegetalizadas | 25 |
| Ilustración 5 Cunetas verdes..... | 26 |
| Ilustración 6 Sumidero tipo alcorque inundable | 26 |
| Ilustración 7 Pondaje húmedo vegetado..... | 27 |
| Ilustración 8 Infraestructura canal abierto | 29 |
| Ilustración 9 Basura y aguas residuales en los canales de Cali | 30 |
| Ilustración 10 Intervención en los canales de Cali | 31 |
| Ilustración 11 Mupi - Publicidad para exteriores | 33 |
| Ilustración 12 Mantenimiento de sumideros..... | 36 |
| Ilustración 13 Comportamiento de variables de intervención..... | 37 |
| Ilustración 14 Intervención geometría y estructura del sumidero..... | 42 |
| Ilustración 15 Intervención superficie y estructura del sumidero..... | 43 |
| Ilustración 16 Alternativa captación por mecanismo de movimiento perpetuo..... | 43 |
| Ilustración 17 Alternativa piñón cónico impulsado por escorrentía | 44 |
| Ilustración 18 Intervención en los canales de aguas lluvias..... | 45 |
| Ilustración 19 Proceso de experimentación material del contenedor | 46 |
| Ilustración 20 SUDS Industrial | 46 |
| Ilustración 21 Composición del SUDS Industrial..... | 47 |
| Ilustración 22 Secuencia de funcionamiento del SUDS Industrial..... | 48 |
| Ilustración 23 Elemento de Captación | 49 |
| Ilustración 24 Elemento de contención | 50 |
| Ilustración 25 Instalación elemento de contención..... | 50 |
| Ilustración 26 SUDS Industrial en contexto..... | 52 |
| Ilustración 27 Despiece elemento de captación..... | 55 |
| Ilustración 28 Despiece elemento de contención..... | 56 |
| Ilustración 29 Planos generales elemento de captación | 56 |
| Ilustración 30 Planos generales elemento contenedor | 57 |
| Ilustración 31 SUDS Industrial como espacio público..... | 73 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Vactor..... | 78 |
| Anexo 2. Planos técnicos piezas especiales..... | 79 |

GLOSARIO Y ABREVIACIONES

SUDS: Sistema urbano de Drenaje Sostenible

Sumidero: Punto de captación de aguas lluvias en la vía para conducir las al interior de la red de alcantarillado.

SUDS Industrial: Sistema Urbano de Drenaje Sostenible Industrial que permite una alta replicabilidad y fácil instalación.

Sistema de Alcantarillado: Red encargada de drenar las aguas de la ciudad.

Sistema de Alcantarillado Pluvial: Red encargada de la evacuación de las aguas provenientes de la lluvia.

Sistema de Alcantarillado Sanitario: Red encargada de la conducción, el tratamiento y la disposición final de las aguas que usa la ciudad para sus distintas actividades cotidianas.

Nivel Freático: Punto de saturación de la tierra por el agua, permitiendo que haya una mayor o menor capacidad de absorción del agua recibida durante un evento de lluvia.

ABSTRACT

Purpose – To lower the probability of flooding in sections of the city of Cali due to the storm sewer system during big rain storms.

Design/methodology/approach - To develop this project, a dual methodology was used in which the specific conditions that make Cali a highly vulnerable city to flooding was investigated as well as working with the personnel in charge of the sewer system in the City to identify possible points of intervention.

Findings –After the investigation, it was concluded that after a rainstorm event, the absorption capacity of the grounds in Cali are minimal and the drainage system is insufficient. Therefore, it is necessary to implement a system with the capacity of elevating the catchment levels of rain water in the city to avert collapsing the sewer system and therefore lowering the probability of flooding.

Practical implications – The goal of this project is to implement a sustainable industrial urban sewer system through superficial intervention using conventional manufacturing materials and methods with the idea of ending up with a product that is inexpensive and easily replicable.

Originality/Value – This sustainable industrial urban sewer system will catch a significant amount of rain water through the massive implementation of small elements of containment that are adaptable to the grassy areas next to the drainage canals, making it a habitable space for zones that are currently being under used.

Keywords – Storm sewer system, flooding, SUDS, Ground Water Levels

RESUMEN

Propósito - Disminución en la probabilidad de inundaciones sectoriales en la ciudad de Cali, por colapso del sistema de alcantarillado pluvial durante eventos de fuertes lluvias.

Metodología - para el desarrollo del proyecto se empleó una metodología mixta en la que se investigaron las condiciones propias de Cali que la convierten en una ciudad altamente vulnerable a sufrir inundaciones, además de realizar un trabajo

de campo directo con el personal encargado del sistema de drenaje de la ciudad para identificar posibles puntos de intervención.

Resultados - A partir del proceso de investigación se llegó a la conclusión de que la capacidad de absorción del suelo de Cali, ante eventos de lluvia, es mínima y su sistema de drenaje insuficiente. Por lo anterior resulta necesaria la implementación de un sistema con la capacidad de aumentar los niveles de captación de aguas lluvias de la ciudad para disminuir la probabilidad de inundaciones al evitar el colapso de la red de alcantarillado pluvial.

Implicaciones prácticas - Este proyecto pretende la implementación de un sistema urbano de drenaje sostenible industrial por medio de una intervención superficial a partir de materiales y métodos de fabricación convencionales, con el fin de obtener un producto de bajo costo y alta replicabilidad

Originalidad y valor de la investigación - este sistema de drenaje urbano sostenible industrial captará una porción significativa de las aguas lluvias a partir de la implementación masiva de pequeños elementos de contención, que se adapten a las condiciones de las zonas verdes aledañas a los canales de aguas lluvias, creando un espacio habitable en una zona que actualmente está siendo desaprovechada.

Palabras claves - Sistema de alcantarillado pluvial, Inundaciones, SUDS, Nivel freático

INTRODUCCIÓN

Este proyecto pretende disminuir la probabilidad de inundaciones sectoriales, en la ciudad de Cali, ocasionadas por el colapso de la red de alcantarillado ante fuertes lluvias, por medio de la implementación de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible desde el diseño industrial para facilitar su implementación en múltiples sectores a un bajo costo y permitiendo que el área intervenida pueda seguir siendo usada como espacio público.

FICHA TÉCNICA

Problema

Planteamiento del problema

Antecedentes

En las últimas décadas la ciudad de Cali ha tenido un crecimiento acelerado. De acuerdo al Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos de EMCALI (2007) hacia la mitad del siglo pasado cuando se realizó la instalación de su sistema de alcantarillado, no se hizo una proyección adecuada del crecimiento que la ciudad tendría, por lo que prontamente la infraestructura establecida dejó de ser suficiente para las necesidades de drenaje de Cali.

Tal crecimiento poblacional implicó, además de un incremento en las aguas residuales a ser tratadas, un aumento en las zonas impermeabilizadas de la ciudad debido a procesos de pavimentación y construcción de vivienda. Este fenómeno, al impedir la infiltración de las aguas lluvias a la tierra, provocó un crecimiento significativo en los niveles de agua estimados para circular al interior del sistema de alcantarillado.

Adicionalmente a esta problemática en el manejo de las aguas lluvias se encuentran tres condiciones de gran incidencia propias tanto al territorio de la ciudad como a sus condiciones climáticas. La primera de ellas es el nivel freático, entendido como el punto de saturación de agua de la tierra en términos de profundidad, el cual, en Cali es cercano a la superficie. La segunda, es la pendiente de la ciudad, la cual resulta ser muy poca, Según el ex gerente de acueducto y alcantarillado de EMCALI, Hugo Salazar Jaramillo “tenemos una ciudad de 20 kms de largo por 5,5 kms de ancho que es plana en un 90 %. Entre la parte más alta y la más baja puede haber 50 metros de pendiente” (Salazar,

citado en El País 2014). La última de estas condiciones es el fenómeno de la niña, el cual representa un incremento en la intensidad, frecuencia y duración de las lluvias.

Estas cinco variables son las encargadas de poner en alto grado de vulnerabilidad a la ciudad en tanto que se presenten inundaciones. Lluvias cada vez más fuertes con menor oportunidad de ser drenadas por la tierra se convierten en el factor que pone en alerta a la ciudad incrementando los niveles que se arrastran, con poca velocidad, aumentando, de esta manera la probabilidad de inundaciones sectoriales.

Para dar solución a la problemática planteada, EMCALI como empresa responsable del manejo de las aguas lluvias y residuales, ha creado lagunas de contingencia hacia el oriente de la ciudad. Esta medida, a pesar de ser de gran magnitud, no ha sido suficiente ya que, como lo menciona el ex gerente de acueducto ya alcantarillado de EMCALI, Hugo Salazar Jaramillo “Hemos aprendido de Europa y Estados Unidos que las soluciones no están al final del tubo como se acostumbra, sino en el proceso mismo de drenaje, en el camino” (Salazar, citado en El País 2014), por lo que una medida hacia la parte final del trayecto de las aguas no es suficiente para solucionar la problemática.

Finalmente, de manera global vienen manejándose Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que son intervenciones arquitectónicas de gran magnitud, ubicadas en puntos específicos, que buscan reproducir el ciclo hidrológico natural del agua reteniendo, el mayor tiempo posible, las aguas lluvias en su punto de origen. Estas adecuaciones resultan ser muy específicas para cada espacio por lo que no es posible atender las demandas de los diferentes puntos de la ciudad.

Delimitación

Ante la problemática de las inundaciones sectoriales, el proyecto atenderá a las inundaciones ocasionadas por el colapso de la red ante fuertes lluvias, dejando de lado las ocasionadas por desbordamiento de los ríos. De esta manera, se tendrán como referente lluvias con un periodo de retorno de 2.33 años ya que, según la Secretaría distrital de ambiente de Bogotá (2011), esta cifra equivale al 90% de todos los eventos de precipitación según estándares americanos. De igual manera, bajo estos estándares, la duración de la tormenta de diseño podrá tomarse igual a tres horas.

Las respuestas globales a esta problemática, que son los SUDS, operan bajo características muy específicas del sector en el que se está trabajando, por lo que procesos de replicabilidad de la propuesta empiezan a verse imposibilitados. Ante esto deberá llegarse a una respuesta altamente replicable para los diferentes

puntos críticos de la ciudad con el fin de poder atender, como decía Hugo Salazar Jaramillo, la situación no al final de la red sino en su recorrido.

Debido a que la ejecución del proyecto será a lo largo de toda la ciudad, el espacio empleado para su instalación no deberá verse sacrificado, permitiendo de esta manera su aprovechamiento como espacio público apto para ser habitado. Adicional a esto, en función de que se estará ejecutando una obra de construcción en el espacio público, deberá seguirse lo establecido en el manual de diseño y construcción de los elementos constitutivos del espacio público (MECEP) y el marco jurídico en el que se encuentra.

Consecuencias

Tras las inundaciones que se presentan en la ciudad de Cali son dos los principales grupos afectados, por un lado están las empresas municipales de Cali (EMCALI) y por otro lado los habitantes de la ciudad.

El primero de estos, EMCALI, se ve afectado en tanto que al ser la responsable del manejo de las aguas de la ciudad ha tenido que hacer grandes obras de mitigación y responder económicamente por daños ocasionados en las viviendas cuando la situación se ha salido de control, generando así sobrecostos operativos para la compañía, además del deterioro de su imagen tras cuestionarse su efectividad.

Tal cuestionamiento de efectividad de la compañía conecta directamente con el segundo grupo afectado, los ciudadanos. Éstos, ante la constante vulnerabilidad de la ciudad a inundaciones tienen que enfrentarse constantemente a problemas como congestión vehicular, daños en viviendas y bienes personales, caos en el flujo peatonal durante estos eventos de fuertes lluvias.

Enunciado del problema

¿De qué manera el diseño industrial puede implementar un sistema de contingencia que almacene una porción significativa de agua, durante eventos fuertes lluvias, a fin de descongestionar la red de alcantarillado para disminuir la probabilidad de inundaciones sectoriales?

Preguntas de investigación

- ¿Cómo funciona el sistema de drenaje de Cali?
- ¿Cuáles son las causas frecuentes de inundación?
- ¿Qué características hacen que una zona sea vulnerable a inundarse?

- ¿Qué ocasiona el colapso de la red de alcantarillado?
- ¿Cuáles son los volúmenes de agua lluvia que el sistema de alcantarillado no logra manejar debidamente para evitar inundaciones?
- ¿Qué se ha hecho en Cali para solucionar la problemática de las inundaciones?
- ¿Qué se ha hecho en el mundo para solucionar la problemática de las inundaciones?
- ¿Cuál es la normativa que aplica para la intervención en espacios públicos?
- ¿De qué manera se puede llegar a una respuesta de cero consumo energético a partir de principios físicos?
- ¿Cómo la intervención que se realice en el espacio puede permitir que se conserve la zona verde?
- ¿Cómo se puede conseguir que la intervención en un espacio público para el manejo de inundaciones permita mantener o mejorar su habitabilidad por parte del ciudadano?

Hipótesis de la investigación

- El problema de las inundaciones proviene directamente del incorrecto funcionamiento de los sumideros de la ciudad.
- Las inundaciones sectoriales se presentan por el ineficiente funcionamiento de unos sumideros que posteriormente sobre demandarán a los otros
- La intervención en algunos puntos del sistema de alcantarillado, que no son críticos, permite mejorar las condiciones en los puntos críticos de la ciudad.
- La implementación masiva de un elemento contenedor permitirá alcanzar la capacidad necesaria para albergar volúmenes de agua suficientemente grandes que disminuyan la probabilidad de inundaciones.
- La esorrentía de las vías es suficiente fuente energética para lograr disponer una porción de las aguas en un punto específico con el fin de disminuir los volúmenes que maneja el sistema de alcantarillado, para evitar así inundaciones.

Justificación

El crecimiento de Cali acompañado de un sistema de drenaje que se ha quedado corto para las condiciones actuales de la ciudad, hacen de esta una zona altamente vulnerable a inundarse. Esta vulnerabilidad se incrementa con la presencia del fenómeno de la niña que al ser cada vez más fuerte representa un riesgo constante mucho mayor.

En la búsqueda por mitigar esta problemática EMCALI ha realizado fuertes inversiones en proyectos sin llegar a un resultado contundente ya que el sistema

sigue sin dar abasto, manteniendo la problemática tanto para ellos mismos como para los ciudadanos.

Según el ingeniero Edgar Llanos, presidente de ACODAL (asociación colombiana de ingeniería sanitaria y ambiental), actualmente Cali no cuenta con la capacidad de trasladar el gran volumen de agua generado por los eventos pluviales por lo que requiere considerar una restructuración de su sistema de drenaje (Llanos, citado en El País 2014). Sin embargo el jefe de alcantarillado de EMCALI, Efraín torres, afirma que resulta sumamente costoso e inviable hacer una restructuración de las redes de alcantarillado, por lo que deben considerarse otro tipo de alternativas que complementen la capacidad del sistema. (Entrevista personal Efraín torres, octubre 2014).

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un sistema que contenga una porción de las aguas durante un evento de lluvia con el fin de evitar la congestión en la red de alcantarillado de Cali disminuyendo, de esta manera, las inundaciones sectoriales.

Objetivos específicos

- Disminuir la cantidad de agua que va a las redes de alcantarillado para evitar el colapso de éstas.
- Implementar sistemas urbanos de drenaje sostenible desde el diseño industrial con el fin de disminuir los costos de su aplicación.
- Maximizar la adaptabilidad del sistema con el fin de que facilitar un proceso de aplicación en donde se requiera, debido al crecimiento variable y desorganizado de la ciudad de Cali.

Viabilidad

Para realizar este proyecto de investigación se contará con un fácil acceso de información tanto de fuentes confiables y de primera mano, como de la situación real, lo que permitirá el contacto directo y posibilidades de observación/ experimentación en la etapa investigativa del proyecto, así como la facilidad de evaluar posibles soluciones.

Al tratarse de un tema público, debe haber información oficial de la que se podrá referenciar la investigación. Además se cuenta con el apoyo del involucrado directo de esta situación, EMCALI, quien ha depositado ya numerosos esfuerzos con el fin de solucionar la problemática.

El proyecto será desarrollado para la ciudad de Cali que por sus condiciones geográficas, climáticas y de infraestructura resulta altamente vulnerable a presentar inundaciones sectoriales por colapso de la red. La duración del mismo será de 10 meses en los cuales se realizarán una primera etapa de investigación y una segunda de desarrollo del diseño y la financiación del prototipo, de la idea que decida desarrollarse, será financiada por los estudiantes encargados del proyecto

Metodología

El tipo de investigación del que se acompañará el desarrollo de este proyecto responde a la enmarcada por investigación histórica, descriptiva y experimental. De esta manera, se podrá dar inicio a un proceso de conocimiento de todo lo que se ha hecho hasta el momento en esta situación, que es lo que comprende la primera etapa de este tipo de metodología, la histórica (lo que ha sucedido). El problema de las inundaciones ha acompañado por mucho tiempo a la ciudad, por lo que se considera un estado del arte bastante rico que debe ser considerado como referente significativo a la hora de saber qué se ha hecho para empezar a construir el camino hacia una solución.

Seguidamente, una vez identificado lo que ha pasado, se dará inicio a un proceso en el que se consideren las variables actuales, (lo que está sucediendo) metodología descriptiva. Se cuenta con la capacidad para ubicarse en ambos roles (EMCALI/ ciudadano) con el fin de considerar ambas perspectivas ante la problemática, la cual será susceptible de ser muy bien analizada por la cercanía que se tiene al lugar de los hechos, lo que permitirá identificar mejor lo que ocurre ante una problemática de este tipo.

Finalmente, se empezará un proceso de experimentación en el que se permita evaluar las posibles alternativas que manejen lo que se ha presentado hasta el momento, abriendo una brecha que dé lugar a nuevos descubrimientos de variables presentes en esta dinámica. La investigación experimental (lo que va a pasar), permitirá reconocer de forma más directa por qué se colapsan las redes de alcantarillado y que cantidades de agua no están siendo bien manejadas, entre otras variables más, para poder considerar así, alternativas que permitan solucionar la problemática bajo un componente de innovación y eficacia mucho más fuerte de lo que se ha conseguido hasta ahora.

MARCO TEÓRICO

1. Inundaciones en Cali ocasionadas por fuertes lluvias

Cali es una ciudad con puntos altamente vulnerables de ser inundados durante fuertes eventos de lluvia. Según el Plan local de emergencias y contingencias de Cali (2009) a lo largo de un periodo de 50 años, el 25,2 % de los riesgos presentados corresponden a las inundaciones. Éstas, de acuerdo a la Corporación Osso (2004) hoy en día se presentan no tanto por desbordes del río Cauca, sino por rebosamiento de canales, colectores y alcantarillas.

Tales rebosamientos se ven provocados por factores climáticos, geográficos, culturales y principalmente de infraestructura. Según Luis Carlos Cerón, gerente de acueducto y alcantarillado de EMCALI, el sistema de drenaje de la ciudad funciona bien en un 98%. (Luis Carlos Cerón, Citado en el País, 2013), siendo ese 2% restante el encargado de colapsar las redes, representando el estado de vulnerabilidad de la ciudad.

1.1 Causas

A continuación se presentarán los factores que inciden en esta problemática.

1.1.1 Clima

El principal aspecto climático que afecta el correcto funcionamiento del sistema de alcantarillado de la ciudad radica en los periodos de fuertes lluvias. Muñoz y Escobar (1997) caracterizan un episodio de lluvia a partir de tres variables: intensidad, frecuencia y duración, las cuales determinan la capacidad que se debe implementar en los sistemas de drenaje de manera que sea la adecuada para drenar el caudal de aguas lluvias en un área determinada.

