

EL CONCRETO HIDRAULICO POROSO Y LA ENERGIA CINÉTICA DEL VIENTO EN
DRENAJES PLUVIALES, COMO POSIBLE SOLUCIÓN A LAS INUNDACIONES EN EL
SECTOR DE BOCAGRADE EN LA CIUDAD DE CARTAGENA

EDWARD JOEL ALVAREZ NAVARRO
JORGE SAINT-HILAIRE MOLINARES



UNIVERSIDAD DE LA COSTA - CUC
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL
INGENIERÍA CIVIL
BARRANQUILLA, COLOMBIA
2021

EL CONCRETO HIDRAULICO POROSO Y LA ENERGIA CINÉTICA DEL VIENTO EN
DRENAJES PLUVIALES, COMO POSIBLE SOLUCIÓN A LAS INUNDACIONES EN EL
SECTOR DE BOCAGRANDE EN LA CIUDAD DE CARTAGENA

EDWARD JOEL ALVAREZ NAVARRO
JORGE SAINT-HILAIRE MOLINARES

Tutor:
ING. FELIX PEREZ MORALES
ING. ERICK VAN BOMMEL GANENM

TESIS DE GRADO PARA OPTAR EL TITULO DE INGERIERO CIVIL

UNIVERSIDAD DE LA COSTA - CUC
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL
INGENIERÍA CIVIL
BARRANQUILLA, COLOMBIA
2021

Nota de aceptación



JORGE SAINT – HILAIRE
CC: 72022222

Firma del jurado



EDWARD ALVAREZ NAVARRO
CC: 1051674890

Firma del jurado

Barranquilla, julio de 2021

Dedicatoria

Dedicamos nuestra tesis, primeramente a Dios porque con su luz divina nos permitió ser constantes, perseverantes y derrotar los obstáculos y adversidades que se nos presentaron en el camino.

A nuestros padres, familiares y amigos, por confiar en nosotros y a todo el personal colaborativo que permitió que este proyecto se llevara a cabo.

Agradecimientos

A los ingenieros Félix Pérez Morales y Erick Van Bommel Ganenm más que agradecerles, expresarles nuestra admiración por su generosidad al compartir su valioso conocimiento, que representa la base de nuestro desarrollo profesional, y sobre todo agradecer el tiempo que invirtieron apoyándonos.

Al Lic. Álvaro Salazar Paternina, a la Srta. Natalia Toscano di Filippo, al Ing. Omar Dávila Navarro, al Arq. Nahim Almanza Abdala, y a nuestros compañeros y amigos por el apoyo que nos brindaron durante este proceso que hoy vemos culminado.

A la Facultad de Ingeniería de la universidad de la Costa por formarnos para lograr un exitoso desarrollo de nuestra vida profesional.

1 Resumen

Este proyecto tiene como propósito diseñar un sistema de drenaje que permita minimizar el tiempo de drenado de las inundaciones que se presentan en el sector de boca grande, en la ciudad de Cartagena de Indias, específicamente en la carrera 1 desde la calle 10 a la calle 15, dónde, según nuestras investigaciones, son las zonas más vulnerables a dicho fenómeno; este acontecimiento es ocasionado por las mareas altas y las precipitaciones a lo largo del año. Este sector fue seleccionado debido a la problemática que ha afrontado hace más de 20 años. Durante la investigación se realizó una encuesta con el fin de conocer más a detalle la problemática aquí expuesta, evaluando para ello los siguientes puntos: tiempo de drenado del agua estancada, puntos críticos de inundación, tiempo de la problemática en años, incidencia en el flujo vehicular y peatonal. En síntesis, este proyecto propone el diseño de un sistema de drenaje que sea viable técnica y económicamente durante su vida en operación. El proyecto contempla una optimización de los costos debido a que se propone el uso de energías renovables, que permitan generar electricidad. En diseñar un sistema de drenaje duradero y con un costo de operación bajo; la disminución del coste será impulsado por el uso de energías renovables, como la energía eólica para generar electricidad. El diseño propuesto apunta a ser un proyecto sostenible en el tiempo. En lo que respecta a la parte económica, los costos operativos serán reducidos a través del uso de aerogeneradores, debido a que, se sustituye el suministro de energía eléctrica de la red convencional. Esto involucra un ahorro de energía eléctrica del 30 % en un periodo de 20 años. En cuanto a la sostenibilidad, este proyecto atiende las necesidades sociales del sector, garantizando un equilibrio entre el bienestar de la comunidad y el cuidado del medio ambiente.

Palabras Clave: Captación, Drenaje, Aerogenerador, Bordillos, Energías alternativas

2 Abstract

This project aims to design a drainage system that will minimize the time of drainage of floods that occur in the large mouth sector, in the city of Cartagena de Indías, specifically in race 1 from 10th Street to 15th Street, where, according to our research, are the most vulnerable areas to this phenomenon; this event is caused by high tides and precipitation throughout the year. This sector was selected because of the problems it has faced more than 20 years ago. During the research, a survey was conducted in order to learn more about the problems presented here, evaluating the following points: time of drainage of stagnant water, critical flood points, time of the problem in years, impact on vehicular and pedestrian flow. In short, this project proposes the design of a drainage system that is technically and economically viable during its lifetime in operation. The project envisages an optimization of the costs due to the proposed use of renewable energies that allow to generate electricity. In designing a durable drainage system with a low operating cost; the decrease in cost will be driven by the use of renewable energies, such as wind power to generate electricity.. The proposed design aims to be a sustainable project over time. As regards the economic part, the operating costs will be reduced through the use of wind turbines, because the electricity supply of the conventional grid is replaced. This involves 30% electricity savings over a 20-year period. In terms of sustainability, this project addresses the social needs of the sector, ensuring a balance between the well-being of the community and the care of the environment.

Keywords: Catchment, Drainage, Wind turbine, Curbs, Alternative energies

3 TABLA DE CONTENIDO

1	TABLA DE CONTENIDO.....	8
2	LISTA DE TABLAS.....	10
3	LISTA DE IMAGENES¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
	CAPITULO I.....	13
6	INTRODUCCIÓN.....	13
7	PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
8	OBJETIVOS.....	18
8.1	OBJETIVO GENERAL.....	18
8.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
9	ANTECEDENTES.....	19
9.1	PROYECTO MIAMI BEACH.....	23
	CAPITULO II.....	25
10	MARCO TEORICO.....	25
10.1	SUBSISTEMA DE DRENAJE.....	25
10.1.1	<i>Captación.....</i>	25
10.1.2	<i>Registro de agua pluvial.....</i>	27
10.1.3	<i>Drenaje.....</i>	28
10.1.4	<i>Transporte.....</i>	28
10.2	SUBSISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	28
10.2.1	<i>Energía eólica.....</i>	29
10.2.2	<i>Energía solar.....</i>	30
	CAPITULO III.....	31
11	DISEÑO CONCEPTUAL.....	31
11.1	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	31
11.1.1	<i>Caudal de diseño.....</i>	31
11.1.2	<i>Tiempo de Inundación.....</i>	34
11.1.3	<i>Duración de la lluvia.....</i>	36
11.2	GENERACION DE ALTERNATIVAS.....	37
11.2.1	<i>Alternativas de captación.....</i>	41
11.2.2	<i>Alternativas de bombeo.....</i>	43

12	SELECCIÓN DE ALTERNATIVA.....	45
13	DISEÑO FINAL.....	46
13.1	DISEÑO DE SISTEMA DE DRENAJE.....	48
	CONCLUSIONES.....	49
14	ANEXOS.....	51
14.1	RESULTADOS DE ENCUESTA.....	51
14.2	FICHA TÉCNICA DE CONCRETO POROSO.....	54
14.3	FICHA TÉCNICA DEL AEROGENERADOR.....	55
14.4	FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA SUMERGIBLE.....	56
14.5	PRESUPUESTO.....	57
15	LISTA DE REFERENCIAS.....	60

4 Lista De Tablas y Figuras

Tablas

TABLA 1. VALORES DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA EN ÁREAS URBANAS.....	32
TABLA 2. CAUDAL DE DISEÑO.....	34
TABLA 3. TABLA DE FRECUENCIA ENCUESTA "TIEMPO DE INUNDACIÓN"	34
TABLA 4. MEDIAS DESCRIPTIVAS DE LA ENCUESTA	35
TABLA 5. RESUMEN DE DATOS METEOROLÓGICOS.	36
TABLA 6. FICHA TÉCNICA DE CONCRETO POROSO	54
TABLA 7. FICHA TÉCNICA AEROGENERADOR	55
TABLA 8. FICHA TÉCNICA BOMBA SUMERGIBLE	56
TABLA 9. PRESUPUESTO DEL PROYECTO	57

Figuras

FIGURA 1. SECTOR DE BOCAGRANDE, (HERALDO, 2020).....	15
FIGURA 2. INUNDACIÓN BOCAGRANDE, (UNIVERSAL, 2019).....	15
FIGURA 3. A) DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR, TOMADO SIN PERMISO DE (WIKIMEDIA COMMONS, 2011), B) LOCALIZACIÓN DE LA CIUDAD DE CARTAGENA, TOMADO SIN PERMISO DE (WIKIMEDIA COMMONS, 2015), C) SECTOR DE BOCAGRANDE, TOMADO SIN PERMISO DE (S.R.O., S.F.), D) ALCANCE DEL PROYECTO, TOMADO SIN PERMISO DE (GOOGLE, LLC, S.F.).....	17
FIGURA 4. VARIABILIDAD DEL NIVEL DEL MAR Y RIESGOS ASOCIADOS A EPISODIOS DE MAR DE LEVA, (CENTRO COLOMBIANO DE DATOS OCEANOGRÁFICOS, 2008).....	20
FIGURA 5. MALECÓN EN MAL ESTADO, (BRAKEL, Y OTROS, 2017)	21
FIGURA 6. TIPOS DE SUPERFICIES EN PAVIMENTOS PERMEABLES, (JATO ESPINO, RODRIGUEZ HERNANDEZ, ANDRÉS VALERI, & CASTRO FRESNO, 2019)	23
FIGURA 7. ESTACIÓN DE BOMBEO EN EL SECTOR DE MIAMI BEACH, (HERALD, 2014).....	24
FIGURA 8. CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL. (HIDRASOFTWARE, S.F.).....	26
FIGURA 9. REJILLA INDUSTRIAL FABRICADA EN ACERO. (CANTALEJO, S.F.)	26
FIGURA 10. REJILLA DE CONCRETO. (CIMENTOS, S.F.).....	27
FIGURA 11. CONCRETO PERMEABLE, (TOXEMENT, 2017).....	27
FIGURA 12. A) AEROGENERADOR DE EJE VERTICAL (BAEK, S.F.), B) AEROGENERADOR DE EJE HORIZONTAL (WESTWOOD, S.F.)	29
FIGURA 13. A) ENERGÍA FOTOVOLTAICA, (BID INVEST, 2018), B) ENERGÍA TÉRMICA, (ETHRAA, S.F.).....	30
FIGURA 14. ÁREA DE LA CUENCA, TOMADO SIN PERMISO DE (GOOGLE, LLC, S.F.).....	33
FIGURA 15. METODOLOGÍA QFD. (ANONIMO, 2015).....	37
FIGURA 16. DIAGRAMA DE FLUJO- DISEÑO DEL PROYECTO.....	39
FIGURA 17. MATRIZ QFD, PLANTILLA TOMADA DE (QFD ONLINE, S.F.).....	40

FIGURA 18. CAPTACIÓN EN CONCRETO POROSO.....	41
FIGURA 19. VISTA EN PLANTA PARA REJILLA DE CAPTACIÓN. FUENTE: ORIGEN PROPIO.....	42
FIGURA 20. ESQUEMA DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN POR MEDIO DE REJILLAS: CAPACIDAD HIDRÁULICA 70%. FUENTE: FUENTE PROPIA.....	43
FIGURA 21. BORDILLO EN CONCRETO POROSO, VISTA EN 3D (1,5 M X 0,25 M X 0,15 M)......	46
FIGURA 22. BORDILLO EN CONCRETO POROSO, VISTA FRONTAL.	46
FIGURA 23. ESQUEMA MODELO DEL SISTEMA DE DRENAJE PARA UNA CALLE.	46
FIGURA 24. ACERO DE REFUERZO PARA REGISTRO COLECTOR.	47
FIGURA 25. VISTA LATERAL.....	48
FIGURA26. REGISTRO COLECTOR Y REGISTRO PRINCIPAL	48
FIGURA 27. TIEMPO QUE TARDA EL AGUA EN EVACUARSE DESPUÉS DE UN FUERTE AGUACERO	51
FIGURA 28. CALLES QUE SE VEN MÁS AFECTADAS CON LAS INUNDACIONES	52
FIGURA 29. TIEMPO DE LA PROBLEMÁTICA	52
FIGURA 30. INTERÉS QUE TIENE LA ALCALDÍA DE CARTAGENA EN SOLUCIONAR LA PROBLEMÁTICA	53
FIGURA 31. AFECTADOS POR LAS INUNDACIONES.....	54

CAPITULO

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Cartagena está localizada en el norte del Departamento de Bolívar, al noroccidente de Colombia sobre la costa del mar Caribe. Las políticas actuales están encaminadas a gestionar el bien social de la comunidad cartagenera , por lo que han iniciado y planeado obras de infraestructura civil, que apunten a este objetivo, razón por la cual el gobierno actual ha estado gestionando obras de construcción que mejoren el bienestar social de la comunidad; teniendo en cuenta este hecho, nos hemos enfocado en un proyecto que desarrolle la calidad de vida de los cartageneros. Actualmente Cartagena presenta uno de los problemas de inundación más fuertes del país. En los últimos años la bahía de Cartagena, principalmente en el sector de boca grande y barrios aledaños, ha venido sufriendo inundaciones considerables producto de las altas mareas y las precipitaciones. El presente trabajo de tesis tiene como principal objetivo proponer un diseño de sistema de drenaje sostenible y económico que permita minimizar el tiempo de inundación en el sector de Boca Grande, en época de invierno y de mareas altas, en las zonas más vulnerables a este fenómeno natural. En Cartagena han surgido diferentes proyectos para resolver esta problemática, no obstante, la han abordado a través de otros métodos ingenieriles de drenaje. Siendo la canalización uno de estos métodos, sin embargo, estas propuestas no han arrojado óptimos resultados. En este trabajo nos concentraremos inicialmente en analizar las causas de las inundaciones en el sector de Bocagrande con el fin de relacionar este tipo de fenómenos naturales con la metodología de diseño.