Según el IDEAM, los meses de enero, febrero, julio y agosto en Cali son predominantemente secos, siendo los meses de mitad de año, los de menores lluvias. Las temporadas de lluvia se extienden de marzo a mayo y desde finales de septiembre hasta la primera mitad de diciembre. Así, la frecuencia de lluvias puede variar, en los meses secos, de 6 días/mes aproximadamente a 18 días/mes en los meses lluviosos. (Ver tabla 1)

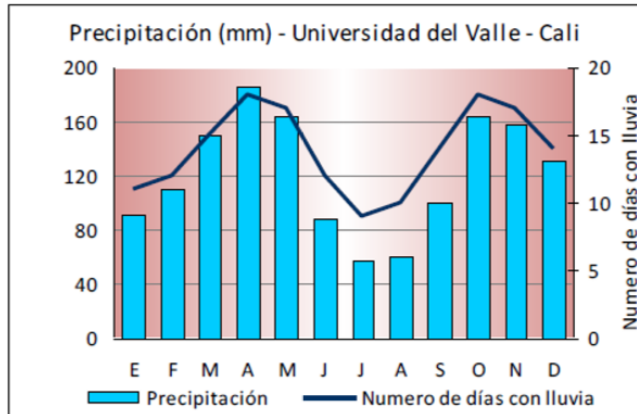


Tabla 1 Precipitaciones en Cali

Fuente: Colombia. IDEAM (N.D.) Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos. Bogotá

Las lluvias con mayor intensidad se presentan en el pie de monte de la cordillera occidental y en la parte plana de la zona oriental, mientras que en la zona centro se presentan intensidades más bajas. (Ver tabla 2) Debido a esto, y a la geografía de Cali, que se inclina de oeste a este, la zona oriental es la más afectada por ser, gracias a la gravedad, el punto de disposición final para las aguas lluvia de la ciudad.

| Estación | Intensidad Máxima (mm) | Intensidad Media (mm) | Intensidad Mínima (mm) | Desv Std | Coef.Var (%) | % total de lluvia en 24 horas |
|-----------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|----------|--------------|-------------------------------|
| Cañaveralajo (1968-1994) | 25.0 | 14.5 | 10.5 | 3.4 | 23.7 | 18.1 |
| CVC (1983-1994) | 20.0 | 12.3 | 5.0 | 4.6 | 37.1 | 17.3 |
| La Ladrillera (1982-1994) | 16.2 | 13.3 | 12.1 | 1.2 | 8.9 | 15.6 |
| Planta Río Cali (1954-1994) | 32.5 | 15.0 | 11.5 | 4.5 | 29.9 | 25.9 |
| Planta Río Cauca | 25.0 | 12.2 | 8.9 | 3.9 | 15.9 | 20.3 |
| San Bosco (1960-1994) | 17.5 | 10.7 | 8.3 | 2.2 | 21.0 | 15.1 |
| San Luis (1965-1994) | 26.3 | 11.1 | 4.3 | 4.6 | 41.8 | 17.6 |
| Univalle (1966-1994) | 18.0 | 11.5 | 6.2 | 2.8 | 24.2 | 19.5 |

Tabla 2 Intensidad lluvias en Cali

Fuente: Materón H. Carvajal Y (1997). Curvas de intensidad, frecuencia y duración de lluvias para Cali: Actualización y consideraciones. Ingeniería y competitividad Vol. 1 P33

Según Ávila, Carvajal y Gutiérrez (2013) en los periodos de 1973-1974 y 1975-1976, el fenómeno de la niña representó un incremento en las precipitaciones de un 28% y 25% respectivamente. Estas cifras se han ido incrementando hasta alcanzar, por ejemplo, para el periodo 2010-2011 un 65% de incremento en las precipitaciones, por lo que al haber sido diseñado bajo ciertas condiciones iniciales sin esperar un aumento tan significativo, el sistema ha empezado a dejar de ser suficiente, siendo cada vez más vulnerable a ocasionar inundaciones en Cali.

1.1.2 Geografía

Cali, según el PSMV emitido por EMCALI (2007), se define como una ladera pendiente que presenta un crecimiento urbano acelerado y descontrolado. Por esta razón es una ciudad altamente susceptible de inundarse de forma sectorial.

La ladera pendiente se encuentra descrita por una inclinación en el terreno tanto de este a oeste como de sur a norte. Así, ante un episodio de lluvias, las aguas, por gravedad, se direccionarán hacia la parte oriental, convirtiendo a este sector en el más vulnerable cada vez que se presente este fenómeno meteorológico.

De esta manera, para evitar que se presenten inundaciones tanto en el oriente como en el resto de la ciudad, el sistema de alcantarillado que se ha implementado cuenta con obras de control de inundaciones y drenaje como canales, lagunas de regulación y anillos de protección¹. Estas medidas de mitigación, debido al crecimiento urbano que se ha presentado, han dejado de ser suficientes ya que fueron diseñadas para la zona consolidada, es decir, la zona urbana establecida para el 2006, y no se tuvo en cuenta la zona de expansión, que es la enmarcada por el significativo crecimiento urbano que se ha venido presentando, principalmente, hacia el oriente de la ciudad y hacia el corredor vial Cali-Jamundí. (Ibid.).

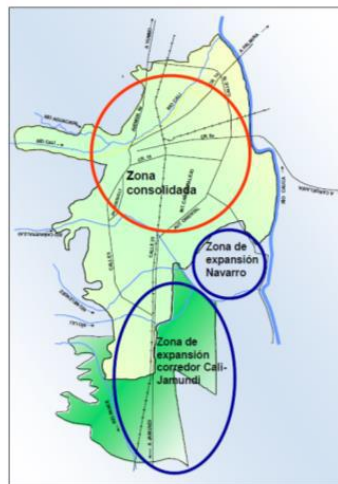


Ilustración 1

Ilustración 2 Mapa zonas de Cali

Fuente: Colombia. Emcali EICE ESP Unidad Estratégica de Negocio de Acueducto y Alcantarillado (2006). Plan de saneamiento y manejo de vertimientos 2007-2016. Cali.

¹ Presentación a cargo de Luis González, Presentación de la Alcaldía: Proyecto Ciudadela CaliDa, 11 Sept 2014.

Otra variable que afecta esta problemática es la condición de los suelos. Según la Corporación Osso (2008), en la ciudad de Cali las tierras se caracterizan por tener suelos blandos y un nivel freático cercano a la superficie, por ejemplo, en la zona de cañaveralejo, este nivel fluctúa entre 0,1 y 5,2 m, con valores aislados a 9 m.

Según el geólogo Juan Gil, del Instituto de ciencias de la tierra, el nivel freático representa el nivel de saturación por agua en los suelos, el cual, al ser cercano a la superficie disminuirá la capacidad de infiltración del terreno. Debido a esta condición, ante episodios de fuertes lluvias la capacidad de absorción de los suelos de la ciudad de Cali no es lo suficientemente alta favoreciendo la acumulación de aguas por encima de la superficie, lo que facilita la aparición de inundaciones.

1.1.3 Cultura

Los factores culturales permiten identificar en la ciudadanía tres grandes grupos que a partir de sus acciones afectarán al sistema de alcantarillado. (Entrevista personal con Efraín Torres, Jefe del Departamento de Recolección, Emcali, 26 Ago 2014)

Por un lado, se encuentra el grupo que a través del vandalismo deteriora la calidad del sistema, hurtando, principalmente, las tapas de los sumideros para cambiarlas por dinero.

Por otro lado, se encuentra el grupo en el que la falta de cultura ciudadana, reflejada en la disposición indiscriminada de las basuras en las calles, facilita el taponamiento del sistema, disminuyendo así su capacidad.

Finalmente, están los AHDI o Asentamientos Humanos de Desarrollo Incompleto, es decir las invasiones. Estos grupos han sido los responsables de disminuir significativamente la capacidad de los sistemas de regulación, entendidos como las lagunas del Pondaje y Charco Azul al rellenarlas con escombros y basuras para poder construir ahí sus viviendas.

1.1.4 Infraestructura

“El sistema de alcantarillado se divide en tres sistemas de drenaje y está compuesto por 3374 Km de redes, 93 Kilómetros de Canales, 72.000 cámaras de inspección, 117.000 sumideros, 28 estructuras retenedoras de sólidos y 715 estructuras de separación.” (Emcali, 2005)

Dependiendo del tipo de fluidos que estén transportando, los sistemas de drenaje pueden ser: sanitario (aguas residuales), pluvial (aguas lluvia) y combinado (aguas lluvia y aguas residuales). El sistema de drenaje sanitario, tiene un comportamiento que gracias a los registros históricos permite ser estimado tanto

en los diferentes momentos del año como en los diferentes momentos del día. Por el contrario, el sistema de drenaje pluvial, presenta un comportamiento que, a pesar de que se puedan identificar las épocas de lluvia en el año, termina siendo impredecible.

Adicionalmente, el fenómeno de la niña, que aumenta la intensidad de las precipitaciones, ha desarrollado un incremento que hace mucho más vulnerable al sistema. Son estos elevados y descontrolados niveles de lluvia los encargados de inundar a la ciudad debido a que el sistema no puede drenarlos rápidamente.

“Se entiende por sistema un conjunto de entidades caracterizadas por ciertos atributos que tienen relaciones entre sí” (Andrade, 1997 citado por Delgado y Pulido 2005, p. 27). “Todos los sistemas no pueden ser estudiados a través del análisis de sus elementos o partes componentes, la gran mayoría requieren de una visión como totalidad que analice las interrelaciones entre sus partes” (Delgado y Pulido, 2005). Por lo anterior, deberá entenderse que un colapso en las redes de alcantarillado ocasionará una disminución en el funcionamiento de las demás partes (sumideros, cámaras de inspección, etc.) lo que conducirá a una situación de caos en la que el resultado final son las inundaciones sectoriales.

1.2 Consecuencias

La red de alcantarillado es un elemento compartido que logra permear la realidad de muchos intereses, desde la empresa encargada de ser la prestadora del servicio hasta el ciudadano de a pie.

El grado de involucramiento varía de uno a otro. EMCALI, que es la responsable del servicio, está al tanto de todo lo que ocurre alrededor de estos, mientras que el ciudadano de a pie, en la mayoría de los casos, tan solo es consciente de la problemática ante circunstancias críticas del sistema como inundaciones, accidentes, contaminación visual y olfativa, entre otras.

1.2.1 EMCALI

EMCALI a través de los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV), desarrolla un “conjunto de programas, proyectos y actividades, con sus respectivos cronogramas e inversiones necesarias para avanzar en el saneamiento y tratamiento de los vertimientos, incluyendo la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales descargadas al sistema público de alcantarillado, tanto sanitario como pluvial, los cuales deberán estar articulados con los objetivos y las metas de calidad y uso que defina la autoridad ambiental competente”. (Emcali, 2007), que en este caso son el DAGMA, la CVC y el Ministerio de Ambiente.

Sin embargo, los programas y proyectos que se han implementado no han sido suficientes para responder tanto a la demanda actual como a los múltiples factores que se presentan, como lo son los factores climáticos, geográficos, culturales y de infraestructura.

EMCALI ha venido desarrollando, debido a este plan de saneamiento, obras que ayuden en la mitigación de las problemáticas por el funcionamiento del sistema de alcantarillado, sin embargo, la constante presencia de inundaciones reafirma la incapacidad del sistema para responder a las condiciones de la ciudad. Debido a esto, la imagen de la empresa, en la prestación de este servicio, se ve afectada. Ha perdido credibilidad como responsable de esta actividad. La situación particular con este servicio, es la incapacidad que se tiene para cambiar de proveedor, por lo que la realidad de tener que seguir con la empresa tan solo deja la opción de no estar satisfecho con ella.

Así pues, las inundaciones traerán consigo fuertes inyecciones de dinero tanto para el mantenimiento correctivo como para el pago de los daños ocasionados en la ciudadanía en general.

1.2.2 Ciudadanos de Cali

El insuficiente funcionamiento de la red de alcantarillado propicia inundaciones sectoriales. Según el Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados, CIACUA, (2009) lo anterior representa para los conductores dificultades en la movilidad al aumentar la probabilidad de sufrir un accidente por pérdida de control del vehículo ante una acumulación significativa de aguas de escorrentía en las vías, afectando negativamente el flujo normal de los vehículos.

Algunas de las molestias que deben soportar los residentes de los distintos barrios son: Cuando se presentan episodios de fuertes lluvias y se taponan la entrada de los sumideros, el nivel de las aguas en las calles empieza a subir. De esta manera, se vive con la amenaza constante de ser invadidos al interior de las viviendas por las aguas lluvias, las cuales representarán pérdidas económicas para un grupo de ciudadanos que esperará con incertidumbre la siguiente lluvia.

2. Medidas para contrarrestar las inundaciones

Momparler y Doménech del Departamento de Ing. Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia afirman que “El crecimiento de las zonas impermeables en las ciudades modifica los flujos naturales del ciclo hidrológico, tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo. La reducción de espacios vegetados reduce en primera instancia la intercepción natural y la

evapotranspiración. El aumento de la impermeabilidad redonda en una reducción de la infiltración. Como consecuencia de todo ello, se generan volúmenes de escorrentía netamente mayores, y además, se aceleran los tiempos de respuesta, por lo que aumenta el riesgo de inundaciones”

Por lo anterior tanto a nivel local como a nivel internacional se han desarrollado medidas que mitiguen la alteración en el flujo de las aguas tras la impermeabilización de las calles. A continuación se hará un recuento de dichas medidas.

2.1 Medidas locales

EMCALI ha llevado a cabo la construcción de lo que ellos llaman sistemas de regulación. Estos son la laguna del Pondaje, la laguna de Charco Azul y el embalse Cañaveralejo, los cuales tienen como objetivo amortiguar los picos de lluvias y de esta manera evitar las inundaciones en los sectores aledaños (EMCALI, 2007).

Adicionalmente, EMCALI ha desarrollado programas de mantenimiento del sistema de drenaje, el cual se divide en mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo.

En cuanto al mantenimiento preventivo, la empresa debe realizar la labor de barrido de los sumideros dos veces al año con el fin de disminuir la probabilidad de inundación y la presencia de aguas residuales en los canales de agua lluvia que llegan a través de la red de alcantarillado.

En cuanto al mantenimiento correctivo debe atender las solicitudes del servicio de alcantarillado realizadas por la comunidad con relación a casos puntuales de mantenimiento y reparación de redes (EMCALI, 2007).

Sin embargo, estas medidas a pesar de haber representado grandes inversiones por parte de EMCALI, no han sido suficientes para dar solución a la problemática.

2.2 SUDS

A nivel global esta problemática ha sido tratada a partir de los SUDS (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible) que “son el conjunto de soluciones que se adoptan en un sistema de drenaje urbano con el objeto de retener el mayor tiempo posible las aguas lluvias en su punto de origen sin generar problemas de inundación, minimizando los impactos del sistema urbanístico en cuanto a la cantidad y calidad de la escorrentía y evitando así sobredimensionamientos o ampliaciones innecesarias en el sistema. La filosofía de los SUDS es reproducir,

de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana” (Secretaría distrital de ambiente de Bogotá, 2007)

En el mercado existe una gran variedad de estas alternativas, sin embargo un gran número de ellas se descarta de antemano por las condiciones de los suelos de la ciudad. De esta manera, las alternativas que se adaptan al contexto de Cali son:

- Tanques de almacenamiento



Ilustración 3 Tanques de almacenamiento

Fuente: BOGOTÁ. SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE (2011) Sistemas urbanos de drenaje sostenible. Bogotá.

- Cubiertas vegetalizadas



Ilustración 4 Cubiertas vegetalizadas

Fuente: BOGOTÁ. SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE (2011) Sistemas urbanos de drenaje sostenible. Bogotá.

- Cunetas verdes



Ilustración 5 Cunetas verdes

Fuente: BOGOTÁ. SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE (2011) Sistemas urbanos de drenaje sostenible. Bogotá.

- Sumidero tipo alcorque inundable



Ilustración 6 Sumidero tipo alcorque inundable

Fuente: BOGOTÁ. SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE (2011) Sistemas urbanos de drenaje sostenible. Bogotá.

- Pondaje húmedo vegetado



Ilustración 7 Pondaje húmedo vegetado

Fuente: BOGOTÁ. SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE (2011) Sistemas urbanos de drenaje sostenible. Bogotá.

En relación a la capacidad que deben tener los SUDS, la Secretaría distrital de ambiente de Bogotá (2011), tomando como referencia estándares de Estados Unidos, establece que la escorrentía que debe ser conducida a través de estos sistemas debe equivaler al 90% de todos los eventos de precipitación, es decir a tormentas con periodos de retorno entre 1 y 2,33 años. En caso que se opte por dimensionar los sistemas utilizando curvas IDF y bajo la obtención y tránsito de hidrogramas de tormenta, la duración de la tormenta de diseño podrá tomarse igual a tres horas.

Sin embargo, la implementación de SUDS, al tratarse de una intervención arquitectónica presenta dos problemáticas. Por un lado debe incurrirse en costos muy altos, y por otro lado se llega a una solución para un punto muy específico, lo que dificulta su replicabilidad y adaptabilidad a diferentes contextos que demanden ser atendidos por esta problemática.

Finalmente, “con la implementación de esta medida alternativa, acorde a la demanda de la ciudad puede evitarse la necesidad de desdoblamiento de la red convencional o el hecho de tener que asumir inundaciones más frecuentes” (Momparler y Doménech, N.R.)

3. Sistema de Alcantarillado de Cali

3.1. Definición y Tipos

El sistema de alcantarillado es el encargado de drenar todas las aguas de la ciudad, tanto las residuales como las de lluvia, para conducir las a un punto de disposición final, que en el caso de Cali es el río Cauca. Según el tipo de agua que conduzca, el alcantarillado será denominado sanitario, si conduce aguas residuales, pluvial, si conduce aguas lluvias, y combinado, si conduce ambas.

Según el PSMV (2007), hacia principios del siglo XX el alcantarillado de Cali mezclaba tanto aguas lluvias como aguas residuales en un mismo conducto, por lo que el tipo de alcantarillado con el que contaba era combinado. Sin embargo, hacia los años 50`s se desarrolló el Plan Maestro de Alcantarillado en el que se planificó la expansión del alcantarillado en las nuevas áreas como un sistema separado, pretendiendo integrar los grandes colectores existentes, solucionar los problemas de incapacidades y destinos finales que se comenzaban a presentar.

A pesar de esto, en la actualidad el sistema de alcantarillado está siendo insuficiente ya que no se realizó una proyección adecuada del crecimiento que la ciudad tendría ni de los incrementos en los niveles de lluvia debidos al fenómeno de la niña. Tal incremento en los niveles de agua lluvia es el que actualmente pone en riesgo el correcto funcionamiento del sistema de alcantarillado pluvial al no tener la capacidad de responder prontamente a las cantidades de agua recibidas.

3.1.1. Sistema de Alcantarillado Pluvial

“El sistema de alcantarillado pluvial consta de 88,72 km en longitud de canales, de los cuales, el 87% se encuentran revestidos y el resto están en tierra. Además, lo conforman 98.000 sumideros, 20 unidades desarenadoras, sistemas de regulación (lagunas del Pondaje y Charco Azul) y los ríos Lili, Meléndez, Cañaveralejo, Cali, Aguacatal y Cauca” (PSMV, 2007).