El sistema está confortado principalmente por captaciones de bordillos en concreto permeable, registros colectores, bombas de succión, y aerogeneradores para el suministro de energía. El

sistema de drenaje propuesto en el presente trabajo, puede ser utilizado dentro de los planes de desarrollo y políticas locales.

5 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En Cartagena, varios proyectos de alcantarillado han intentado mejorar las condiciones a las que se ve expuesta la ciudad en épocas de precipitaciones y altas mareas, generando daños en bienes públicos y privados, así como también, caos vehicular, empozamiento por largos días en las avenidas, y dificultades en el flujo peatonal.

Las imágenes 1 y 2 muestran un panorama de lo que actualmente sufre el parque automotor en el sector de Bocagrande en épocas de lluvias.



Figura 1. Sector de Bocagrande, fuente (Heraldo, 2020).



Figura 2. Inundación Bocagrande, Fuente (Universal, 2019).

Según la unidad nacional de gestión del riesgo y desastre (UNGRD), la ciudad de Cartagena no solo presenta un problema al aumentar el nivel del mar, sino adicionalmente el sistema de drenaje pluvial. Sistemas de tuberías, colectores, canales, acequias y estructuras hidráulicas interconectadas para evacuar o eliminar las aguas lluvias, no son efectivos en muchos sectores de la ciudad. Esto ocasiona inundaciones en las calles e incluso daños materiales por la acumulación o el escurrimiento superficial de la lluvia.¹



¹ El Universal. (14 de Enero de 2019). El Universal. Obtenido de Drenajes pluviales, “el problema estructural” de Cartagena: <https://www.eluniversal.com.co/cartagena/drenajes-pluviales-el-problema-estructural-de-cartagena-MD588817>

Las siguientes imágenes hacen referencia a la localización geográfica del proyecto.

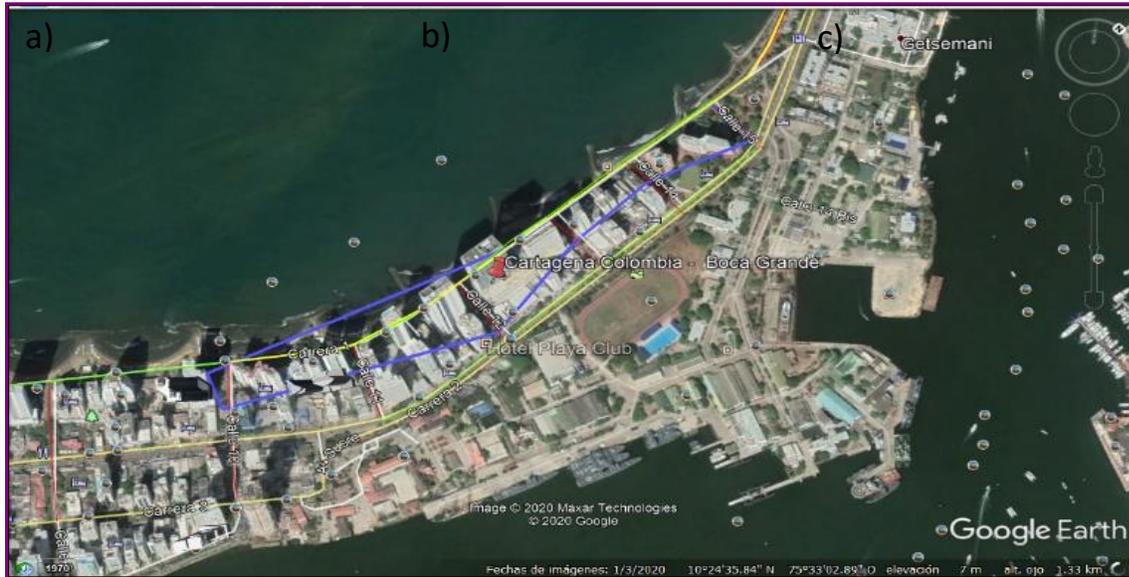


Figura 3. a) Departamento de Bolívar, tomado sin permiso de (WIKIMEDIA COMMONS, 2011), b) Localización de la Ciudad de Cartagena, tomado sin permiso de (WIKIMEDIA COMMONS, 2015), c) Sector de Bocagrande, tomado sin permiso de (S.R.O., s.f.), d) Alcance del proyecto, tomado sin permiso de (Google, LLC, s.f.).|

6 OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Diseñar y proponer un sistema hidráulico para disminuir en un 80 % las inundaciones en un sector de Bocagrande.

6.2 Objetivos específicos

- ✓ Evaluar hidrológicamente el área en estudio con el fin de diseñar un sistema hidráulico
- ✓ Explorar la eficiencia y oportunidad de utilizar energías renovables en sistemas de drenaje.
- ✓ Estudiar las características del concreto permeable como una posible solución.
- ✓ Analizar la viabilidad económica del sistema de drenaje propuesto como solución a las inundaciones.

7 ANTECEDENTES

La problemática abordada en este proyecto no es un caso aislado de la Ciudad de Cartagena, las transgresiones marinas y las altas precipitaciones afectan un número significativo de zonas costeras del mundo. En lo que respecta a la península de Bocagrande se han realizado estudios que demuestran inundaciones serias en años presentes y futuros.

Los resultados arrojados de estudios cartográficos y de altimetría, partes enteras de la península se encontrarían bajo las aguas, principalmente la parte más vulnerable que es el único eje de comunicación con los barrios del centro de la ciudad. Más en detalle, ciertos sectores serán gravemente afectados, sin contar con la acción mecánica de las olas que podrían romper al interior de la tierra causando importantes daños a las estructuras.²

² Lerma, A., Thomas, Y., Durand, P., Torres, R., & Andrade, C. (10 de Septiembre de 2008). *Variabilidad del nivel del mar des*

Lux Cardona, B. (2016). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*. Obtenido de Maestría en Energía y Ambiente : <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20Morfometr%C3%ADa%20de%20Cuencas%20Hidrogr%C3%A1ficas.pdf>

(Lux Cardona, 2016) *de 1950 hasta el 2000 y riesgos asociados a episodios de mar de leva en las penínsulas de Bocagrande y Castillogrande, Cartagena de Indias, Colombia*. Obtenido de https://cecoldodigital.dimar.mil.co/249/1/dimarcioh_2008_boletincioh_26_72-85.pdf