Ante un evento de lluvia el sistema de alcantarillado pluvial actúa de la siguiente manera. En las vías se encuentran puntos de captación denominados sumideros, los cuales funcionan como punto de entrada de las aguas lluvias que corren por las calles para conducir las ya sea a las tuberías o a los canales abiertos. Así, los canales trabajan como puntos de recepción de las aguas que son captadas por los sumideros para conducir las hasta el punto de disposición final, el río Cauca. En este trayecto, ubicadas en ciertos puntos estratégicos, se encuentran las unidades desarenadoras, las cuales pretenden, como su nombre lo dice, retirar la mayor cantidad posible de lodos para evitar así taponamientos en los puntos de

disposición final. En caso de presentarse niveles de lluvia muy altos, los sistemas de regulación (lagunas del Pondaje y Charco Azul) serán los encargados de amortiguar los picos de lluvias y de esa manera evitar las inundaciones de los sectores aledaños.

3.1.1.1 Canales de aguas lluvias

Los canales de agua lluvia son uno de los componentes del sistema de alcantarillado pluvial. Su función es recibir las aguas que han sido captadas por los sumideros para dirigir las al punto de disposición final. De esta manera, al ser el punto de salida de los sumideros, un elevado nivel de las aguas en este punto impediría el correcto funcionamiento de éstos al no tener donde disponer sus aguas, por lo que el proceso de captación se detendría y el nivel de las aguas sobre la superficie empezaría a crecer, causando inundaciones sectoriales.

Los canales de aguas lluvias pueden ser abiertos o cerrados, los abiertos exponen directamente las aguas conducidas al espacio público y los cerrados se encuentran totalmente aislados a partir de una cubierta en concreto seguida de una cubierta de zona vegetal.

3.1.1.1.1 infraestructura de los canales abiertos

Los canales abiertos están comprendidos por una parte inferior revestida en concreto, una parte superior de zona verde y un área horizontal de aislamiento como se muestra en la ilustración 7. Los primeros dos componentes deben ser construidos bajo un proceso de adaptación a las condiciones de localización de vías y zonas verdes en donde se encuentren inscritos, por lo que sus dimensiones resultan ser variables. El tercer componente (área horizontal de aislamiento) según la norma para el diseño de sistemas de alcantarillado de EMCALI (1999) debe conservar siempre 3 metros de aislamiento mínimo entre el sardinel y el tope del canal como una medida de seguridad que además facilite las labores de mantenimiento.

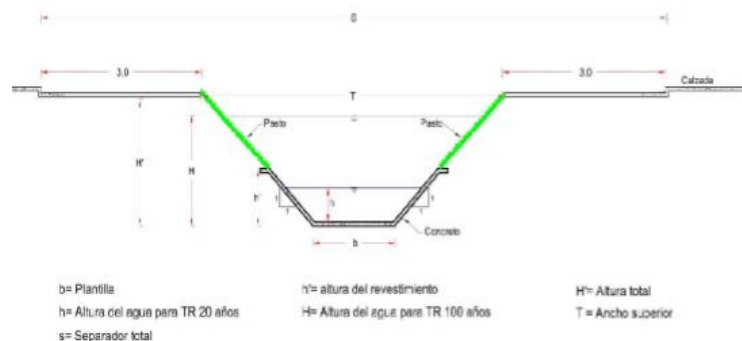


Ilustración 8 Infraestructura canal abierto

Fuente: Colombia. EMCALI (1999) Normas para el diseño de sistemas de alcantarillado

3.1.1.1.2 problemáticas de los canales de aguas lluvias e intervenciones para solucionarlas

“Estos canales están diseñados para transportar exclusivamente aguas lluvias, lo que quiere decir que en ausencia de las mismas, estas estructuras deberían permanecer secas y limpias. Sin embargo, la realidad, hoy por hoy, es que muchos de estos canales de aguas lluvias se encuentran impactados negativamente por la presencia de aguas residuales, la disposición inadecuada de todo tipo de residuos sólidos y la invasión de la franja de protección, entre otros” (Beatriz Eugenia Orozco directora del DAGMA, citada en página web de la alcaldía de Cali, 2012)



Ilustración 9 Basura y aguas residuales en los canales de Cali

Fuente: Diario ADN (2012) EMCALI solicitó a la ciudadanía cuidado de canales y sumideros

Así, alrededor de los canales se están presentando una serie de dinámicas que afectan significativamente a la ciudad. Por un lado, la presencia de aguas residuales y disposición de basuras en su interior hacen de éste un foco de problemas ambientales por contaminación además de facilitar el taponamiento del sistema entorpeciendo su funcionamiento, lo que ha de provocar inundaciones. De esta manera, al correr por ellos aguas contaminadas que se rebosarán en eventos de fuertes lluvias se tiene una latente amenaza de contacto directo por parte de los ciudadanos con dicho material nocivo.

Por otro lado, según la fundación Carvajal (2007) la invasión del área de protección ha empezado a ocasionar problemas de violencia y consumo de estupefacientes en la zona, por lo que las comunidades cercanas a estos espacios

toman distancia y los convierten en espacios restringidos para la comunidad al resultar riesgoso transitar por ahí.

Con el fin de solucionar esta problemática, EMCALI, la Fundación Carvajal, el gobierno municipal, y la empresa encargada del aseo de la ciudad han realizado alianzas para intervenir los canales de aguas lluvias y las zonas verdes aledañas a estos logrando mejorar las condiciones ambientales, paisajísticas y urbanísticas a través de un proceso de intervención integral y sostenida.



Ilustración 10 Intervención en los canales de Cali

Fuente: Fundación Carvajal (2007) Recuperación paisajística de canales

4. Espacio público

4.1 Definición

El espacio público de la ciudad se define como “el conjunto de inmuebles públicos y los elementos arquitectónicos y naturales de los inmuebles privados, destinados por su naturaleza, por su uso o afectación a la satisfacción de necesidades colectivas que trascienden los límites de los intereses individuales de los habitantes.” (Art 2, Dec.1504 de 1998).

De esta manera, se estableció constitucionalmente, de acuerdo al artículo 82 del decreto 1504 de 1998, como deber del estado velar por la protección de la

integridad del espacio público y por su destinación al uso común, el cual debe prevalecer sobre el interés particular.

4.2 Cultura y habitabilidad

Según la Propuesta para la formulación de la política pública de cultura ciudadana para Santiago de Cali (2010), la relación adecuada que el ciudadano pueda establecer con su entorno desarrollando interés por lo público y usando los espacios comunes para la integración social permitirá alcanzar un sentido de pertenencia por los bienes públicos generando un mayor cuidado del patrimonio colectivo de la ciudad, cuya conservación es responsabilidad de cada individuo y del estado.

Sin embargo, actualmente se está presentando un uso indebido del espacio público, siendo esto un problema cultural, ya que como se plantea en el MECEP “el espacio público es un componente fundamental en la constitución de las ciudades y por ende de la sociedad, en él se refleja nuestra socio cultura y se expresa nuestro grado de civilidad” (MECEP, 2003)

Por lo anterior, resulta necesario que se eduque al ciudadano para proveer condiciones que propicien el encuentro de estos en el espacio público. Como parte de dicho proceso educativo, entra en juego el concepto de habitabilidad, el cual, según Katya Mandoki, significa que “una ciudad tiene que ser estimada por sus habitantes, disfrutada, fomentando el arraigo; así éstos se encargarán de forma natural de cuidarla” (Mandoki, 1994)

Finalmente, según la Propuesta para la formulación de la política pública de cultura ciudadana para Santiago de Cali (2010), tras una época de menosprecio por las zonas arborizadas, en donde como visión de desarrollo solo se entendía el pavimento, en la actualidad han empezado a valorarse las zonas verdes como un elemento importante del paisaje y la identidad urbana, por lo que los ciudadanos, cada vez más, lo están reclamando en los espacios públicos.

4.3 Publicidad en espacios públicos

El manejo de pautas en el espacio público se lleva a cabo en tanto que el lugar a emplear como punto de pauta resulte concurrido por un significativo número de ciudadanos permitiendo así un alto nivel de propagación de la información que se quiera comunicar.

Por lo anterior, en la actualidad los Mupis (mobiliario urbano para la exhibición de material publicitario) (ver ilustración 10) ubicados en parques, paraderos o zonas cercanas a las vías principales resultan un negocio muy atractivo para las

empresas que buscan hacer publicidad y muy rentable para las encargadas de ofrecer el servicio ya que según Jorge Jiménez de la universidad Autónoma de Bucaramanga (2007) la pauta en estos elementos representa un ingreso de \$500.000 por cada 14 días de pauta.



Ilustración 11 Mupi - Publicidad para exteriores

Fuente: Trish place, diseño gráfico, fotografía y dibujo (2012) León plaza mupi [en línea] recuperado de: <https://trishplace.wordpress.com/2012/10/11/leon-plaza-mupi/>

TRABAJO DE CAMPO

Metodología aplicada

Para el trabajo de campo se implementó una investigación cualitativa en la que se realizó entrevistas a expertos de cada una de las áreas involucradas con el tema del sistema de alcantarillado.

Efraín Torres, jefe de alcantarillado de EMCALI proporcionó información acerca de cómo está constituido este sistema de la ciudad de Cali y la manera en que realiza su trabajo, puntualizando las distintas problemáticas que afectan su correcto funcionamiento y que conducen a inundaciones.

Enrique Cortés, encargado del mantenimiento de cámaras y sumideros explicó el proceso mediante el cual se realiza el mantenimiento de los sumideros, los problemas que se han presentado y las acciones que se han tomado para corregirlos. Con su acompañamiento se realizó una salida en la que se pudo observar el proceso de mantenimiento de aproximadamente 100 sumideros, logrando entender así la manera en la que se interconectan y se disponen en el canal de aguas lluvias.

Diana María Caicedo, miembro de la Secretaria de Salud, identificó al sumidero como el principal foco de propagación de vectores como el Aedes Aegypti y explicó las condiciones que facilitan su reproducción.

Para cada uno de los tres casos, se realizó lo prescrito por una investigación de tipo histórica en la que de entrada se debe validar la calidad de las fuentes de información y posteriormente la validez de la información dada. Así, haber trabajado con personal experto en estos tres campos correspondientes al funcionamiento y a las situaciones que se presentan en torno al sistema de alcantarillado, otorgó credibilidad a la información recibida, la cual fue evaluada y entendida para comprender con mayor profundidad la situación Problema.

La información proporcionada por estos tres expertos en el tema permitió encontrar variables que al ser solucionadas en uno de los campos representaba generar un problema en otro. Así, fue necesario aplicar un estudio correlacional de variables para entender la dinámica que se estaba presentando y la implicación de cada variable en el funcionamiento del sistema.

Para tener una interpretación correcta de cómo es entendido el sistema de alcantarillado actualmente en la ciudad se realizó una investigación descriptiva. De esa manera se encuestó a 60 ciudadanos de Cali para averiguar sobre el conocimiento que existe acerca del sistema, su funcionamiento, los factores que lo afectan y la importancia que representa para la ciudad

Se realizó una investigación experimental y no experimental durante un evento de lluvia lo que permitió evaluar el comportamiento de los sumideros y los canales ante la escorrentía y los residuos sólidos que ésta arrastraba.

Se pretende aplicar los resultados arrojados del trabajo de campo y de la investigación teórica para el diseño de un elemento que se ubique en la zona del canal de agua lluvia con el fin de resolver las problemáticas que se están presentando, produciendo inundaciones.

Resultados

En las entrevistas realizadas a los expertos de las diferentes áreas se obtuvo los siguientes resultados:

Efraín Torres resaltó que la principal causa de las inundaciones es la falta de cultura ciudadana, ya que la presencia de residuos sólidos en la red de alcantarillado facilita el taponamiento de ésta. Para atender esta problemática, muchos ciudadanos que ignoran el funcionamiento de los sumideros han instalado mallas que impiden el ingreso de residuos sólidos al interior de éste, provocando que se tapone mucho más rápido y deje de funcionar. El sumidero ha sido diseñado para que las basuras arrastradas por la escorrentía ingresen y el agua, separada de los residuos se dirija a las redes de alcantarillado. De esta manera, al obstruirlos, se está impidiendo que las aguas de las vías se transporten a los canales provocando un incremento en los niveles superficiales.

La estructura del sumidero que permite emplear la decantación como método de separación requiere de la presencia de agua en la cámara todo el tiempo. Además de lo anterior, el agua almacenada hace las veces de sifón que impide la salida de malos olores provenientes de la red de alcantarillado donde se conectan las aguas lluvias con las aguas residuales.

Otra de las cosas a las que se refirió fue la manera en que se le realizaba el mantenimiento a los sumideros, afirmando que era mucho más eficiente hacerlo de forma manual que implementar una máquina que lo hiciera por razón de costos y de tiempo asociado a la logística que implica manejar un elemento de limpieza por succión que se emplea actualmente, que es un vector (Ver anexo 1).

Durante todo el trabajo de campo recalcó lo orgullosos que se sienten del sistema de alcantarillado de la ciudad, especialmente los sumideros por la estructura, que comparada con los de Medellín y Bogotá muestra mucha más tecnología y eficiencia. Sin embargo, el colapso de los canales, que son los puntos de disposición de los sumideros, muchas veces entorpecen su correcto funcionamiento.

Por otro lado, Enrique Cortés, encargado del mantenimiento de cámaras y sumideros informó de las molestias que se presentan en el desarrollo de esta actividad, identificando como la principal, el sobre esfuerzo que debe realizarse por parte de los trabajadores debido a las posturas asumidas en el momento de retirar los residuos sólidos de cada sumidero. Muestra de la exigencia de la actividad y lo que estaba representando para EMCALI fue la disminución en la jornada laboral, donde se pasó de ocho a cuatro horas diarias.

Adicionalmente, en el momento de realizar la extracción de los residuos de cada sumidero se cuenta tan solo con instrumentos convencionales como lo son una

pala y una pica, los cuales, no tienen las condiciones mínimas que deben presentarse para la extracción como separar los sólidos de las aguas a fin de no contaminar tanto la superficie.



Ilustración 12 Mantenimiento de sumideros

Fuente: producción propia

Pudo observarse que para los ciudadanos, la realización del mantenimiento era una actividad sumamente molesta por los olores que se generaban, la contaminación visual y la salida de insectos como cucarachas.

Diana María Caicedo, miembro de la Secretaría de Salud, afirmó que el sumidero es el principal foco de propagación de vectores como el *Aedes aegypti*. La razón de lo anterior es la presencia constante de aguas estancadas, las cuales se convierten en el medio propicio para que se dé la reproducción de este vector. Sin embargo, no basta con las aguas estancadas, pues la luz del sol, por ejemplo, es un factor fundamental para que la reproducción pueda llevarse a cabo. De esta manera, son múltiples las variables que se pueden intervenir a fin de imposibilitar o minimizar la reproducción del *Aedes aegypti* dentro del sumidero.

A partir de lo anterior, la correlación de variables llevó a establecer una serie de dinámicas en las que ante distintas situaciones optar por una opción en pro de una problemática representa afectar otra variable de forma negativa. En el esquema siguiente se podrá apreciar esta relación de variables.



Ilustración 13 Comportamiento de variables de intervención

Fuente: producción propia

Con el fin de conocer la idea que tienen los ciudadanos sobre el sistema de alcantarillado, se realizaron 60 encuestas en las que se pudo observar, como lo muestra la gráfica siguiente, que la mayoría de las personas ignora cómo funciona el sistema, a pesar de todos haber tenido contacto con él. Otro fenómeno observado fue la idea común de que a través de los sumideros y los canales de aguas lluvias circulaban no solo éstas sino también aguas residuales.

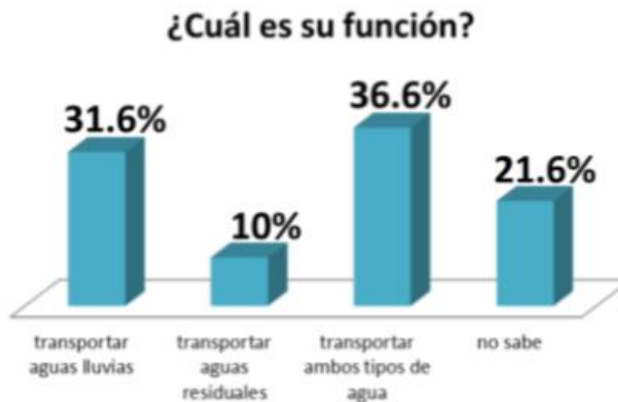


Tabla 3 Encuesta función del sistema de alcantarillado

Fuente: producción propia

A pesar de desconocer la manera en que funciona el sistema, tienen claro que es el taponamiento por residuos sólidos la principal causa de las inundaciones sectoriales ante las fuertes lluvias. Efectivamente, como lo muestra la tabla 4, las

personas son conscientes de que las basuras son el principal factor que afecta el correcto funcionamiento del sistema de alcantarillado.



Tabla 4 Encuesta causa de las inundaciones

Fuente: producción propia

Sin embargo en las calles sigue habiendo presencia masiva de desechos arrojados por los ciudadanos que configuran una idea de un elemento sucio, peligroso e ineficiente a pesar de reconocer su importancia para el correcto funcionamiento de la ciudad.

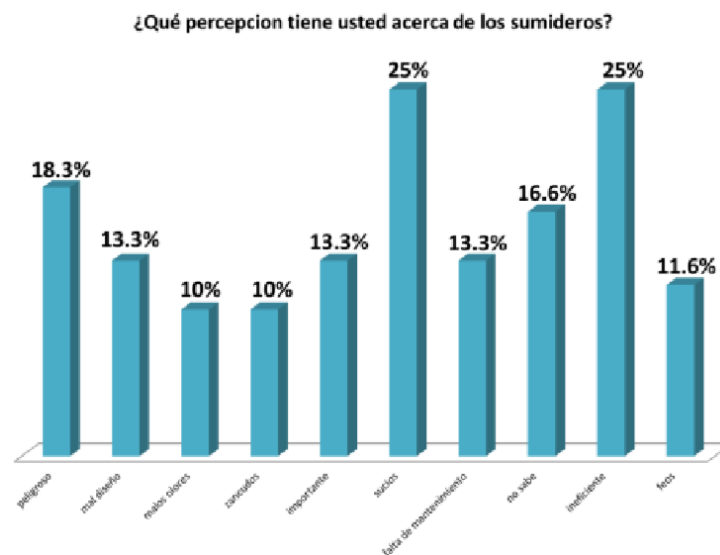


Tabla 5 Encuesta percepción del sistema de alcantarillado

Fuente: producción propia

Además de lo anterior, se realizó un proceso de observación en el que se pudo aprovechar de un evento de lluvias fuertes para identificar el comportamiento de residuos sólidos ante las aguas de escorrentía y los puntos de captación del sumidero.

Se pudo ver cómo la presencia de un elemento en la superficie de captación capturaba más y más elementos que se encargarían de hacer puente a las aguas que dejarían de ingresar, de este modo, al interior del sumidero desplazándose en la ruta hasta un siguiente sumidero que presentará entonces una mayor congestión por tener que asumir, además de su nivel de agua, el del anterior.

Discusión

Por un lado, durante el desarrollo del marco teórico, se establecieron como principales causas de las inundaciones el inadecuado manejo de los residuos sólidos por parte del ciudadano y la congestión del sistema por la incapacidad, en términos de volumen, de su infraestructura.