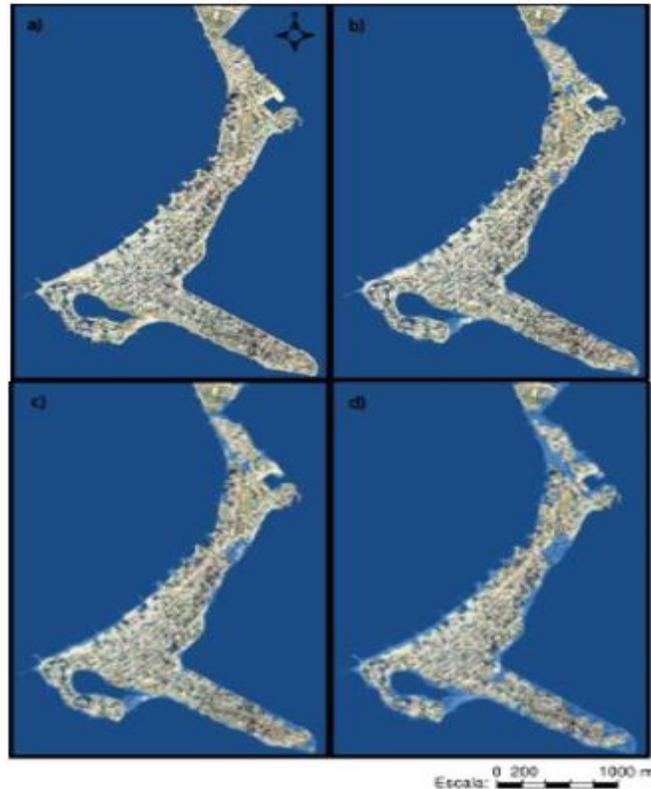


Figura 4. Variabilidad del nivel del mar y riesgos asociados a episodios de mar de leva, Fuente (Centro Colombiano de datos oceanográficos, 2008).

Ilustración de los escenarios de inundación para un mar de leva de 50 cm: a) situación actual b) simulación de mar de leva provocando un aumento del nivel marino de 50 cm, c) simulación de mar de leva provocando un aumento del nivel marino de 50 cm asociado al aumento del nivel del mar proyectado al 2030, 56.7 cm, d) simulación de mar de leva provocando un aumento del nivel marino de 50 cm asociado al aumento del nivel del mar proyectado al 2100, 76.2 cm.³

Luuk Brakel, coincide en su tesis, Cartagena, it's now or never, con lo anterior mencionado, exponiendo que se necesita un buen inventario de la infraestructura actual, dando a conocer las razones simples de el por qué de las inundaciones en el sector de Boca Grande: primero, la costa

³ Ibidem

o playa ha ido perdiendo área por erosión marina, generando como resultado un hundimiento del terreno, lo que él ha llamado aumento relativo del nivel del mar, sumándole el aumento absoluto relacionado con los fenómenos meteorológicos . Y segundo, aclara y hace énfasis en que el mayor daño no radica completamente en esto. Consiste en la pobre infraestructura existente, no funcional que no responde al alto oleaje y a los arroyos en épocas de lluvia, Romper una parte de los andenes para que el agua lluvia fluya hacia el mar es una solución facilista y no ingenieril, ya que no se tiene en cuenta que la inundación es inversa con las altas mareas.

A continuación en su artículo el presenta unas imágenes que corroboran la problemática.



Figura5. Malecón en mal estado, Fuente (Brakel, y otros, 2017)

En el caso de España , Jato Espino (2019) realizó la propuesta de “Pavimentos Urbanos Permeables “teniendo en cuenta investigaciones previas de otros autores y fenómenos importantes en el siglo XXI como lo son la urbanización y el cambio climático, como una posible solución de las inundaciones. En respuesta a estos fenómenos, desde el año 1995 en España, se han diseñado algunos sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), que contribuyen a restaurar el ciclo natural del agua para así tener ciudades más resilientes y

sostenibles. Esta clase de infraestructuras contienen sistemas de captación, conducción, infiltración y almacenamiento, facilitando el control de la escorrentía.

Los sistemas de drenaje sostenible, no sólo son empleados en adoquines, parques, y zonas peatonales, sino que también son empleados en pavimentos y capas asfálticas. Lo que quiere decir que, en estos últimos, se puede alcanzar una resistencia bastante alta para la cantidad de ejes equivalentes., diseños de mezclas, y componentes granulométricos no convencionales, haciendo del concreto permeable una posible solución a la problemática en estudio.

A continuación, citamos textualmente un ejemplo de un diseño de mezcla de asfalto poroso:

Así mismo, (Andres Valeriet, 2014) dice que la capa base intermedia de granulometría abierta, normalmente se compone de áridos de tamaño pequeño o medio (4-8 mm), con un contenido de huecos ligeramente superior al de la capa superficial para asegurar el flujo del agua. La capa superficial admite un mayor número de posibilidades de acabado, incluyendo materiales porosos, adoquines y capas vegetales reforzadas.⁴

Según (Andrés-Valeri et al., 2016), los materiales porosos están constituidos por un esqueleto granular recubierto con un ligante, que define los dos tipos principales de superficies porosas existentes: Asfalto poroso, aquellos con ligantes bituminosos, y hormigón poroso, si se usan ligantes hidráulicos . En ambos casos, las mezclas resultantes se diseñan con un porcentaje de huecos mínimo del 18 % - 20 % para garantizar la capacidad hidráulica, empleándose, para ello, áridos de alta calidad con granulometrías abiertas y un bajo contenido de finos.⁵

⁴ Ibidem

⁵ Ibidem

En la Figura que se verá a continuación, se exhiben los diferentes tipos de pavimentos que se pueden trabajar en áreas determinadas de una ciudad, teniendo en cuenta su uso y funcionalidad. Por ejemplo; a) Asfalto poroso, b) Hormigón poroso, C) Adoquines impermeables con juntas abiertas, D) Adoquines de hormigón poroso, e) Césped reforzado con celdas de plástico, F) Césped reforzado con celdas de hormigón.

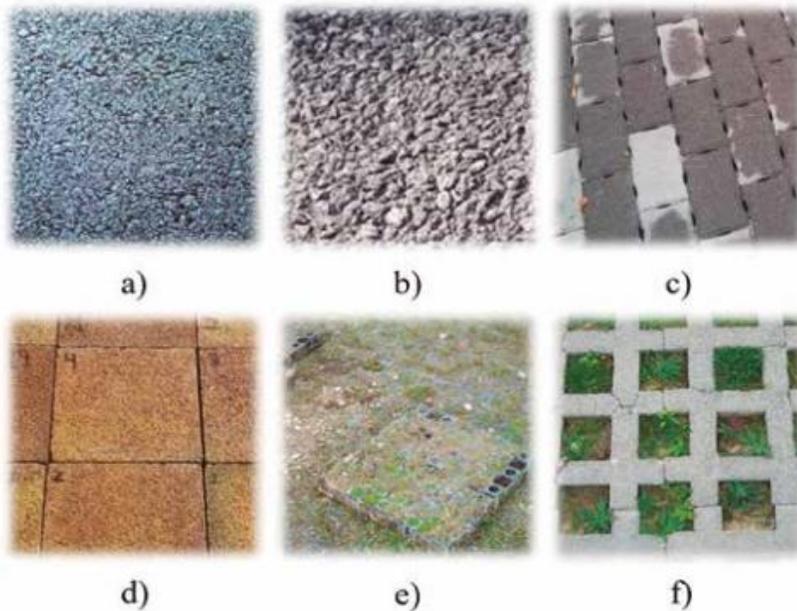


Figura 6. Tipos de superficies en pavimentos permeable Fuente, (Jato Espino , Rodriguez Hernandez, Andrés Valeri, & Castro Fresno, 2019)

7.1 Proyecto Miami Beach

Según estudios, Miami es una de las ciudades más vulnerables al aumento del nivel del mar en el mundo, está asentada en una piedra caliza que es muy porosa. Dicha condición le permite filtrar el agua dulce subterránea y debilitar el terreno, es decir, las posibilidades de inundación son muy altas, aumentando en épocas de altas mareas y fuertes lluvias.

Fenómenos naturales como la alineación entre la luna, el sol y la tierra, causan alteraciones en los campos gravitacionales, que generan un alto oleaje durante los últimos tres meses del año.

Al igual que Miami, la ciudad de Cartagena no está exenta de los fenómenos naturales que hemos venido mencionando. El sector de Bocagrande, presenta altas mareas que generan inundaciones en épocas donde los vientos alisios tienen mayor velocidad, ocasionando mayor variabilidad en las precipitaciones. En el caso de Miami, implementaron un sistema de drenaje con bombas de succión que alcanzan los 7000 galones por minuto, apoyándose en subestaciones para abastecer el fluido eléctrico.

Para sintetizar, en lo que respecta al proyecto estadounidense, básicamente construyeron diques en cada uno de los conjuntos de Islas, dichas estructuras reciben el agua bombeada a través de canales internos hacia el mar.



Figura 7. estación de bombeo en el sector de Miami Beach, Fuente (Herald, 2014).

La Figura anterior hace referencia a una de las estaciones de bombeo que cuenta con dos bombas de agua de aproximadamente tres toneladas, en el sector de Miami Beach.

CAPITULO II

8 MARCO TEORICO

Con el fin de analizar la problemática vial presentada en este documento, se ha dividido la situación en dos subsistemas, que dan solución a cada una de las principales necesidades: captación, transporte y suministro de energía eléctrica.

8.1 Subsistema de drenaje

Un sistema de drenaje es aquel que está conformado por una red de conductos que acumulan y transportan el agua a otras partes, impidiendo al mismo tiempo la entrada de las aguas externas; su función principal es expulsar el agua acumulada en depresiones topográficas del terreno, que causan inconvenientes en áreas urbanizadas o carreteras. Para determinar el tipo de estructura hidráulica es importante conocer las propiedades mecánicas del suelo: tasa de infiltración, nivel freático y capacidad portante. (Castro Fresno, Rodriguez Bayon, Rodriguez Hernandez, & Ballester Muñoz, 2005). Con el fin de reglamentar el sistema de drenaje en Colombia, en el año 2017 se expidió la norma RAS por medio de la resolución 0330 de 2017, que regula el reglamento de diseños de acueducto y alcantarillado.

8.1.1 Captación

Un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, consiste en una estructura que permite interceptar, recolectar y almacenar el agua de lluvia; el tamaño de la misma depende del tipo de caudal que pueda almacenar y drenar en un tiempo estimado.

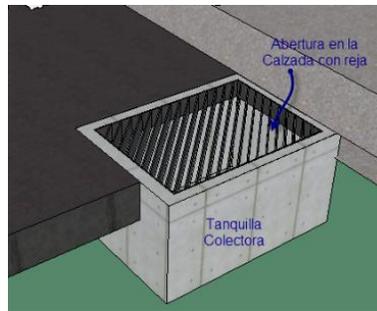


Figura8. Captación de agua pluvial. Fuente (HidraSoftware, s.f.)

Existen diferentes tipos de captaciones, las más comunes son:

- **Rejillas industriales fabricadas en acero**

Son usadas en vías urbanas para drenar el agua lluvia, ubicadas de manera transversal y lateral, dependiendo de la pendiente y el bombeo de la vía.



Figura 9. Rejilla industrial fabricada en acero. Fuente (cantalejo, s.f.).

- **Rejillas de concreto.vc**

Este tipo de rejillas están diseñadas para el drenaje de aguas pluviales. Su resistencia está determinada para el tráfico pesado y liviano, con una alta resistencia a la flexión que supera desde los 4,000 PSI hasta los 7,000 PSI.

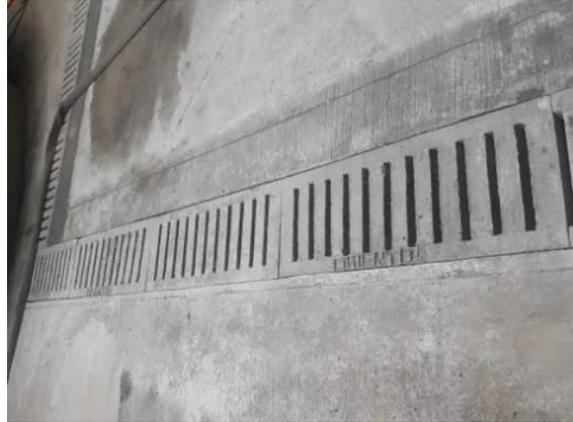


Figura 10. Rejilla de concreto Fuente. (cimientos, s.f.)

- **Concreto permeable**

El concreto poroso, también conocido como concreto permeable, es una combinación de cemento, agregado grueso, agua y aditivos, que al mezclarse sirve para fabricar pisos y pavimentos totalmente permeables. La poca presencia de agregado fino, hace que el concreto tenga una estructura porosa, permitiendo el paso del agua a través de él, y disminuyendo la acumulación superficial del agua lluvia. (TOXEMENT, 2017)



Figura 11. Concreto permeable, Fuente (TOXEMENT, 2017)

8.1.2 Registro de agua pluvial

Es el encargado de recolectar las aguas pluviales producidas por las precipitaciones, las cuales generan grandes escorrentías en la ciudad y zonas metropolitanas.

8.1.3 Drenaje

Es el sistema de tuberías, sumideros o trampas, con sus conexiones, que permite el desalojo de líquidos, generalmente pluviales, de una población.

8.1.4 Transporte

Proceso mediante el cual se conduce un caudal determinado a través de tuberías, o canales para posteriormente descargarlo a cuerpos de aguas naturales existentes. Se deben tener en cuenta variables como la velocidad, coeficiente de escorrentía, rugosidad del material y pendiente del terreno, etc.

8.2 Subsistema de suministro de energía eléctrica

Actualmente la energía eléctrica se puede generar por métodos convencionales, como centrales hidroeléctricas, termoeléctricas, o nucleares; también, se puede recurrir a los métodos alternativos que se basan en la energía renovable, como la eólica, la solar, y la mareomotriz. En este caso, el suministro de electricidad podría ser a través de la red urbana, o teniendo en cuenta que la zona es costera, se puede aprovechar la energía eólica mediante turbinas o aerogeneradores.

Como se expresó anteriormente, una de las opciones del suministro eléctrico es mediante la red urbana de Cartagena, que consistiría en realizar una conexión con la infraestructura eléctrica existente; dado que esta conexión no representa un grado importante de complejidad, en este documento no se profundizara este tema.

8.2.1 Energía eólica

Se conoce como energía eólica aquella que es generada a través del movimiento del viento; consiste en aprovechar la velocidad del viento mediante aerogeneradores, que son mecanismos con aspas conectadas a un generador eléctrico, estos dispositivos se clasifican según la posición de su eje: horizontal y vertical.