Por otro lado, según se pudo ver con el estado del arte encontrado, actualmente hay muchas alternativas que atienden el problema de la congestión del sistema de drenaje de una ciudad. Sin embargo su proceso de implementación resulta complejo y su instalación es muy específica para un espacio determinado, por lo que las acciones que ha tomado al respecto EMCALI no han sido suficientes para solucionar el problema.

Las problemáticas identificadas desde el ciudadano se habían entendido desde la parte material de las inundaciones y los daños físicos, es decir solo genera molestias si llueve y se inunda la ciudad. Sin embargo, la molestia generada se radica fuertemente en la percepción que se tiene de este, considerándolo como un elemento que genera malos olores todo el tiempo, que se ve feo, que es peligroso y sucio, por lo que la percepción de estos juega/desempeña un rol bastante importante que lleva al abandono y descuido de los componentes del sistema por parte de las personas.

DISCUSIÓN Y MARCO CONCEPTUAL

Hipótesis de diseño

Disminuir la probabilidad de inundaciones sectoriales por colapso de la red de alcantarillado a partir de la implementación masiva de elementos de captación y contención a lo largo de la ciudad que almacenen de forma temporal, una porción de las aguas de un evento de fuerte lluvia.

Promesa de Valor

Sistema Urbano de Drenaje Sostenible Industrial que disminuye la probabilidad de inundaciones sectoriales por colapso de la red, a partir de un elemento de contención de fácil instalación y bajo costo respecto a los SUDS convencionales, preservando tanto la capacidad de absorción del suelo como el espacio verde del sector en el que se encuentra, y haciendo de éste un lugar más habitable, enriqueciendo dicho espacio al cargarlo del atractivo suficiente para que en él se pueda pautar.

Determinantes

- Se debe considerar la presencia constante de residuos sólidos, ya que estos no solo provienen de las basuras arrojadas por los ciudadanos sino también por los residuos orgánicos que se desprenden de plantas, árboles y demás.
- El fenómeno de la niña representará picos de fuertes lluvia que exigirán un alto rendimiento de los elementos encargados de captar y conducir, las aguas lluvias.
- Se deben considerar estándares ergonómicos que faciliten el proceso de instalación del elemento, donde se realice un adecuado manejo de las cargas de acuerdo al nivel II de la guía técnica, publicada por el Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo
- Se debe realizar una adecuada selección de materiales que garanticen la estabilidad de los transeúntes aún en las más adversas situaciones de lluvia. Adicional a esto, de haber alguna variación en la vía peatonal, ésta deberá manejar estándares de escalones convencionales con el fin de garantizar un tránsito seguro.

Requerimientos y Principios

Principios de diseño

- Que el SUDS Industrial represente valor para la ciudad.
- Que exista una interacción entre el SUDS Industrial y el ciudadano.
- Intervención arquitectónica de menor magnitud para facilitar su alta replicabilidad.
- Gran capacidad de contención a partir de alta replicabilidad de elementos de menor capacidad.

- Separación de residuos de las aguas lluvias durante el proceso de entrada al sistema.
- Disminución del atractivo del SUDS Industrial para minimizar el vandalismo.

Requerimientos de uso

- Manejo de cargas apropiadas que faciliten la manipulación durante la instalación

Requerimientos de función

- Capacidad de contención suficiente, que corresponda al porcentaje que se estima como inmanejable por el sistema de alcantarillado de la ciudad.
- Empleo de recursos físicos y mecánicos como la hidrodinámica con el fin de aprovechar el flujo del agua como fuente energética que permita el funcionamiento del sistema.

Requerimientos estructurales

- Alta adaptabilidad al espacio disponible alrededor de los canales de agua lluvia a pesar de la variabilidad de sus condiciones.
- Los materiales manejados y la manera de anclaje del sistema deben ser lo suficientemente seguros y poco atractivos para los ladrones, de manera que se eviten hurtos y deterioro

Requerimientos técnico-productivos

- Su elaboración debe llevarse a cabo de forma masiva y fácil debido a la magnitud del área que se va a intervenir.
- El sistema debe facilitar su adaptabilidad a las diferentes condiciones de los canales en los que se vaya a instalar

Requerimientos económicos o de mercado

- Al ser una cantidad tan elevada, la intervención que se lleve a cabo debe ser lo más económica posible a fin de garantizar su replicabilidad.
- La vida útil del sistema debe estar entre 15 y 20 años con el fin de garantizar su sostenibilidad y la capacidad de adaptación a intervenciones por reconstrucciones de redes o cambios de uso.

Requerimientos legales

- El diseño del sistema debe cumplir con lo establecido en el MECEP (Manual de Diseño y Construcción de los Elementos Constitutivos del Espacio Público) y en la norma para el diseño del sistema de alcantarillado de EMCALI.

Concepto

Gotas de contención: una gota de agua no tiene la capacidad de inundar a toda la ciudad, se necesitan muchas de estas para conseguirlo. De la misma manera manejar dichas gotas requerirá de una gran cantidad de elementos de contención, ubicados a lo largo de toda la ciudad, que cuenten con la capacidad suficiente para responder a situaciones de fuertes lluvias, manteniendo así el control del evento.

Proceso de propuesta

Para abordar el problema de las inundaciones sectoriales en la ciudad de Cali se definió el sumidero como el punto crítico a tratar, por ser éste el punto de entrada de las aguas lluvias al sistema de alcantarillado.

De esta manera se exploraron nuevas maneras de hacer más eficiente el proceso de captación y mantenimiento a partir de la alteración de las geometrías del sumidero, bajo la tesis de que existía la necesidad de aumentar la cantidad de agua captada por éstos para evitar la acumulación de agua en la superficie que generara inundaciones.



Ilustración 14 Primera propuesta: intervención geometría y estructura del sumidero

Fuente: Producción propia



Ilustración 15 Segunda propuesta: intervención superficie y estructura del sumidero

Fuente: Producción propia

Sin embargo, se encontró que el colapso de la red de alcantarillado representaba más riesgo de inundación que los problemas de captación presentes en los sumideros, por lo que empezó a explorarse la alternativa de contener gran parte de estas aguas, a lo largo de la ciudad, durante los eventos de lluvia. Por medio de esta estrategia se buscó disminuir los volúmenes que la red debía manejar, por unidad de tiempo, para disminuir las probabilidades de colapso y por ende de inundación.

A partir de lo anterior se generaron varias alternativas que exploraban principios físicos que permitieran la implementación de un sistema fácilmente replicable en términos de costos e infraestructura. La primera consistía en la ubicación de tanques retractiles junto a la vía vehicular que se llenaran a partir del movimiento perpetuo de un elemento de captación que se encargara de llenar gradualmente dichos elementos de contención.

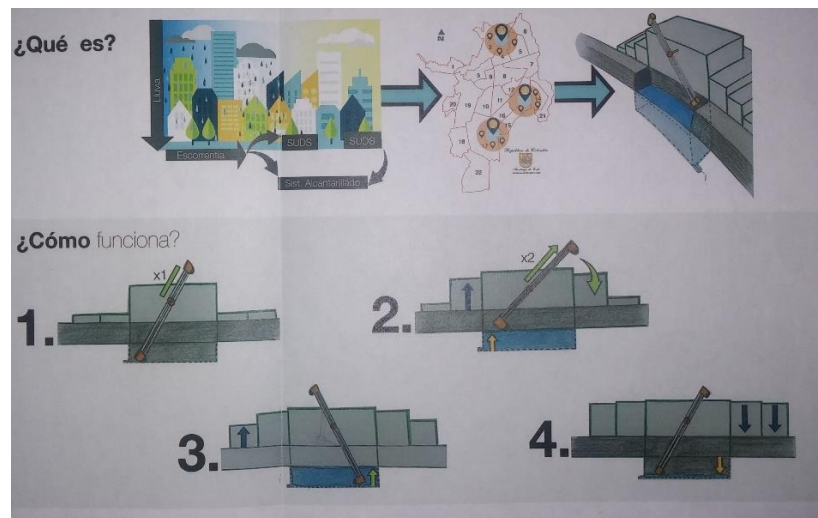


Ilustración 16 Alternativa captación por mecanismo de movimiento perpetuo

Fuente: Producción propia

La segunda alternativa, pretendía el aprovechamiento de las aguas de escorrentía que se generaba en las vías para impulsar un piñón cónico que trasladara dicho movimiento a un sistema de tornillo de Arquímedes, el cual se encargaría de transportar las aguas captadas a un punto de almacenamiento temporal para evitar el colapso de la red.



Ilustración 17 Alternativa piñón cónico impulsado por escorrentía

Fuente: Producción propia

Finalmente, la última alternativa en búsqueda de una fuente energética propia de las dinámicas que se dan en el medio durante un evento de lluvia, consistió en la instalación de un molino, que contara con dos mecanismos de tornillo de Arquímedes, al interior del canal de aguas lluvias para aprovechar la corriente que se desplazaba por éste durante éstos eventos.

De esta manera, se permitía un proceso de captación de una porción de las aguas que serían almacenadas en elementos contenedores instalados en las zonas verdes aledañas a los canales de aguas lluvias, dichos contenedores se instalaban al interior de la tierra quedando expuesta únicamente la parte superior, la cual haría las veces de adoquín, de mupi y de mobiliario urbano.

➔ Solución Sistema Urbano Drenaje Sostenible + Diseño Industrial

Que es?

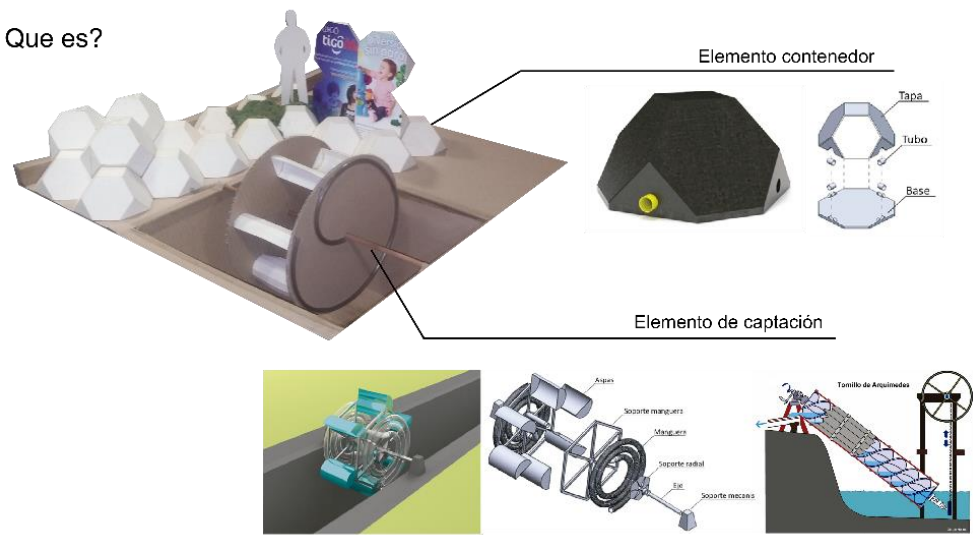


Ilustración 18 Intervención en los canales de aguas lluvias

Fuente: Producción propia

Esta propuesta se desarrolló inicialmente a partir de fundición en concreto convencional con estructura de hierro, sin embargo por términos de costos, resistencia y disminución del atractivo para los ladrones se experimentó con la implementación de Sikafiber (fibras de polímeros) logrando resultados satisfactorios, en términos de resistencia como se puede





Ilustración 19 Proceso de experimentación material del contenedor

Fuente: Producción propia

Propuesta definitiva

El SUDS Industrial es un sistema de contingencia ubicado en los canales de aguas lluvias y las zonas verdes aledañas a éstos, que almacena temporalmente una porción de las aguas durante eventos de fuertes lluvias, con el fin de evitar el colapso de la red de alcantarillado, disminuyendo así la probabilidad de que se presenten inundaciones sectoriales.



Ilustración 20 SUDS Industrial

Fuente: Producción propia

¿Cómo funciona?

El SUDS Industrial está compuesto por dos elementos, un elemento de captación y un elemento de contención. El primero se ubica al interior del canal abierto de aguas lluvias a una altura cercana a la parte superior del canal, y el segundo se encuentra en la zona verde aledaña a éste.

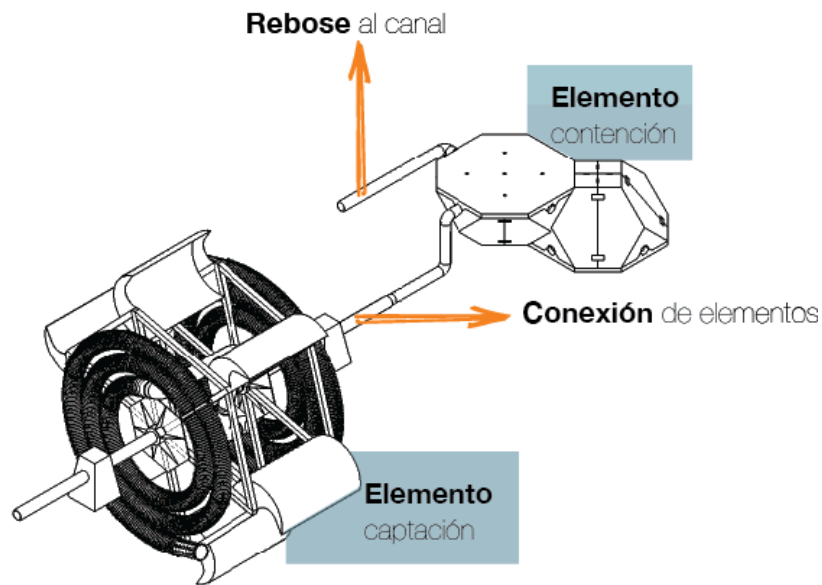


Ilustración 21 Composición del SUDS Industrial

Fuente: Producción propia

El elemento de captación se activa una vez el canal ha alcanzado un nivel de agua que represente riesgo de inundación, siendo esta misma la encargada de entregarle energía cinética para que empiece a operar el tornillo de Arquímedes que posee. Así, se inicia el proceso de traslado de una porción de las aguas que viajan por el canal hasta los elementos de contención, los cuales al ser módulos conectados de forma paralela, tendrán un proceso de llenado parejo. Una vez estos elementos han superado su capacidad de contención, las aguas que sigan siendo impulsadas por el elemento de captación serán evacuadas a partir de un punto de rebose que las conducirá de nuevo al canal de aguas lluvias como se muestra en la ilustración 22.

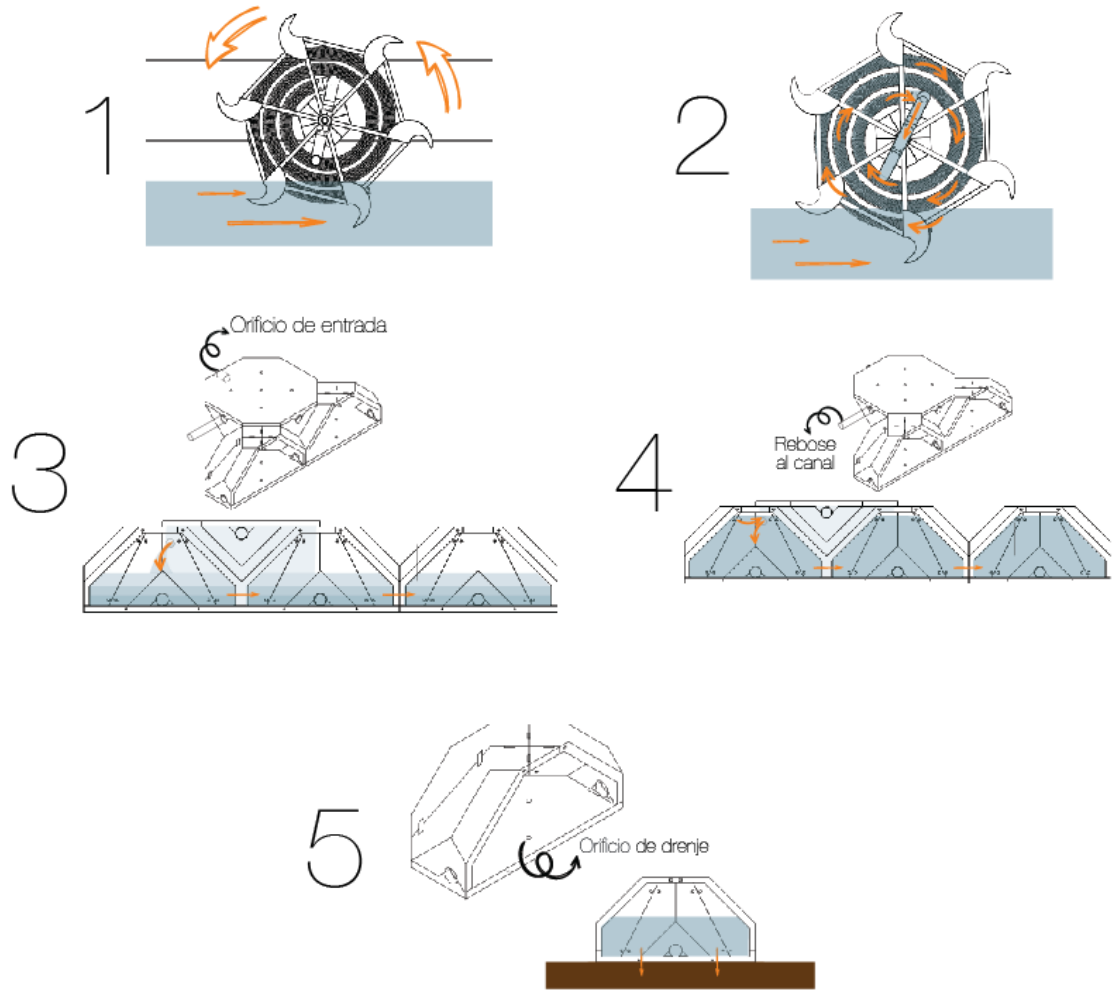


Ilustración 22 Secuencia de funcionamiento del SUDS Industrial

Fuente: Producción propia

Cada uno de los elementos de contención tiene la capacidad de almacenar 0.25 metros cúbicos los cuales, se estima, son dirigidos a él por el elemento de captación en un rango de un minuto dependiendo de la velocidad de las aguas que viajen en el momento por el canal de aguas lluvias. A partir de la información anterior, y partiendo de la información encontrada en el PSMV 2007 emitido por EMCALI, según la cual, Cali cuenta con 93 kilómetros de canales de aguas lluvias con un área horizontal de aislamiento de 3 metros a cada lado, se puede estimar que el sistema implementado a lo largo de la ciudad contará con una capacidad de contención mínima de 280.000 metros cúbicos de agua.

A continuación se mostraran en detalle y con algunas especificaciones el elemento de captación y de contención por separado (ver ilustraciones 23 y 24)

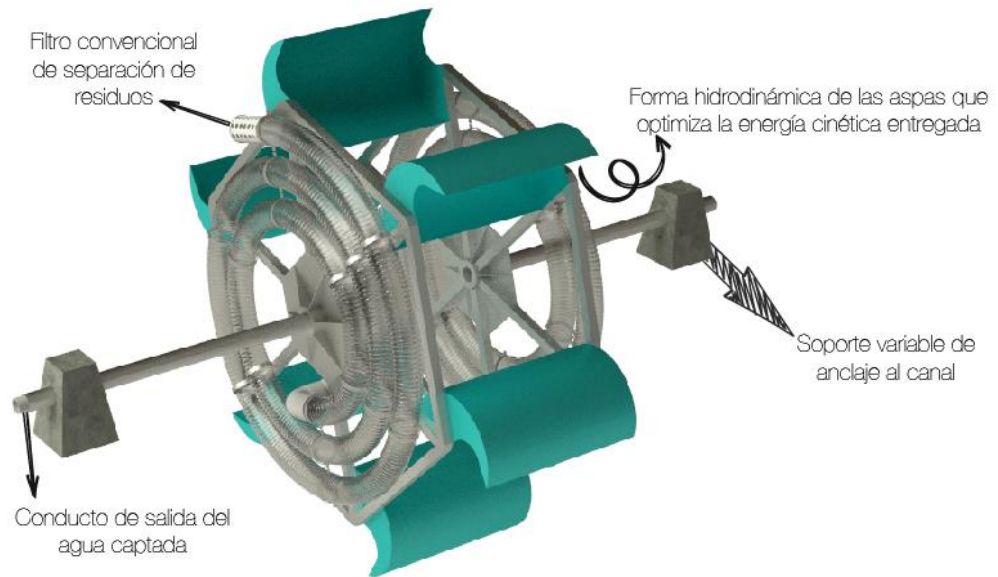


Ilustración 23 Elemento de Captación

Fuente: Producción propia

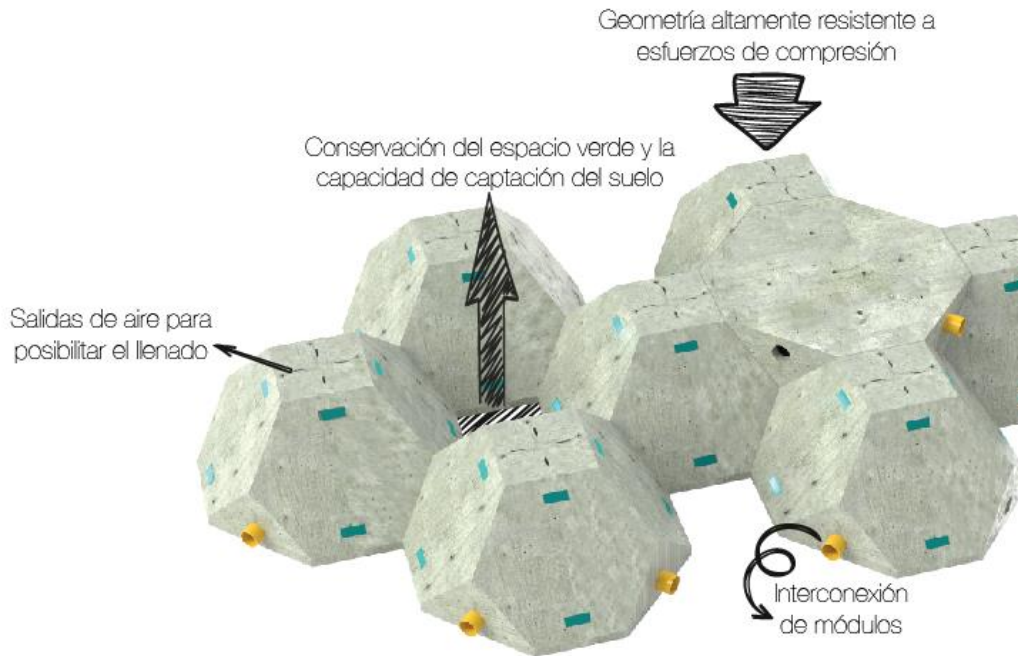
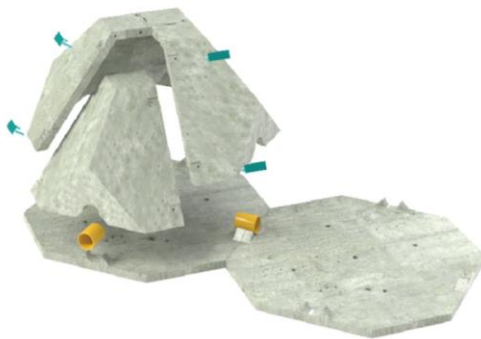


Ilustración 24 Elemento de contención

Fuente: Producción propia

¿Cómo se instala?

Para la instalación del módulo del elemento de contención se deberá acondicionar el terreno para a continuación proceder a ubicar la base del elemento. Seguidamente se ubican los tubos de PVC de 3 pulgadas que serán los encargados de interconectar todos los módulos. A partir de ahí se ubicarán uno a uno los cuatro componentes que conforman la tapa del módulo, para finalmente estructurarlos con los toques de seguridad como se muestra en la siguiente imagen (ver ilustración 25)



1. Ubicar las bases sobre la superficie
2. Poner las tuberías de PVC
3. Modular las cuatro tapas
4. Asegurar con elemento de sujeción

Ilustración 25 Instalación elemento de contención

Fuente: Producción propia

Aspectos Productivos y de impacto ambiental

Introducción

En la ciudad de Santiago de Cali, el sistema de alcantarillado se encuentra en estado de vulnerabilidad ya que ante la presencia de las fuertes lluvias, ocasionadas por el fenómeno de la niña, es altamente susceptible de colapsarse. Esta problemática será abordada a partir de la implementación de un Sistema Urbano de Drenaje Sostenible Industrial que dará manejo a la porción de aguas que se ha estimado como la cantidad que el sistema no puede manejar.

A continuación se mostrará la manera en que dicho sistema será producido teniendo en cuenta aspectos productivos que faciliten su implementación. Adicionalmente se realizará la evaluación del impacto ambiental que se produzca tras el uso del mismo.

Descripción del sistema

El SUDS Industrial está constituido a partir de dos componentes principales. El primero es el elemento de captación que tiene como función dirigir los excesos de agua lluvia al siguiente componente. Dicho punto de captación se encontrará ubicado al interior de los canales de aguas lluvias de la ciudad y aprovechará, como fuente energética, la energía cinética proporcionada por el movimiento de las aguas que se desplazan por ahí.

El segundo componente es el contenedor, el cual, de manera temporal, almacenará las cantidades de agua suficientes que eviten el colapso de la red. Para lograrlo será ubicado en los corredores verdes que se encuentren aledaños a los canales de aguas lluvias, a manera de adoquín, con la capacidad de ser configurado tanto en X como en Y y en Z, conservando, por medio de su forma y modularidad, espacios destinados a zonas verdes, creando a partir de dicha configuración de módulos (adoquines) un espacio mucho más habitable.

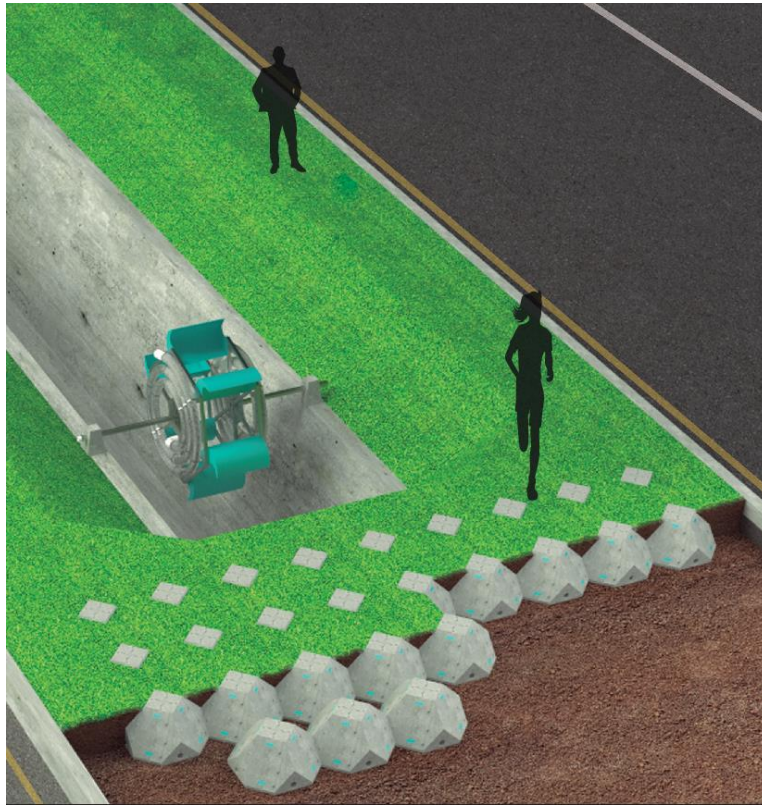


Ilustración 26 SUDS Industrial en contexto

Fuente: Producción propia

Producción

BOM

En las siguientes tablas se podrá ver reflejado cómo el desarrollo, en su mayoría, responde a la adquisición de piezas estándar que deberán ser procesadas bajo procesos convencionales de fácil adquisición local.

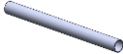
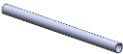













| BOM componente de captación | | | | | | |
|-----------------------------|----------|---|----------|--------------------|------------------------------------|---|
| Nombre | Cantidad | Descripción | Tipo | Material | Procesos | Imagen |
| Eje | 2 | Tubería redonda estructural 88,9mm | Estandar | Acero galvanizado | Corte, soldado, pintura |  |
| Conducto de salida | 1 | Tubería sanitaria 76,2 mm | Estandar | PVC | Corte, pintura |  |
| Rodamiento | 4 | Rodamiento | Estandar | - | Soldado |  |
| Tope de eje | 2 | Lamina 5mm | Estandar | Acero | Corte, soldado, pintura |  |
| Soporte radial | 2 | Lamina 5mm | Estandar | Acero | Corte, soldado, pintura |  |
| Soporte manguera | 12 | Tubería estructural cuadrada 50mm | Estandar | Hierro galvanizado | Corte, soldado, perforado, pintura |  |
| Manguera | 2 | Tubo flexible 125mm | Estandar | Poliuretano | Corte |  |
| Abrazadera | 30 | Abrazadera metálica 125mm | Estandar | Acero | Ensamble |  |
| tee | 1 | tee sanitaria reducida de 127 a 76,2 mm | | PVC | Ensamble |  |
| codo | 2 | Codo tubería sanitaria 127mm | | PVC | Ensamble |  |
| codo macho corto | 1 | Codo tubería sanitaria 127mm | | PVC | Ensamble |  |
| codo macho largo | 1 | Codo tubería sanitaria 127mm | | PVC | Ensamble |  |
| Aspas | 3 | Caneca metálica 55 galones | Estandar | hierro | Corte, soldado, pintura |  |
| Soporte mecanismo parcial | 1 | Bloque de concreto | Especial | Concreto | Fundición |  |
| Filtro de Captación | 2 | Tubo PVC 5" perforado | Especial | PVC | Corte, Perforado |  |

Tabla 6 BOM Elemento de captación

Fuente: Producción propia

| BOM contenedor | | | | | | |
|-----------------------|----------|---|----------|-----------------|------------------|---|
| Nombre | Cantidad | Descripción | Tipo | Material | Procesos | Imagen |
| Base | 1 | Bloque de concreto 40 mm | Especial | Concreto, acero | Fundición |  |
| Tapa | 4 | Bloque de concreto 40 mm | Especial | Concreto, acero | Fundición |  |
| Tubo union | 4 | Tubería sanitaria 76,2 mm | Estandar | PVC | Corte, perforado |  |
| Pin chaveta | 4 | pin de 1,58mm X 12,7mm | Estandar | Acero | Ensamble |  |
| Soporte Tapa Superior | 8 | Sección Varilla 12,7 milímetros | Estandar | Acero | Ensamble |  |
| Soporte Unión Módulos | 8 | Lámina 5 mm con sección de varilla de 12,7 mm | Especial | Acero | Ensamble |  |

Tabla 7 BOM elemento de contención

Fuente: Producción propia

Procesos

El desarrollo de los componentes consistirá, tras la adquisición de la materia prima en sus presentaciones comerciales, en un proceso de transformación dimensional a partir del corte, empleando según sea necesario, en función de la forma y material a cortar, corte por troquel, por acolilladora o por pulidora.

Una vez dimensionadas las diferentes piezas se procederá a realizar la adecuación de cada una según sus particularidades, principalmente por medio de perforaciones, ya que la unión de las diferentes piezas será llevada a cabo a través de la unión por soldadura y el ensamblaje por tornillo.

De forma paralela se llevará a cabo la construcción de las piezas especiales mediante un proceso de fundición de concreto que por la manera en que estará construido el molde, permitirá hacer variaciones de orden funcional solo con intercambiar una de las tapas de dicho molde sin incurrir en una variación significativa de la estructura principal del componente.

Proveedores

| Proveedor | Material | |
|---|---------------------------------|------------------------------------|
|  | Tubería Acero Galvanizado | |
| | Tubería cuadrada 50mm | |
|  | Lámina Acero 5mm | |
|  | Rodamiento | |
|  | Abrazadera metálica 125mm | |
|  | Caneca metálica 55 galones | |
|  | Tubo flexible 125mm | |
|  | Tubería y Accesorios Sanitarios | Tubería Sanitaria PVC 3" |
| | | Reducción TEE sanitario de 5" a 3" |
| | | Accesorio Codo sanitario 5" |
|  | Piezas en Concreto | |
|  | Varilla corrugada acero 1/4" | |
|  | Pin Chaveta 1/16" x 1/2" | |

Tabla 8 Proveedores

Fuente: Producción propia

Diagrama de despiece y ensamblado

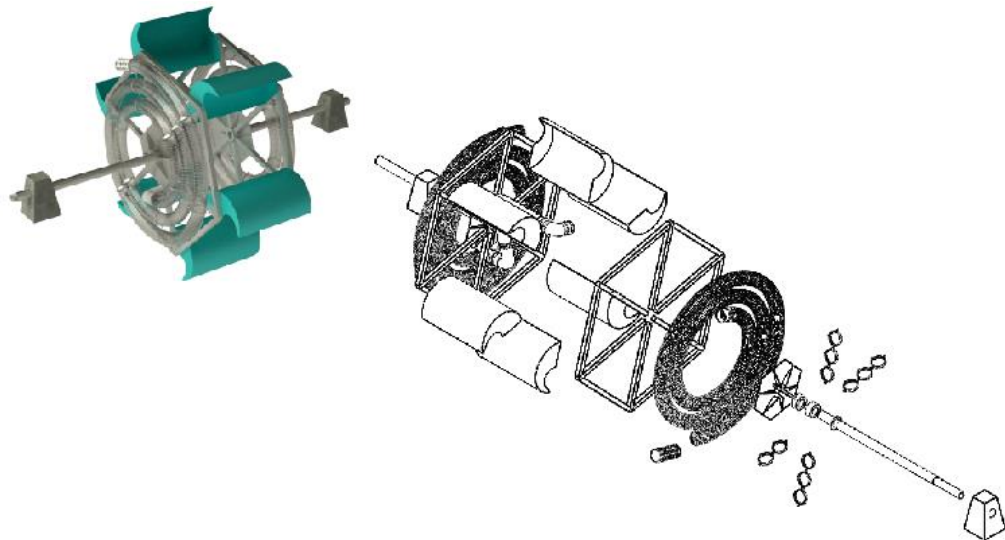


Ilustración 27 Despiece elemento de captación

Fuente: Producción propia

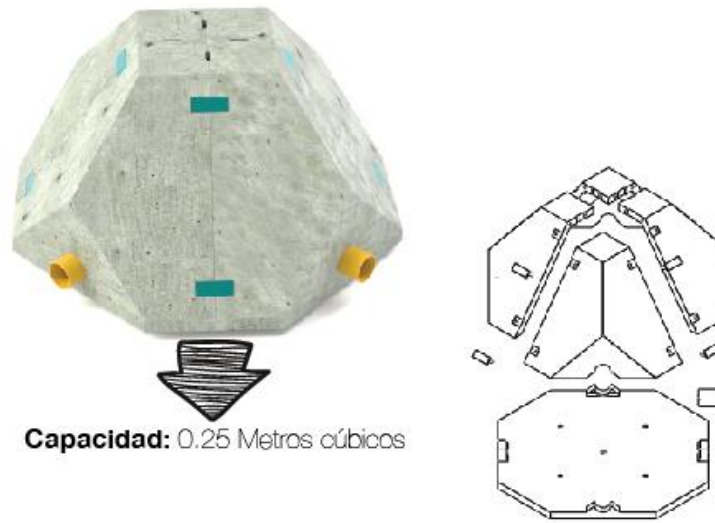


Ilustración 28 Despiece elemento de contención

Fuente: Producción propia

Planos

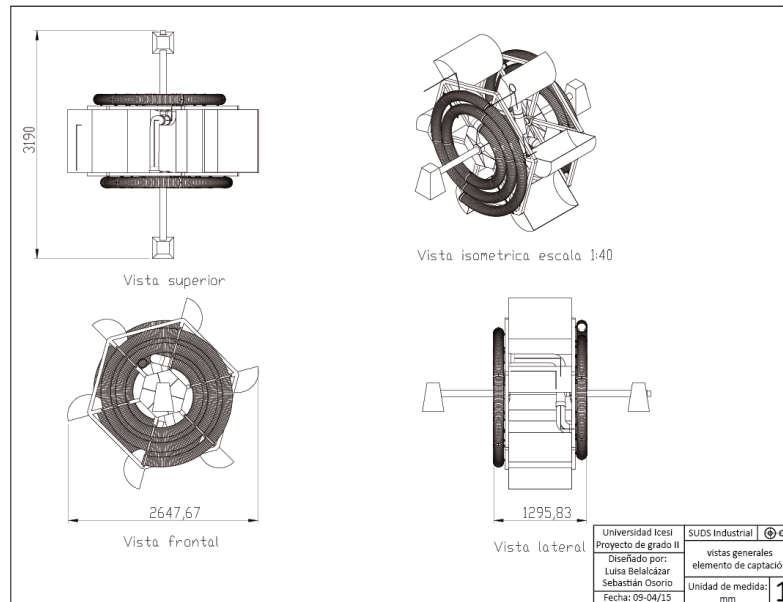


Ilustración 29 Planos generales elemento de captación

Fuente: Producción propia

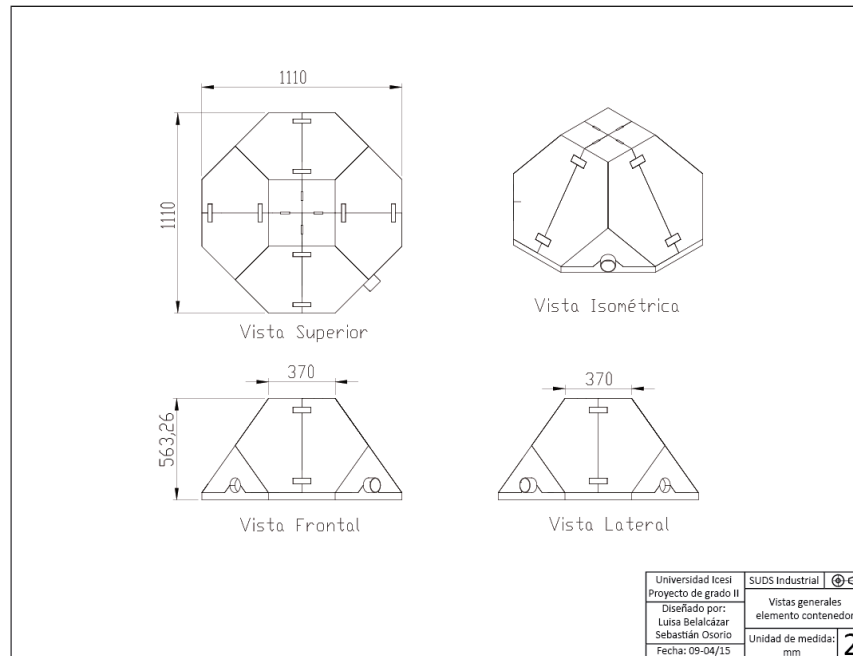


Ilustración 30 Planos generales elemento contenedor

Fuente: Producción propia

Diagrama de flujo de procesos e insumos.