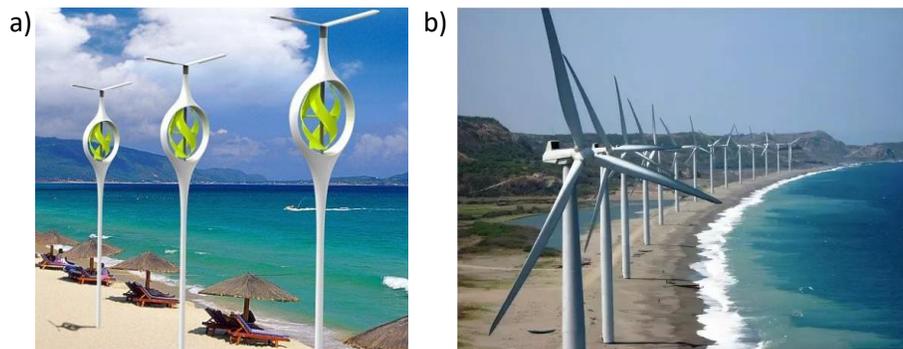


Figura 12. a) Aerogenerador de eje vertical (Baek, s.f.), b) Aerogenerador de eje horizontal Fuente (Westwood, s.f.).

8.2.2 Energía solar

La energía solar consiste en generar electricidad mediante el aprovechamiento de la radiación proveniente del sol. La generación se puede dar a través de la producción de vapor o de la transformación directa de la radiación a la electricidad, es decir, energía térmica y fotovoltaica.

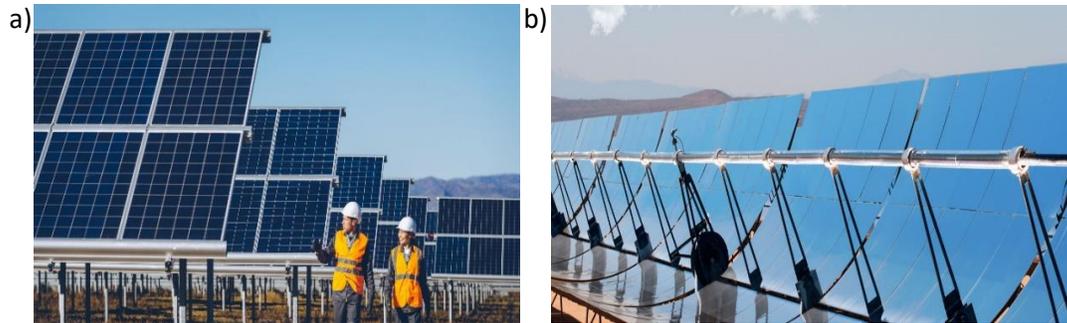


Figura 13. a) Energía fotovoltaica, (BID INVEST, 2018), b) Energía térmica, Fuente (Ethraa, s.f.)

CAPITULO III

9 DISEÑO CONCEPTUAL

Para generar soluciones a la problemática que este proyecto ha abordado, se tuvieron en cuenta variables como: caudal a drenar, precipitación y tiempo de inundación. Las características descritas anteriormente fueron parametrizadas a través del método racional y análisis estadísticos, de esta forma, se establecieron valores de diseño que permiten drenar con mayor velocidad el agua pluvial que causa inundaciones en el sector de Bocagrande.

9.1 Parámetros de diseño

9.1.1 Caudal de diseño

Para determinar el caudal máximo asociado a la lluvia de diseño, se utilizó el método racional, donde se establece que el caudal es proporcional al producto del coeficiente de escorrentía, la intensidad de la lluvia y el área.

$$Q = C * i * A$$

Ecuación 1. Método racional

Donde:

Q: Caudal máximo [m³/s].

C: Coeficiente de escorrentía.

I: Intensidad de la lluvia de Diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y con la frecuencia igual al periodo de retorno seleccionado para el diseño (Curvas IDF)[mm/h].

- **Coefficiente de escorrentía**

Según (Instituto nacional de vias Colombiano, 2009), “el coeficiente de escorrentía se define como la relación entre el volumen de escorrentía superficial (V_E), y el volumen de precipitación total, (V_P), ambos expresados en metros cúbicos (m^3)”. Este coeficiente se puede estimar a través de la siguiente tabla, o realizando un aforo de caudal; para este caso se utilizará la tabla 15.11 propuesta en el libro “Hidrología aplicada” , (Te Chow, Maintmen, & Mays, 1994).

Tabla 1.

Valores del coeficiente de escorrentía en áreas urbanas.

Características de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/ techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00

Fuente*Tomado sin permiso de la tabla 15.1.1 de (Te Chow, Maintmen, & Mays, 1994)

Teniendo en cuenta la zona delimitada del proyecto, y el periodo de retorno propuesto, el valor del coeficiente de escorrentía es de 0,92.

- **Intensidad**

Como se vio en la ecuación 1, el caudal depende de la intensidad de la lluvia, que es la cantidad de agua precipitada por unidad de tiempo. Para determinar esta variable, se estimó el tiempo de concentración por medio de la ecuación de Kirpich, *ecuación 2.1 de* (Instituto nacional de vias Colombiano, 2009); luego, se ubica este valor en las gráficas de intensidad-duración-frecuencia del aeropuerto Rafael Núñez de Cartagena, interceptándolo con la curva del tiempo de retorno equivalente a 50 años, se obtuvo un resultado de 149.71mm/h.

$$T_c = 0.06628 \left(\frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0.77}$$

Ecuación 2. Ecuación de Kirpich.

▪ **Área de la cuenca**

El área de la cuenca se determina mediante levantamientos topográficos o cartográficos; sin embargo, como este documento tiene un propósito académico, y durante su generación la zona de estudio se encontraba afectada por la pandemia del SARS-CoV-2, se utilizó el software Google Earth para estimar el área de estudio.

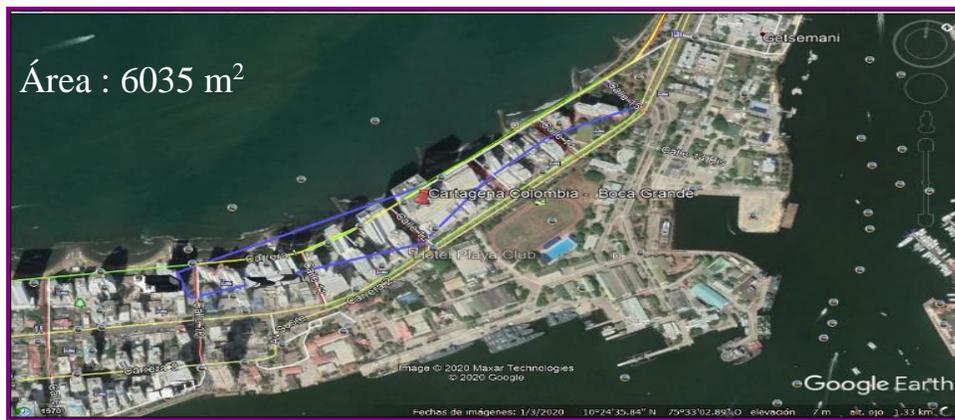


Figura 14. Área de la cuenca, Fuente tomado sin permiso de (Google, LLC, s.f.)

▪ **Caudal de diseño**

Para determinar el caudal de diseño, se realizaron cálculos independientes para cada tramo de la vía, en la siguiente tabla se observan los respectivos resultados.