Con el fin de aumentar la productividad y disminuir el tiempo de producción del SUDS Industrial, una vez recepcionada e inspeccionada la materia prima adquirida se realizarán las actividades que se observan en la tabla 9. Como se puede observar los procesos de transformación serán llevados a cabo en paralelo con el fin de alcanzar un balanceo de línea que permita manejar los tiempos apropiados para un adecuado ensamblaje final de cada componente.

| Elemento de captación | | | | | | | | | |
|-----------------------|------------|------------|----------------|----------------------------|-------|----------|------------|--------------------|------------------------|
| Eje | Tope eje | Rodamiento | Soporte radial | Soporte manguera | Aspas | Manguera | Abrazadera | Conducto de salida | Piezas estandar en PVC |
| Corte | Troquelado | - | 1. Troquelado | 1. corte | Corte | Corte | - | Corte | - |
| | | | 2. Soldado | 2. soldado 3. perforado | | | | | |
| Soldado | | | | | | Corte | - | Corte | - |
| Pintura | | | | | | | | | |
| Ensamble | | | | | | | | | |

| contenedor | |
|--------------------------|--------------|
| base y tapa | tuberia |
| 1. Estructura alambrica | 1. Corte |
| 2. Fundición en concreto | 2. Perforado |

Tabla 9 Diagrama flujo de procesos SUDS industrial

Fuente: Producción propia

Impacto Ambiental

Análisis de Contexto de uso

El SUDS Industrial ha sido diseñado para estar ubicado en los separadores viales donde se encuentre un canal de aguas lluvias. El sistema cuenta con dos componentes: un elemento de captación, que se encontrará incorporado directamente en el canal de aguas lluvias, y un elemento de contención que se encontrará en la zona verde alrededor del canal. Así, al estar ubicado en el espacio público el sistema deberá ser apto para soportar tanto la intemperie como el vandalismo.

¿Para qué debería ser usado el producto?

El SUDS Industrial tiene como función disminuir las probabilidades de inundaciones sectoriales por colapso de la red de alcantarillado en la ciudad de Cali durante eventos de fuertes lluvias.

El sistema de captación, una vez instalado tan solo jugará un papel de percepción por parte del ciudadano, sin llegar a tener contacto directo con éste, mientras que el elemento de contención sí tendrá contacto directo con el ciudadano. Éste último podrá caminar sobre el contenedor haciendo las veces de adoquín. De igual forma podrá emplearlo como mobiliario urbano en el cual podrá sentarse/ recostarse.

¿Qué necesidad suple el producto?

El sistema suplirá necesidades de seguridad y confort al ciudadano de Cali que tras la implementación del SUDS Industrial tendrá mayores garantías en cuanto a la disminución en la probabilidad de inundaciones que generen caos en el orden público y daños en bienes particulares. Para EMCALI el sistema representará una disminución en los costos que actualmente asume debido a los daños ocasionados por las inundaciones.

¿Qué hace el producto?

El SUDS Industrial es un sistema de amortiguamiento que durante eventos de fuertes lluvias direcciona parte de las aguas que van por los canales de aguas lluvia a contenedores que se encuentran sobre la superficie. Estos contenedores se encargarán de almacenar dichas aguas hasta que los niveles de los canales disminuyan para que así puedan retornar a la red de alcantarillado, evitando así que ésta se colapse.

¿Quién lo usa?

El producto, al estar ubicado en el espacio público, se encontrará a entera disposición del ciudadano, abarcando todo rango de edad y estilo de vida.

¿Por cuánto tiempo?

La vida útil del SUDS Industrial está estimada en 20 años, ya que es ese el tiempo establecido, según la secretaria de planeación distrital de Barranquilla por medio del MEPBQ (2008), para superficies menores como andenes o parques, con el fin de garantizar su sostenibilidad y la capacidad de adaptación a intervenciones por reconstrucción de redes o cambios de usos.

¿Con qué frecuencia?

El funcionamiento del elemento de captación dependerá del nivel de los canales de aguas lluvias, los cuales, ante un aproximado que represente riesgo de inundación, activarán el sistema.

De la misma manera, el elemento contenedor como almacenador de aguas lluvias funcionará bajo las mismas circunstancias del elemento de captación. Sin embargo, ya que éste cumple también la función de mobiliario urbano, estará expuesto para ser usado todo el tiempo.

¿En qué lugar del mundo?

El sistema está diseñado para las condiciones de la ciudad de Cali, sin embargo sus parámetros de funcionamiento no condicionan a que trabaje específicamente en esta ciudad. Debido a lo anterior, el sistema podrá adaptarse a otras ciudades que presenten la misma problemática, ampliando así su segmento de mercado.

Visión general del producto (esquema de partes = procesos y materiales)

El desarrollo del SUDS Industrial requerirá de una gran cantidad de insumos que podrían considerarse como fuentes no renovables, que tanto para su proceso de

extracción como de transformación requieren una alta cantidad de insumos (químicos, agua y energía) y producen una cantidad significativa de desechos contaminantes. De esta manera, se puede considerar que el mayor impacto ambiental del producto se encuentra relacionado con el componente de materia prima, según la matriz MET.

Sin embargo, durante las cuatro etapas restantes (manufactura, distribución, uso y mantenimiento y fin de vida) el impacto que se genere no será tan relevante por tratarse de un producto fabricado en su mayoría a partir de piezas estándar con procesos de transformación convencionales de aplicación local, que no requiere empaque para su distribución ni energía para su funcionamiento y que cuenta con una vida útil prolongada de aproximadamente 20 años. Por lo anterior, el servicio prestado con la implementación del SUDS Industrial logra amortiguarse, en términos de la energía/insumos requeridos en su fase inicial, con los parámetros de funcionamiento que acompañarán al producto durante toda su vida útil.

| | Inputs | Outputs |
|----------------------------|------------------------------------|---|
| Materia prima | Tubería acero galvanizado | Dioxido de Carbono, monoxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, benceno, tolueno, xileno, naftaleno, fenoles, benzopirina, cianuro, sulfuro de hidrógeno, y los compuestos de plomo y cinc |
| | Tubería cuadrada acero | |
| | Lamina de Acero | |
| | Rodamiento | |
| | Abrazadera metálica | |
| | Caneca metálica | |
| | Tubo flexible poliuretano | |
| | Tubería sanitaria PVC y accesorios | |
| | Concreto | |
| | Varilla corrugada Acero | |
| | Pin chaveta | |
| | Pintura | |
| Agua | | |
| Manufactura | Electricidad, operarios | Sobrantes MP, emisiones contaminantes |
| Distribución | Combustible (ACPM) | Dioxido de Carbono |
| Uso y mantenimiento | Agua | - |
| Fin de vida | Electricidad | Material reutilizable Emisiones contaminantes |

Tabla 10 Matriz MET SUDS Industrial

Fuente: Producción propia

Perfil Ambiental del Producto

A continuación se mostrarán los resultados de la evaluación de propuestas en términos medioambientales, realizando una comparación entre el SUDS Industrial y su competencia directa, las lagunas de contención, usando la herramienta EcoDesign Wheel, lo que nos permitirá crear un perfil ambiental del producto donde se podrán encontrar los puntos fuertes del sistema en términos medioambientales.

| ECO-DESIGN WHEEL | | | |
|--|---|--|---------------------|
| Product Name: | | SUDS Industrial | |
| Product Function: | | Contiene de manera temporal, aprovechando la energía de la corriente de aguas lluvias, una porción de éstas para evitar el colapso de la red | |
| | | Original Product | Re-designed Product |
| | | 0 | 3 |
| 0. New concept development | | | |
| | Dematerialisation | 4 | |
| | Shared use of the product | 3 | x |
| | Integration of functions | 2 | x |
| | Functional optimisation of product (components) | 1 | |
| | | 0 | x |
| 1. Selection of Low Impact Materials | | | |
| | Clean materials | 5 | |
| | Renewable materials | 4 | |
| | Low energy content materials | 3 | x |
| | Recycled materials | 2 | x |
| | Recyclable materials | 1 | x |
| | | 0 | |
| 2. Reduction of Material Usage | | | |
| | Reduction in weight | 2 | |
| | Reduction in (transport) volume | 1 | x |
| | | 0 | x |
| 3. Optimisation of Production Techniques | | | |
| | Alternative production techniques | 5 | |
| | Fewer production steps | 4 | x |
| | Low/clean energy consumption | 3 | x |
| | Less production waste | 2 | x |
| | Few/clean production consumables | 1 | |
| | | 0 | |
| 4. Optimisation of the Distribution System | | | |
| | Less/clean/reusable packaging | 3 | x |
| | Energy-efficient transport mode | 2 | |
| | Energy-efficient logistics | 1 | x |
| | | 0 | |
| 5. Reduction of the Impact in the Use Stage | | | |
| | Low energy consumption | 5 | x |
| | Clean Energy source | 4 | |
| | Few consumables | 3 | |
| | Clean consumables | 2 | |
| | No waste of energy consumables | 1 | x |
| | | 0 | |
| 6. Optimisation of the Initial Lifetime | | | |
| | Reliability and durability | 5 | x |
| | Easy maintenance and repair | 4 | x |
| | Modular product structure | 3 | |
| | Classic design | 2 | x |
| | Strong product-user relation | 1 | x |
| | | 0 | |
| 7. Optimisation of the End-of-Life System | | | |
| | Reuse of product (components) | 4 | x |
| | Remanufacturing/Refurbishing | 3 | |
| | Recycling of materials | 2 | x |
| | Safe incineration | 1 | |
| | | 0 | x |
| Total | | 10 | 17 |

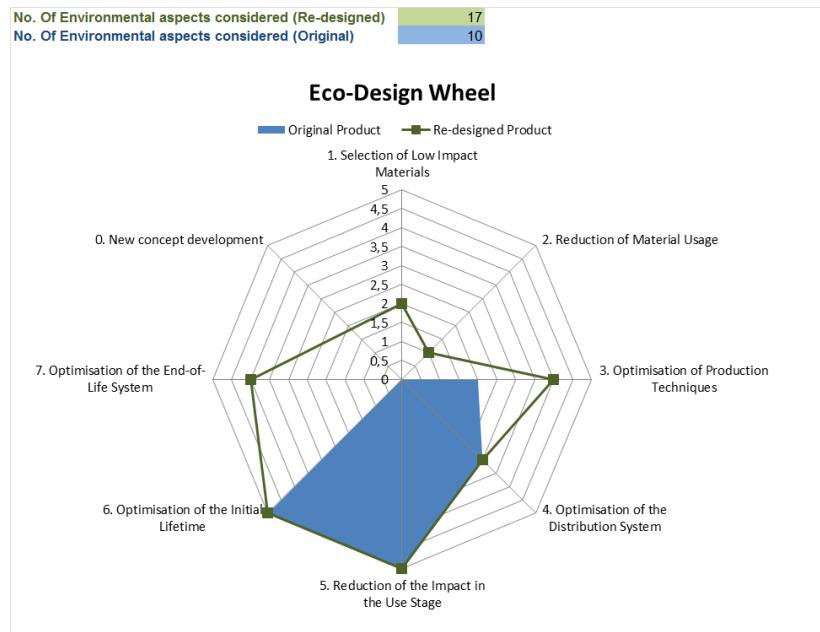


Tabla 11 Eco Design Wheel SUDS industrial VS SUDS convencional

Fuente: Producción propia

A partir de lo anterior se puede ver cómo la propuesta del SUDS Industrial supera a su competencia en términos de selección de materiales de bajo impacto, reducción de uso de materiales, optimización de técnicas de producción, optimización del fin de vida del sistema y principalmente desarrollo de un nuevo concepto donde una alternativa que medie el problema de las inundaciones no inhabilita el espacio empleado para esto, que es lo que ocurre con las lagunas de contención, donde el terreno empleado para su instalación no puede ser empleado más que para almacenar aguas lluvia, renunciando así a cualquier alternativa de uso sobre dicho espacio.

Cuantificación del Impacto ambiental

Al SUDS Industrial, específicamente al elemento de captación, se le realizó una evaluación por medio del software Solidworks Sustainability con el fin de evaluar su impacto ambiental. En dicha valoración se encontraron dos variables como las de mayor incidencia en el impacto negativo del producto. Estas variables son: el material y la fabricación. Por lo anterior serán estos los principales puntos de atención en el momento de desarrollar las estrategias de eco diseño que permitan llegar al desarrollo de una alternativa con un menor impacto negativo sobre el medio ambiente.

Impacto medioambiental (calculado mediante la metodología de evaluación de impacto CML)

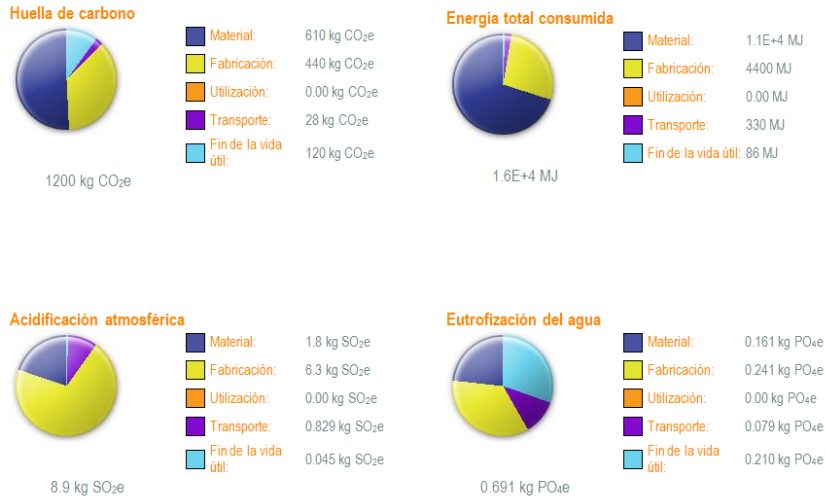


Tabla 12 Impacto ambiental elemento de captación

Fuente: Producción propia

Conceptos y estrategias de eco-diseño implementadas.

A partir del análisis anterior donde se evaluó el impacto ambiental de la propuesta se empezó una exploración en nuevos materiales que siguieran respondiendo a las demandas estructurales del sistema pero que redujeran la incidencia medioambiental negativa. De esta manera, el material seleccionado por tener un menor impacto en las áreas de huella de carbono, energía total consumida, acidificación atmosférica y eutrofización del agua, fue el hierro, que como se observa en la siguiente figura, muestra un mejor comportamiento ante estas variables.

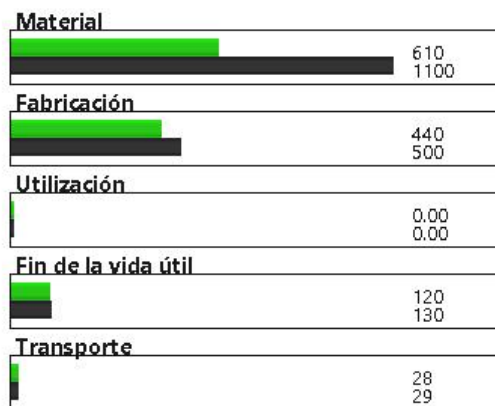
Comparación del impacto medioambiental

Nuevo diseño:
■ Mejor ■ Peor

Diseño original:
■ Referencia

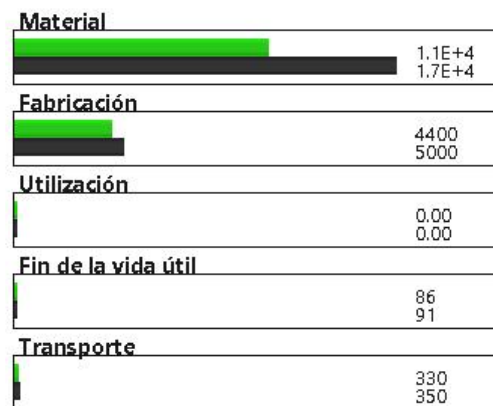
Comparación de huella de carbono

Total : 1200 kg CO₂e
 : 1900 kg CO₂e



Comparación de energía total consumida

Total : 1.6E+4 MJ
 : 2.2E+4 MJ



Comparación de acidificación atmosférica

Total : 8.9 kg SO₂e
 : 10 kg SO₂e



Comparación de eutrofización del agua

Total : 0.691 kg PO₄e
 : 0.990 kg PO₄e

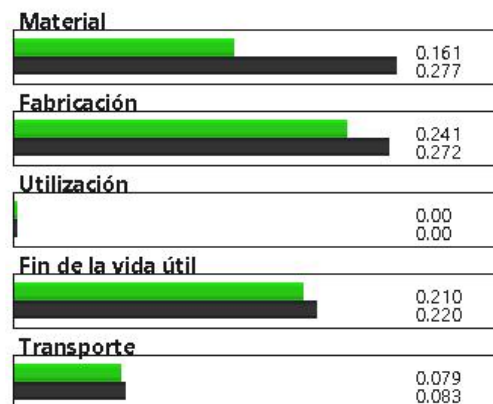


Tabla 13 Comparación impacto ambiental acero Vs hierro

Fuente: Producción propia

Adicionalmente, según el mismo análisis los seis componentes que hemos denominado como aspas hacen parte del grupo de diez componentes que más contribuyen al impacto medioambiental negativo del sistema. Sin embargo vale aclararse que la adquisición de éstas es por medio de un proceso de reutilización de canecas metálicas de 55 galones, por lo que no debe considerarse su producción como un aspecto que incida en el impacto ambiental del producto.

Impacto medioambiental de componentes

Los diez componentes que más contribuyen a las cuatro áreas de impacto medioambiental

| Componente | Carbono | Agua | Aire | Energía |
|--------------------------------|---------|-------|-------|---------|
| Soporte manguera 1 | 280 | 0.186 | 1.8 | 2900 |
| Soporte manguera 2 | 280 | 0.186 | 1.8 | 2900 |
| Manguera 2 | 210 | 0.098 | 1.5 | 3400 |
| Aspa 6 | 34 | 0.023 | 0.221 | 350 |
| Aspa 3 | 34 | 0.023 | 0.221 | 350 |
| Aspa 1 | 34 | 0.023 | 0.221 | 350 |
| Aspa 5 | 34 | 0.023 | 0.221 | 350 |
| Aspa 2 | 34 | 0.023 | 0.221 | 350 |
| Aspa 4 | 34 | 0.023 | 0.221 | 350 |
| soporte mecanismo de captacion | 37 | 0.046 | 0.101 | 79 |

Tabla 14 Impacto medioambiental componentes elemento de captación

Fuente: Producción propia

Reflexión general sobre impacto de la solución.

Luego de la evaluación del impacto ambiental del SUDS Industrial se puede ver cómo ante la propuesta inicial debe realizarse una modificación en materiales, específicamente de acero a hierro. De esa manera se podrá lograr que el sistema igual alcance una vida útil con un periodo largo sin sacrificar su resistencia por el cambio de material que se ha realizado.

En términos generales es de resaltarse que el funcionamiento del sistema usa la energía cinética del movimiento de las aguas lluvias por lo que no requerirá una alimentación externa. Otro aspecto que favorece el impacto ambiental del sistema es el empleo de material reutilizado de canecas metálicas de 55 galones para fabricar las aspas. Finalmente, la elaboración del sistema no implica mezcla entre materiales diferentes por lo que se posibilita su reciclaje al final de la vida útil.

Conclusiones

- Debido a la utilización de piezas estándar y métodos de fabricación local tanto el impacto ambiental como los costos de producción del sistema se verán disminuidos.

- Manejar moldes, para las piezas de concreto, con tapas intercambiables permitirá tener un sistema flexible de producción de módulos de contenedor que permita construir la configuración adecuada que se adapte a las variaciones de cada espacio.
- Las piezas estructurales y las aspas serán fabricadas en hierro debido a que maneja un perfil mucho más favorable para el proyecto tanto en términos ambientales como económicos.
- El perfil de impacto ambiental del sistema será más favorable si para su fabricación se reutilizan piezas que fueron fabricadas para otra función, transformándolas por medio de procesos convencionales que permitan su fácil adaptación.
- La intervención en un espacio público con un sistema para el manejo de inundaciones no debe inhabilitar el uso de dicho espacio por parte de los ciudadanos.

Dicho esto, el SUDS Industrial permitirá que el espacio intervenido pueda seguir siendo usado por estos agentes, construyendo una ciudad más habitable donde según Katya Mandoki, la adecuación de un espacio para el ciudadano mejora tanto la percepción que se tiene como la interacción que se logra.

Así, se conseguirá aumentar la valoración positiva del SUDS Industrial tras la valoración del EcoDesign Wheel donde un uso múltiple del sistema aumenta el impacto positivo.

Aspectos de Costos

| Costos elemento de captación | | Costos elemento contenedor | |
|------------------------------|-----------|----------------------------|----------|
| Materia prima | \$546.802 | Materia prima | \$39.127 |
| Procesos de produccion | \$53.200 | Procesos de produccion | \$6.700 |
| Costos administrativos | \$90.000 | Costos administrativos | \$6.874 |
| Total | \$690.002 | Total | \$52.701 |

Tabla 15 Costos SUDS Industrial

Fuente: Producción propia

Aspectos de mercado y modelo de negocio

Introducción

Cali es una ciudad con puntos altamente vulnerables de ser inundados durante fuertes eventos de lluvia debido a dos aspectos principales. Por un lado está el colapso del sistema de alcantarillado, y por otro la geografía, que ante situaciones de rebose conduce las aguas a acumularse en puntos específicos de la ciudad.

A nivel global el problema de las inundaciones por colapso de la red ha sido tratado a partir de la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) los cuales son intervenciones arquitectónicas que requieren una alta inversión de capital y la intervención de un área significativa de espacio público a fin de poder captar los excesos de agua.

Sin embargo, ante los elevados costos de la implementación de SUDS, y la falta de espacios requeridos para tal intervención, se pretende desarrollar un sistema de contingencia desde el diseño industrial con el propósito de facilitar su implementación masiva por medio de un elemento, al que llamaremos SUDS industrial, capaz de adaptarse a las diferentes circunstancias del entorno.

Dicho elemento se ubicará no solo en los puntos vulnerables sino también en sus alrededores permitiendo, de esa manera, descongestionar la red por medio de una intervención mucho menor.

Análisis del producto

Según la corporación Osso (2004) “hoy en día son frecuentes los casos de afectación por inundaciones, no tanto por desbordes del río Cauca, sino por rebosamiento de canales, colectores y alcantarillas”

Debido a la anterior situación, el SUDS Industrial es un sistema de contención de aguas lluvias que evita el colapso de la red por medio de un elemento de captación, que atienda al 2% de las aguas de un periodo de fuertes lluvias que según Luis Carlos Cerón, gerente de acueducto y alcantarillado de EMCALI, es lo que actualmente pone en estado de vulnerabilidad el correcto funcionamiento de las redes. (Luis Carlos Cerón, Citado en el País, 2013)

La capacidad del sistema de contención estará definida de acuerdo a las curvas IDF (intensidad-duración-frecuencia) manejando como estándar una lluvia con una

duración máxima de tres horas y un periodo de retorno de entre 1 y 2.33 años, que según la Secretaría de Ambiente de Bogotá, corresponde al 90% de todos los eventos de precipitación, bajo los cuales se establecen los parámetros de funcionamiento de los SUDS convencionales.

Así, se propone un sistema de contención de fácil replicabilidad, a partir del cual se logre alcanzar los volúmenes que deben ser captados durante un evento de fuerte lluvia sin incurrir en una gran intervención arquitectónica.

Finalmente, este producto ha sido diseñado bajo las condiciones presentes en Cali, sin embargo se busca llegar a un nivel estándar, en el que se facilite la adaptabilidad de este elemento a las condiciones de otras regiones del país, dejando así las puertas abiertas a un crecimiento en el mercado.

Promesa de Valor

Sistema Urbano de Drenaje Sostenible Industrial que disminuye la probabilidad de inundaciones sectoriales por colapso de la red, a partir de un elemento de contención de fácil instalación y bajo costo, respecto a los SUDS convencionales.

Preservando tanto la capacidad de absorción del suelo como el espacio verde del sector en el que se encuentra, y haciendo de éste un lugar más habitable, enriqueciendo dicho espacio al cargarlo del atractivo suficiente para que en él se pueda pautar. Segmentos & consumidores

Segmentos & consumidores

El SUDS Industrial apunta a un mercado multiplataforma, pretendiendo involucrar tres actores con el objetivo de llegar a una óptima situación de aplicación y sostenimiento del proyecto.

Los actores a involucrar son:

- EMCALI: Como organización responsable del manejo de las aguas lluvias será el cliente directo del proyecto, a partir del cual se disminuirá la probabilidad de inundaciones sectoriales ocasionadas por colapso de la red de alcantarillado durante fuertes lluvias.

Actualmente, esta problemática le representa a EMCALI, por un lado salidas de dinero por concepto de: cubrir demandas por daños a particulares, realizar mantenimiento correctivo, inversión en mejoramiento de la infraestructura existente e implementación de nuevos planes de contingencia, como la compra de grandes lotes a lo largo de la ciudad para realizar lagunas de contención; y por otro lado un daño en su imagen como empresa responsable de un óptimo manejo del sistema de drenaje de la ciudad.

De esta manera, las expectativas de mejorar la imagen de la compañía y reducir costos se verán cumplidas gracias al eficaz funcionamiento del producto.

- Empresas interesadas en involucrarse: el proyecto pretende generar una situación atractiva que le otorgue la potencialidad de recibir patrocinio de terceros, ya sea por medio de pautas o de apadrinamiento, de esta manera queda abierta la posibilidad de una concesión por parte de EMCALI a terceros que se encarguen del desarrollo de estas actividades, lo que permitirá contar con mayores recursos para la amortización y mantenimiento del proyecto.
- Ciudadanos de Cali: por un lado, serán ellos quienes, al verse beneficiados por la mitigación de las inundaciones, tendrán una percepción positiva acerca de las empresas municipales de Cali. Por otro lado, su presencia masiva en el espacio público generado por el SUDS Industrial hará que pautar ahí sea atractivo para las empresas, fortaleciendo así el mercado de las pautas/apadrinamiento, por medio del cual se brinda soporte económico al proyecto.

Canales de distribución

La relación con el cliente, en este caso EMCALI, será a través de un canal propio y directo por medio de fuerza de venta. Así, se contactará al cliente para ofrecer los beneficios del SUDS Industrial atendiendo a la problemática de las inundaciones que usualmente deben manejar, llegando a una venta sin intermediarios.

Durante la fase de post venta se presentarán dos situaciones. La primera, consistirá en la concesión del servicio de pautas/ apadrinamiento por parte de EMCALI a empresas interesadas. La segunda, será el manejo de la garantía a partir de la cual se brindará soporte directo en las fallas que presente el sistema.

Relación con los clientes

La relación con los clientes será de forma directa por medio de asistencia personal. De esta manera, ante situaciones de compra, recompra y soporte técnico, EMCALI podrá comunicarse directamente con un representante del proyecto a través de correo electrónico o vía telefónica.

Se eligió establecer este tipo de relación debido a que al manejar un cliente muy específico resulta práctico tener un encargado que esté al tanto en todo momento de la situación a manejar para poder brindar una pronta respuesta a lo que se solicite.

Flujo de ingresos

El flujo de ingresos del proyecto se presentará mediante la venta de un bien tangible, en este caso el SUDS Industrial, el cual será vendido directamente a EMCALI, quien estará dispuesto a pagar ya que la adquisición del producto lo beneficiará por conseguir la disminución en la probabilidad de inundaciones sectoriales por fuertes lluvias.

Análisis del precio

La fijación del precio del SUDS Industrial se realizará mediante la estrategia de fijación de precio basado en el valor, que según Kotler, Armstrong (2012), atiende a una situación en donde la variable más importante es la solidez en los beneficios que se ofrecen al cliente.

Adicionalmente se tendrá como referencia los costos en que se debe incurrir para la implementación de un SUDS convencional, pretendiendo llegar a un precio menor ante un trabajo equivalente.

Recursos, Actividades y Alianzas Claves

A partir del conocimiento de la problemática de las inundaciones, por medio de la información entregada por EMCALI, la CVC, el DAGMA, el CINARA, el IDEAM y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, entre otros, se pudo comprender

la situación bajo la cual Cali es una ciudad altamente vulnerable a padecer esta problemática.

De esta manera fue necesario abordar el problema a partir del diseño industrial, con el objetivo de crear un sistema capaz de mitigar el colapso de la red por aguas lluvias.

Así, una vez desarrollada la propuesta se llevará a cabo una alianza estratégica con una compañía que se encargue de la producción del elemento, para la cual, deberá contarse con proveedores locales con gran capacidad de respuesta ante la magnitud de los pedidos por tratarse de un elemento de producción masiva. Así mismo dicha compañía deberá tener la capacidad de almacenar las unidades producidas mientras se completa el pedido.

Para la entrega del pedido, será EMCALI quien se encargue de trasladarse hasta la bodega en donde se encuentra almacenado. Una vez entregado, serán ellos mismos quienes realicen el transporte, instalación y posterior mantenimiento del producto de acuerdo a las indicaciones dadas. Respecto a la instalación, deberá gestionarse los permisos necesarios con la entidad encargada por tratarse de un elemento que estará ubicado en espacios públicos.

Paralelamente a la instalación del elemento, EMCALI podrá realizar una concesión a empresas interesadas en pautar en el espacio generado por el proyecto o apadrinar su ejecución. Así, se contará con un recurso fundamental para el adecuado sostenimiento del producto, de manera que se cuente con los recursos para su mantenimiento y se garantice un pronto proceso de amortización de la inversión realizada.

Estructura de costos

Los costos más relevantes en los que se debe incurrir para el desarrollo del proyecto son: costos propios al desarrollo del diseño, costos por la adquisición de materia prima y finalmente los costos por concepto de producción.

Por otro lado, con menor proporción estarán los costos propios a los canales de distribución, en este caso fuerza de venta, y a la relación con los clientes antes, durante y después de la compra.

Adicionalmente, es importante aclarar que los costos por transporte, instalación y mantenimiento serán asumidos por el cliente (EMCALI).

Por último, a pesar de considerar la distribución de los costos para el desarrollo del producto, la manera en que se fijará el precio no estará determinada directamente por estos, sino que será basada en el valor ofrecido/ percibido por tratarse de un producto con un alto valor agregado y un servicio muy personalizado acorde a las necesidades del cliente.

Competencia

Para tratar el problema de las inundaciones. Las medidas que ha tomado EMCALI han sido: elaboración de tres lagunas de contención, una al oeste y dos al oriente de Cali, y el mantenimiento correctivo en las zonas afectadas. Estas medidas, a pesar de haber representado grandes inversiones por parte de EMCALI, no han sido suficientes para dar solución a la problemática.

A nivel global esta problemática ha sido tratada a partir de los SUDS “cuya filosofía consiste en reproducir, de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana” (Bogotá, Secretaría Distrital de Ambiente, 2011).

En el mercado existe una gran variedad de estas alternativas, sin embargo un gran número de ellas se descarta de antemano por las condiciones de los suelos de la ciudad. Según la Corporación Osso, “estas tierras se caracterizan por tener suelos blandos y el nivel freático cercano a la superficie” (Cali, Corporación Osso, 2008).

Por lo tanto los tipos de SUDS que entran en consideración como competencia del proyecto son: tanques de almacenamiento, cubiertas vegetalizadas, cunetas verdes, sumidero tipo alcorque inundable y pondaje húmedo vegetado,

De esta manera, los sistemas que compiten con la propuesta del SUDS Industrial requieren de una intervención arquitectónica de gran magnitud sobre el espacio físico, además de estar focalizadas en un solo punto. Debido a lo anterior la propuesta de valor del proyecto se fortalece al ser una intervención de menor magnitud que puede ser aplicada fácilmente en distintos puntos de la ciudad, alcanzando la capacidad requerida por medio de un elemento masivo de menor tamaño y costo.

Conclusiones

La viabilidad del proyecto se sustenta en las siguientes variables:

- Necesidad latente: Según el plan local de emergencias y contingencias de Cali (2009) a lo largo de un periodo de 50 años, el 25,2% de los riesgos presentados corresponden a las inundaciones, de las cuales una gran parte corresponde a las ocasionadas por fuertes lluvias. Por lo anterior es una realidad que en Cali este hecho resulta en una necesidad latente aún por resolver.
- Solución eficaz y facilidad de implementación: el elemento permitirá manejar los mismos volúmenes que un SUDS convencional sin requerir de una gran intervención arquitectónica, por medio de un elemento masivo de fácil instalación.
- Accesibilidad y atractivo modelo de negocio: el proyecto tiene la potencialidad de conseguir un musculo financiero que facilite su proceso de implementación y amortización, por medio del apadrinamiento por terceros o el servicio de pautas. Para entender mejor este aspecto se puede hacer referencia a la dinámica realizada por EUCOL para la pauta en los mupis, la cual, según Jorge Jiménez de la universidad Autónoma de Bucaramanga (2007) representa un ingreso de \$500.000 pesos por cada 14 días de pauta en el elemento. De esta manera se puede ver como el mercado de la publicidad puede resultar altamente rentable, por lo que su manejo como un medio ingreso para el desarrollo del producto facilitará su mantenimiento y amortización.



Ilustración 31 SUDS Industrial como espacio público

Fuente: Producción propia

CONCLUSIONES

Por medio del SUDS Industrial se conseguirá aumentar la capacidad de captación de aguas lluvias a lo largo de toda la ciudad, a partir de la implementación de pequeños elementos de contención que debido a su gran número alcancen los volúmenes requeridos por ésta para poder evitar así las inundaciones sectoriales.

Este sistema no requerirá de una gran intervención arquitectónica, por lo que replicarlo a lo largo de toda la ciudad resultará altamente conveniente comparado con los referentes, que son los SUDS convencionales, logrando así aprovechar al máximo un espacio que actualmente está siendo sub utilizado como lo es la zona verde aledaña al canal de aguas lluvias.

De esta manera, se cumplen los objetivos del proyecto al llegar a una respuesta que complemente el sistema de alcantarillado pluvial de la ciudad de Cali atendiendo a las situaciones de alto riesgo de inundación para entregarle al ciudadano caleño la sensación de seguridad y tranquilidad propia a una infraestructura que responda a las demandas actuales de la ciudad ante su crecimiento acelerado, el fenómeno de la niña y las insignificantes condiciones de absorción de agua de su suelo, además de fortalecer a las empresas municipales de Cali (EMCALI) , ya que estas al ser las prestadoras de este servicio, se están viendo actualmente perjudicadas por una mala imagen y sobrecostos desencadenados por esta problemática.

| | SUDS Industrial | SUDS Convencional |
|---------------------------------------|-----------------|-------------------|
| Costos | ↓ | ----- |
| Replicabilidad | ↑ | ----- |
| Capacidad | ----- | ↑ |
| Intervención arquitectónica | ↓ | ----- |
| Conservación de zonas verdes | ↑ | ----- |
| Habitabilidad del espacio intervenido | ↑ | ----- |

Así, con el propósito de dar cuenta de la magnitud del proyecto se investigó la capacidad que tienen la laguna del Pondaje y Charco azul, al ser éstas las medidas de contingencia implementadas por EMCALI desde el año 1967, las cuales para el 2009 contaban con una capacidad de aproximadamente 300.000 metros cúbicos, según el plan de mejoramiento de las lagunas del Pondaje y charco azul de la administración municipal (2009). De este modo ante los 280.000 metros cúbicos de capacidad, que se ha estimado tendría el SUDS Industrial al instalarse a lo largo de los canales de la ciudad, se puede ver como el sistema alcanza una magnitud cercana a la manejada por las medidas de contingencia implementadas previamente.

La inversión aproximada para la implementación del SUDS Industrial sería de 60 mil millones de pesos, lo que equivale aproximadamente al triple de lo invertido por la

alcaldía, que según la contraloría de Cali (2014), fue equivalente a 27 mil millones en el periodo 2009-2012 para ejecutar tan solo la recuperación de las lagunas el Pondaje y Charco azul.

Adicional al manejo de un rango similar en cuanto a la capacidad y el costo de implementación se encuentran otros factores que fortalecen mucho más la implementación de la propuesta. Estos factores son: su replicabilidad, la conservación de las zonas verdes, la habitabilidad del espacio intervenido y la disminución en la probabilidad de generación de vectores como el *Aedes Aegypti*, ya que el SUDS Industrial tiene la facilidad de adaptarse a los distintos espacios sin generar un aislamiento de la zona verde intervenida a la vez que la configura para que sea manejada como un espacio urbano habilitado para ser habitado por medio de mobiliario urbano sin crear las condiciones que permitan la reproducción de mosquitos.

BIBLIOGRAFÍA

1. . Arocha S. (1983) Cloacas y Drenajes Teoría y Diseño. Caracas: Ediciones Vega.
2. Ávila A.J., Escobar Y., Gutiérrez S.E., (2013). Análisis de la influencia de El Niño y La Niña en la oferta hídrica mensual de la oferta del río Cali. Tecnura Vol. 18 No. 41 pp. 120 – 133.
3. Colombia. CIACUA (2009) Sumideros en alcantarillados de aguas lluvias. Diseños típicos utilizados en Colombia y mecanismos de retención de sólidos. Bogotá: Universidad de los andes.
4. Colombia. Emcali EICE ESP Unidad Estratégica de Negocio de Acueducto y Alcantarillado (2006). Plan de saneamiento y manejo de vertimientos 2007-2016. Cali.
5. Colombia. Emcali EICE ESP (2011). Norma técnica de recolección de aguas residuales y lluvias. Cali.
6. Colombia. Emcali EICE ESP (2011). Norma técnica de recolección de aguas residuales y lluvias. Sumideros y/o captación superficial de aguas lluvias en vías urbanas. Cali.
7. Colombia. IDEAM (N.D.) Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos. Bogotá.
8. Colombia. Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Sección II. Título D. Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales. Bogotá.