Tabla 2**Caudal de diseño**

Ubicación	Longitud (m)	Ancho (m)	Área (m²)	C_{esc}	Intensidad (mm/h)	Caudal (m³/s)	Caudal (gpm)
Carrera 1 , Calle 10-11	230	5	1150	0,92	149,71	0,0440	11,62
Carrera 1 , Calle 11-12	280	5	1400	0,92	149,71	0,0536	14,15
Carrera 1 , Calle 12-13	230	5	1150	0,92	149,71	0,0440	11,62
Carrera 1 , Calle 13-14	236	5	1180	0,92	149,71	0,0451	11,93
Carrera 1 , Calle 14-15	231	5	1155	0,92	149,71	0,0442	11,67

Fuente propia

9.1.2 de Inundación

Debido a la pandemia de SARS-CoV-2, que inició en el año 2020, no fue posible realizar un estudio hidráulico de la zona para estimar el tiempo de drenaje actual; por tal motivo, se realizó una encuesta virtual a los residentes del sector, aunque estadísticamente el tamaño de la muestra no es representativo, por fines académicos se tomará el resultado como parámetro de diseño.

Tabla 3.**Tabla de frecuencia encuesta "Tiempo de inundación"**

TIEMPO DE INUNDACIÓN (h)	FRECUENCIA
0,5	2
1	3
3	2
6	29
12	1
24	45
Total	82

Fuente: Fuente propia.

Tabla 4.**Medias descriptivas de la encuesta**

DATOS	VALORES
Media	15,56 h
Mediana	24 h
Moda	24 h
Desviación estándar	9,48 h
Min	0,5 h
Max	24 h

Fuente: Fuente propia.

Como se puede observar, de acuerdo con la tabla de frecuencia y las medidas descriptivas, el dato de mayor representación es 24 horas; por tal motivo, se tomará este valor como el tiempo a optimizar. Teniendo en cuenta lo anterior, *el tiempo de drenaje establecido como parámetro de diseño es de dos horas.*

9.1.3 Duración de la lluvia

Como ultimo parámetro de diseño, es necesario estimar cuanto tiempo puede durar una lluvia torrencial en la zona de estudio. Para establecer este valor, se tomaron los registros pluviométricos del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) de la Escuela Naval de Cartagena, en los cuales, se consolidaron los datos desde el 13 de abril del 2016 hasta el 12 de mayo de 2021. Luego de analizar dicha información, se obtuvo como resultado que la duración máxima de una lluvia torrencial se puede estimar en 2 horas, tales como la muestra la tabla siguiente:

Tabla 5.

Resumen de datos meteorológicos.

Fecha	Hora	Valor de precipitación (mm/h)
8/01/2016	10:00 pm	54,1
8/01/2016	11:00 am	105,5
8/01/2016	12:00 pm	94,9

Fuente: Fuente propia.

9.2 GENERACION DE ALTERNATIVAS

Con el fin de garantizar la calidad del proyecto se ha utilizado el método QFD (**Quality Function Deployment**), donde se evaluaron los requerimientos de la población objetivo, buscando establecer las características que rigen el diseño del proyecto. Una vez establecidas las características de diseño, nos enfocamos en aquellas que tuvieron la principal correlación y ponderación dentro de la matriz.

A continuación se ilustra la metodología que se llevó a cabo:

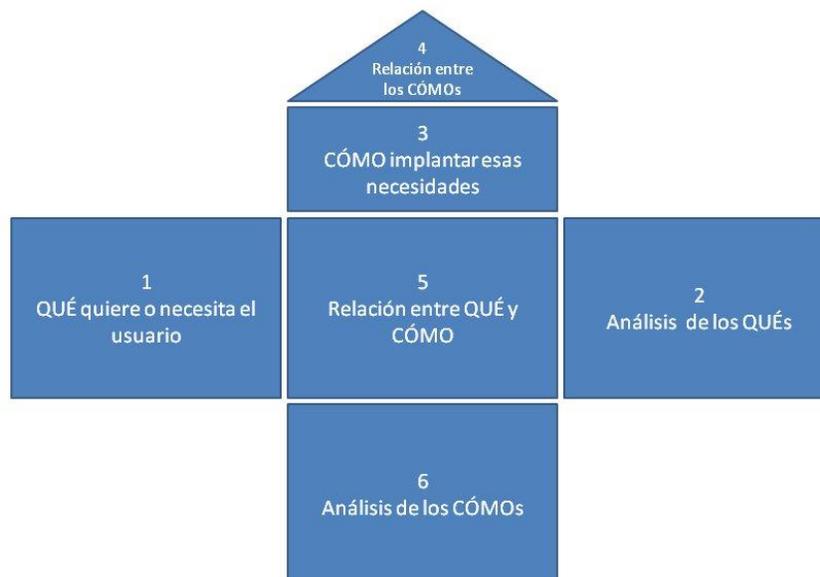


Figura 15. Metodología QFD. Fuente (Anonimo, 2015)

Por medio de la anterior metodología se establecieron los requerimientos que el proyecto debe cumplir: económico, eficiente, sostenible, duradero, rentable, innovador, solución a corto plazo, confortable y baja mantenibilidad. Para alcanzar los anteriores requisitos se definieron las siguientes características: costo del proyecto, tiempo de drenaje, consumo de energía, tipos de material para elementos de captación, reducción de pérdidas económicas directas por inundación, tecnología, tiempo de ejecución, calidad de instalación - elementos de captación, diseño

arquitectónico, frecuencia de mantenimiento, suministro de energía y costo de mantenimiento.