9. Colombia. Universidad del Valle. Instituto de investigación y desarrollo en agua potable, saneamiento básico y conservación del recurso hídrico. International institute for infrastructural, hydraulic and environmental engineering. Delft university of technology. (1996). Curso internacional sistemas de alcantarillado. (tomo 1). Cali: Cinara centro de documentación.
10. Colombia. Universidad del Valle. Instituto de investigación y desarrollo en agua potable, saneamiento básico y conservación del recurso hídrico. International institute for infrastructural, hydraulic and environmental engineering. Delft university of technology. (1996). Curso internacional sistemas de alcantarillado. (tomo 2). Cali: Cinara centro de documentación.
11. Delgado A., Pulido S.A., (2005). Modelación hidrodinámica del sistema de drenaje urbano de la ciudad de Cali en el área de influencia del río Cali. (Trabajo de grado para título ingeniero sanitario). Cali Colombia Universidad del Valle.
12. Fernandez G. (2009). Vulnerabilidad ambiental del Uruguay frente a la propagación del Dengue. Anales del Instituto de Profesores "Artigas", Segunda Época, N°3, pp. 207-218
13. Franco F.L., (2010). Respuestas y Propuestas ante el riesgo de inundación de las ciudades colombianas. Revista de Ingeniería de la Universidad de los Andes #31 Bogotá Colombia pp 97-108.
14. Giraldo G I. (2008). Evaluación del triflumurón y la mezcla de *Bacillus thuringiensis* más *Bacillus sphaericus* para el control de las formas inmaduras de *Aedes aegypti* y *Culex quinquefasciatus* en sumideros en Cali, Colombia. Biomédica pp 224-233.
15. Gómez D. (1998). Diagnóstico ambiental de la recolección, transporte y disposición final de los lodos provenientes de la ciudad de Tuluá. (Trabajo de grado para título Ingeniero sanitario) Cali. Universidad del Valle.
16. Gómez M. (2009). Comportamiento hidráulico de las calles durante lluvias extremas en zonas urbanas. Ingeniería hidráulica en México, vol. XXIV, núm. 3, pp. 51-62.
17. Mandoki, K (1994) Conversando sobre la ciudad. Mexico
18. Materón H., Carvajal Y., (1997). Curvas de intensidad, frecuencia y duración de lluvias para Cali: Actualización y Consideraciones. Ingeniería y Competitividad Vol. 1 pp 29-35.
19. Maestre R., Gómez D., (2013). Dengue: Epidemiología, políticas públicas y resistencia de vectores a insecticidas. Revista ciencias biomédicas pp 302-317.
20. Organización Panamericana de la Salud (2005). Manual de Operación y mantenimiento de sistemas de alcantarillado sanitario en el medio rural. Lima.
21. Periódico el país (2013) El robo de tapas de alcantarilla, un "negocio redondo" en Cali. [en línea] Recuperado de: <http://www.elpais.com.co/elpais/cali/noticias/ladrones-infraestructura->

- serviciosconvierten-cali-trampamortal?utm_source=twitter&utm_medium=twitter-pais&utm_campaign=ampliar-noticia (visitado en: 15 Sep 2014)
22. Pizarro R. (ND). Curvas intensidad duración frecuencias. Módulo 2. Sociedad estándares de ingeniería para aguas y suelos Ltda.
 23. Sandoval S., Torres A., Obregón N., (2012). Herramientas para la implementación de mantenimiento proactivo en alcantarillados urbanos utilizando confiabilidad de inundación y conceptos de entropía de información. Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia N.º 65 pp. 152-166.
 24. Satizabal M.E., (1999). Control biológico de aedes aegypti (diptera: culicidae) con mesocyclops longisetus (copepoda: cyclopoida) en sumideros de la ciudad de Cali Colombia. (Tesis para maestría en ciencias biológicas). Cali Colombia Universidad del Valle.
 25. Travassos L., (2012). Inundaciones urbanas: un problema social y ambiental. Revista de Gestao Ambiental e sustentabilidade GeAS Sao Paulo, Vol. 1 pp 96-114. Perez, P. (2013), "The market research", Management Science, Vol. 48 No. 8, pp. 1024-41.

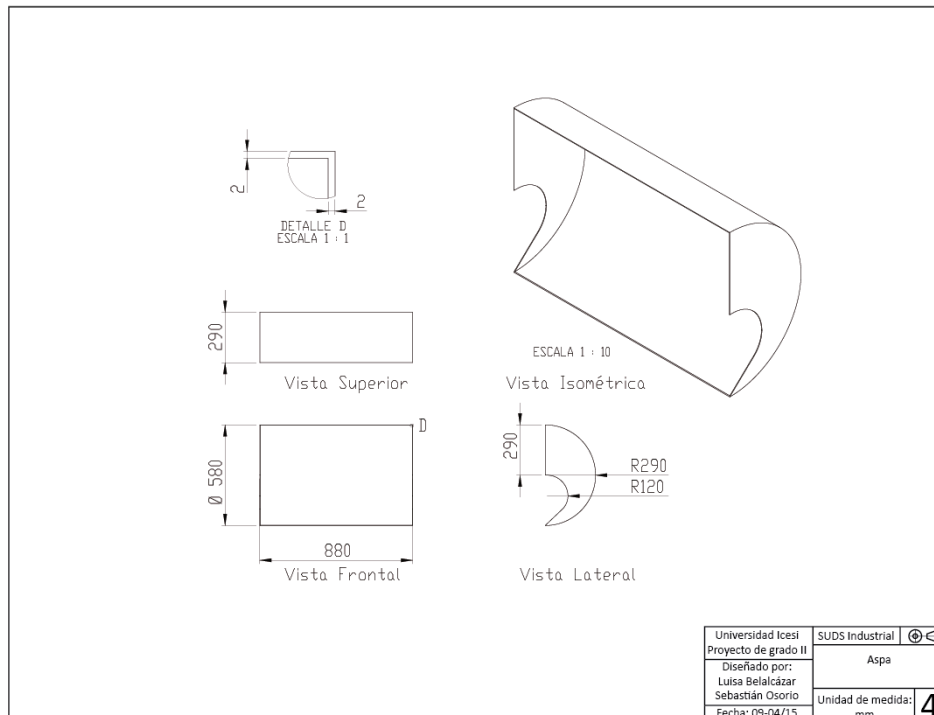
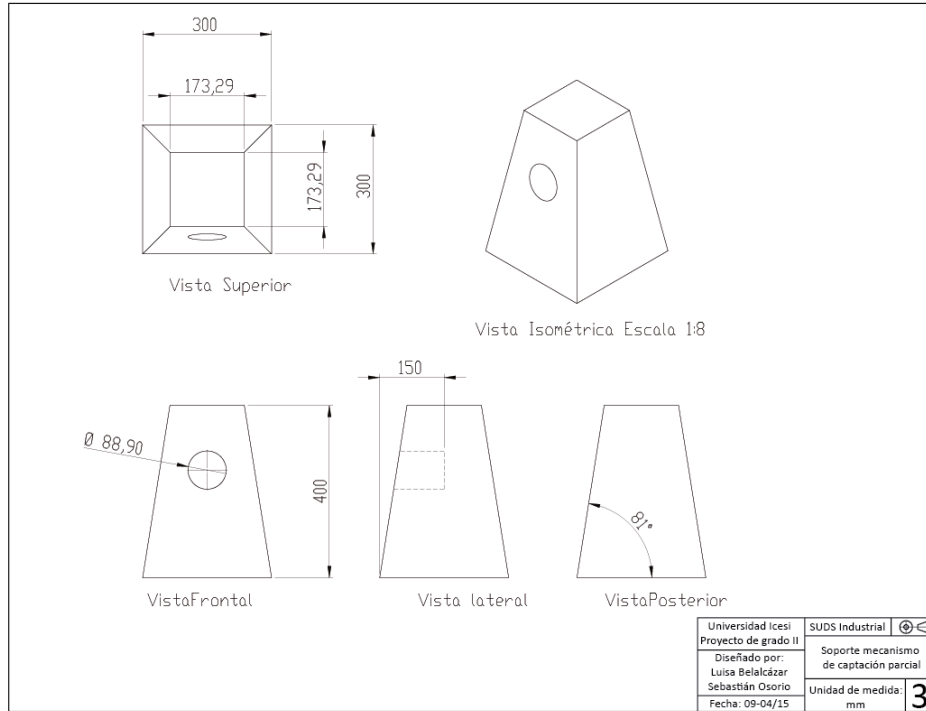
Anexos/Apéndices

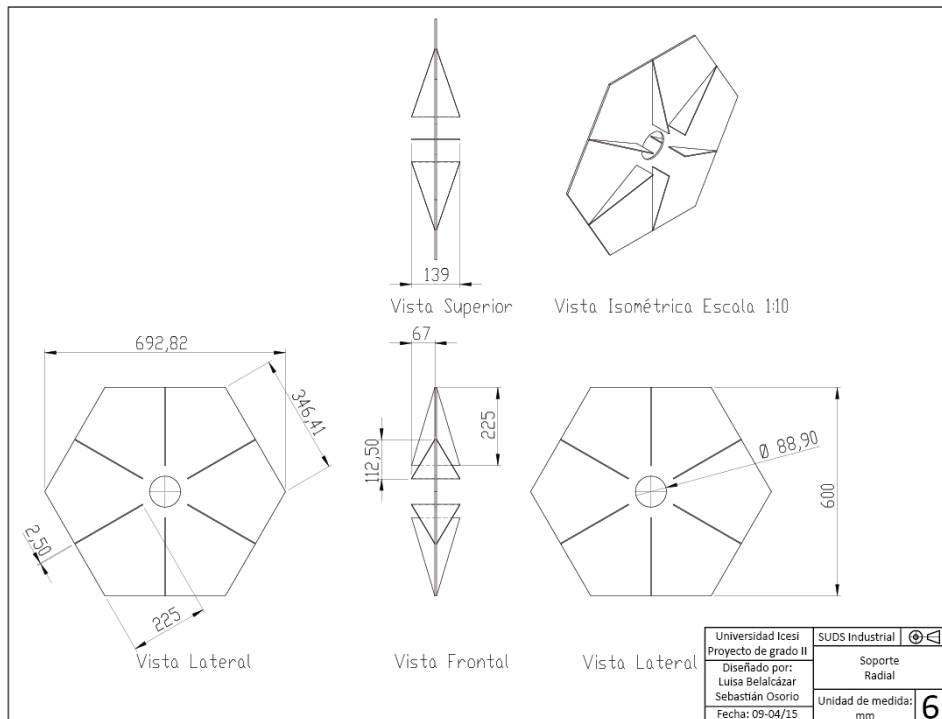
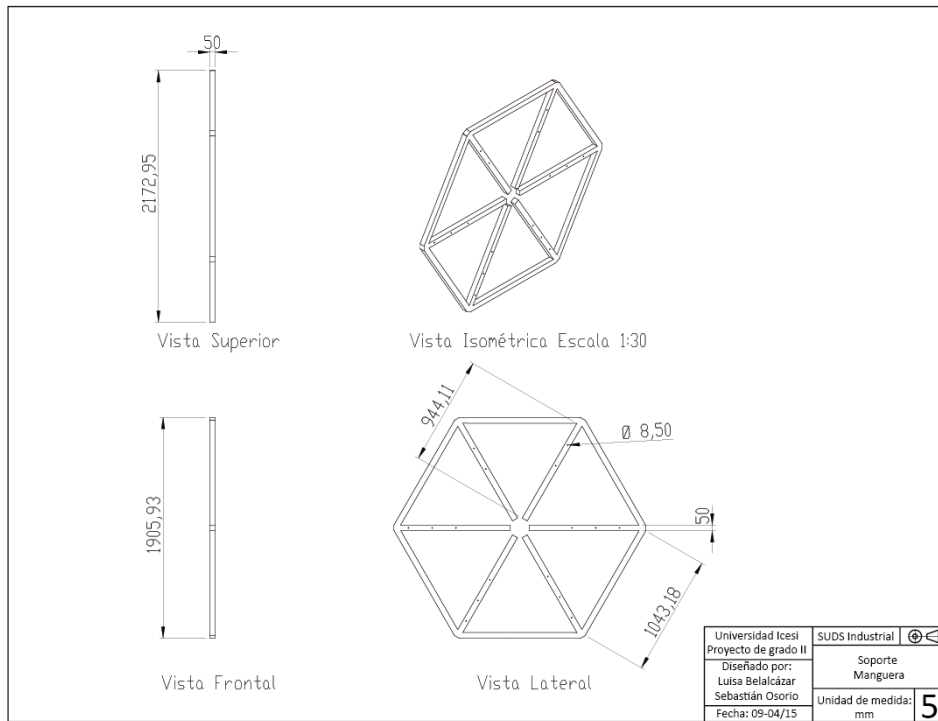
Anexo 1. Vactor

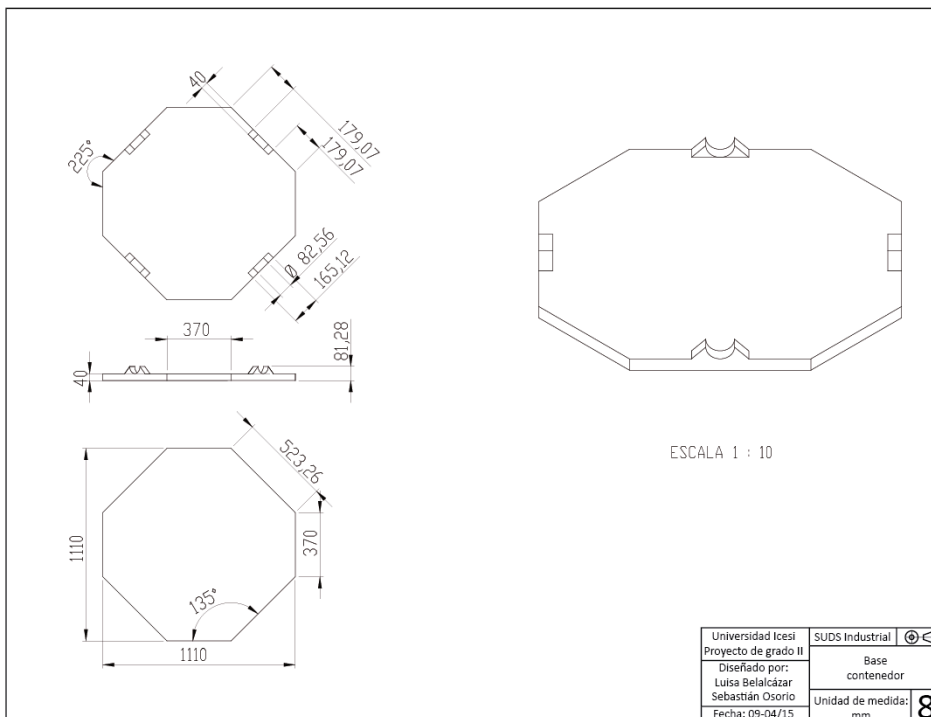
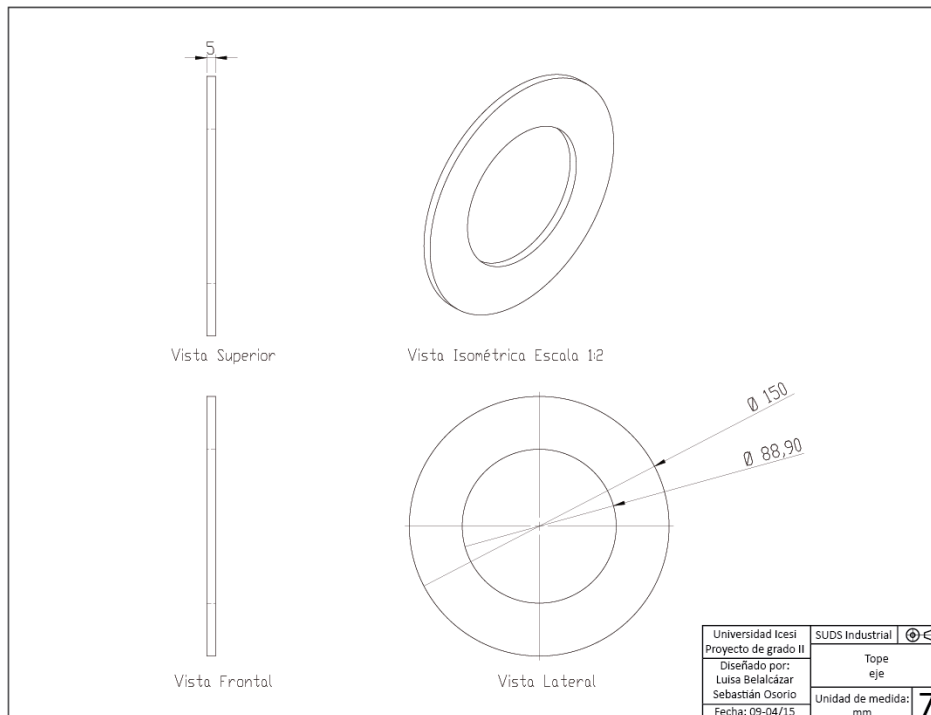


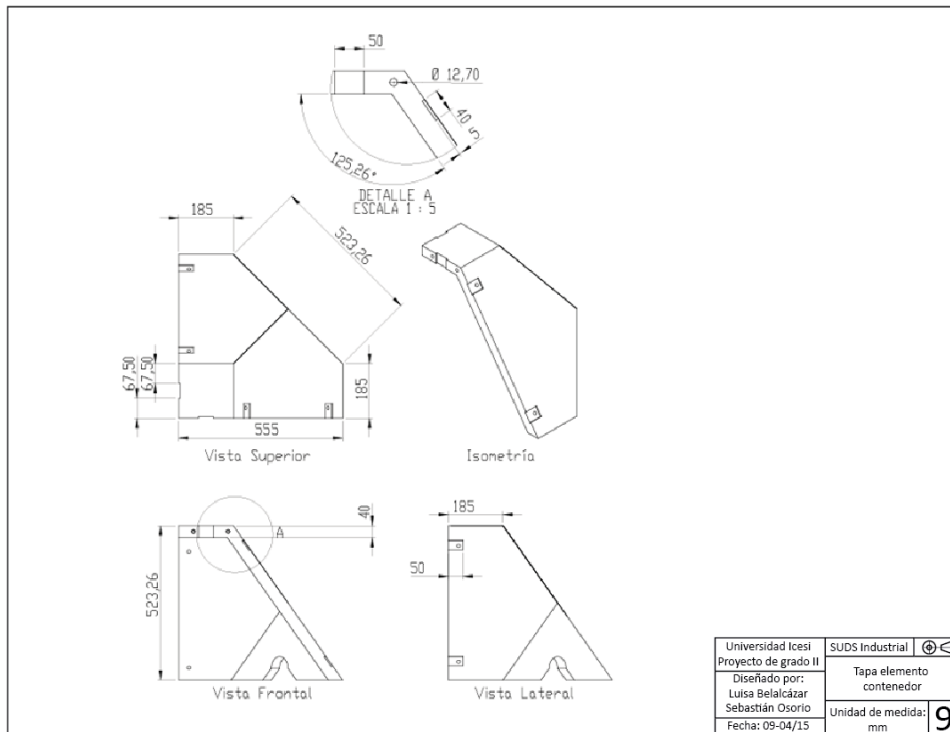
Fuente: MRP Services (2010) Vactor Truck Services [en línea] Recuperado de:
http://www.metrorooterusa.com/vactor_truck.php

Anexo 2. Planos técnicos piezas especiales









Fuente: Producción propia