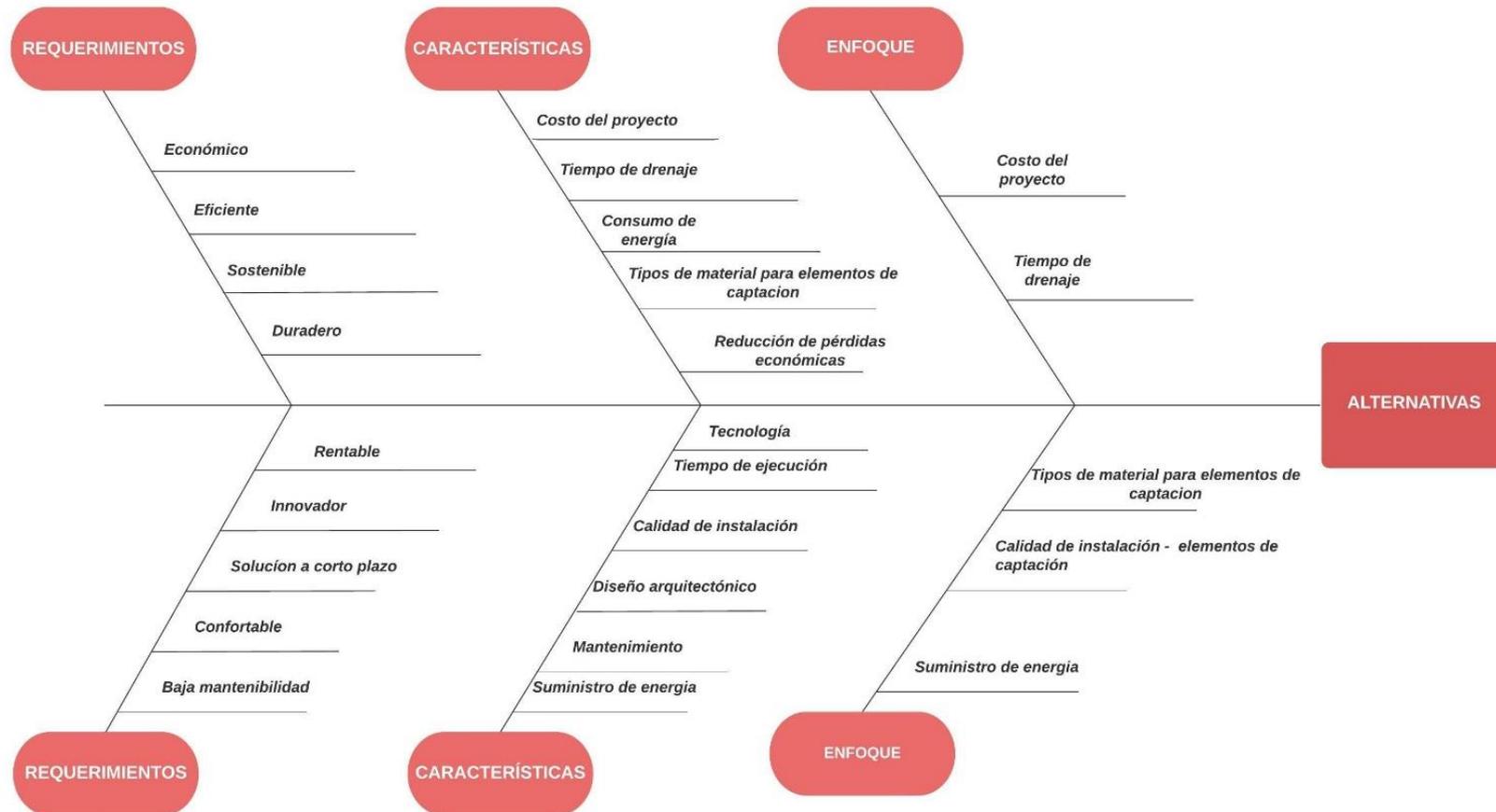


Figura 16. Diagrama de flujo- Fuente Diseño del proyecto.

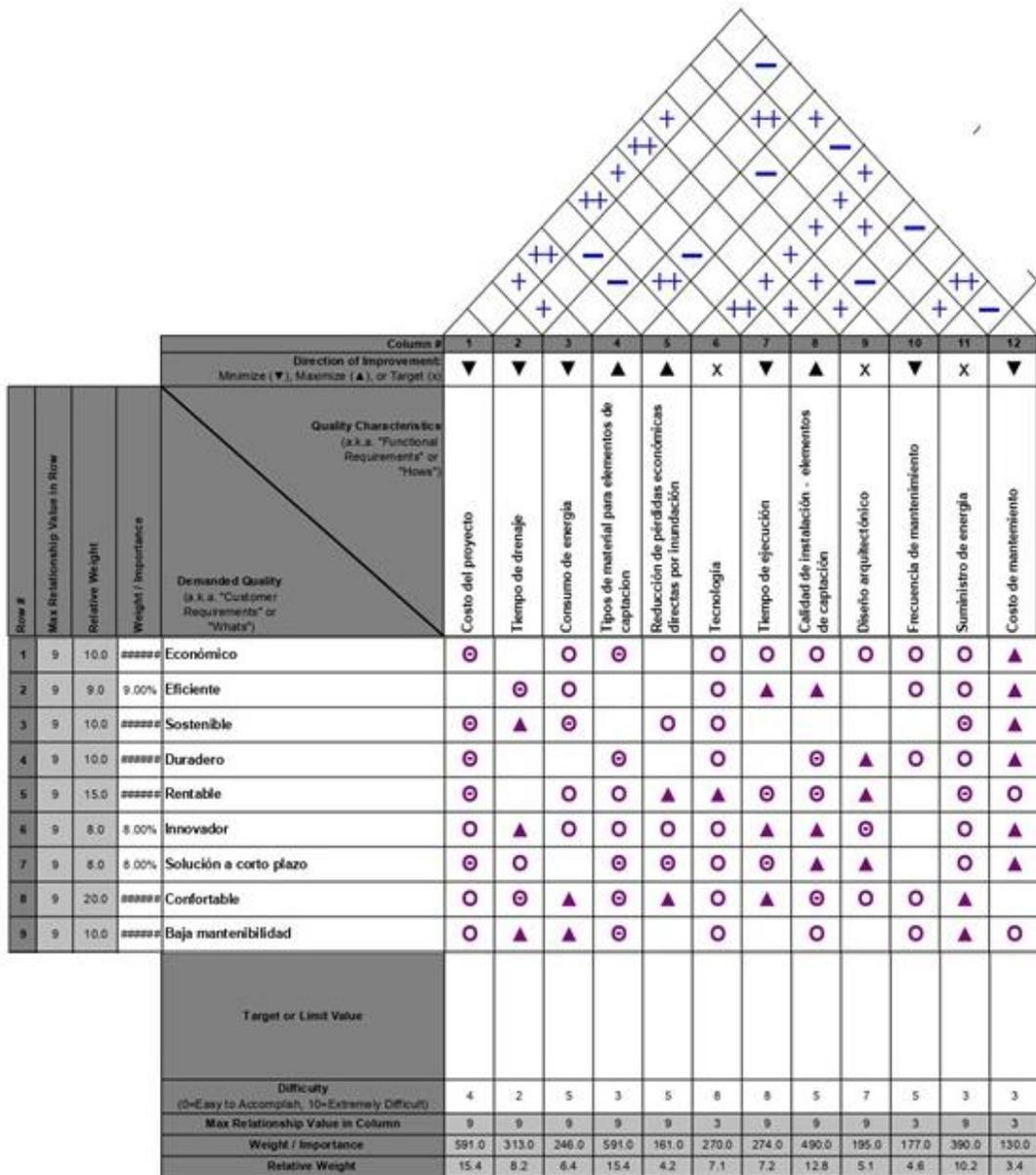


Figura 17. Matriz QFD, Plantilla Fuente tomada de (QFD Online, s.f.)

9.2.1 Alternativas de captación

▪ Captación en concreto permeable

Consiste en utilizar secciones de bordillos en concreto poroso con dimensiones de 1,5 m x 0,25 m x 0,15 m, ubicándolos en los puntos críticos de los extremos longitudinales, donde se obtendrá mayor aprovechamiento del curso del agua. Se realizó la selección del concreto teniendo en cuenta las condiciones de trabajo de la vía: tráfico pesado, exposición al salitre y la capacidad de filtración; basados en estas características y las recomendaciones del fabricante (Concretera), se determinó que el concreto debe tener una resistencia a la compresión que oscile entre 3000 - 3500 PSI, capacidad de infiltración de 198,12 GPM/m² y una vida útil de 40 años. El agua captada será almacenada en un registro colector construido en concreto reforzado, con resistencia a la compresión de 4000 PSI, elaborado con aditivos que garanticen la protección de la estructura. Posteriormente el agua será transportada por gravedad en una tubería PVC de 8 pulgadas hacia un registro principal, donde estará ubicada una bomba sumergible de 4 pulgadas, con capacidad de succión entre 561-580 GPM.

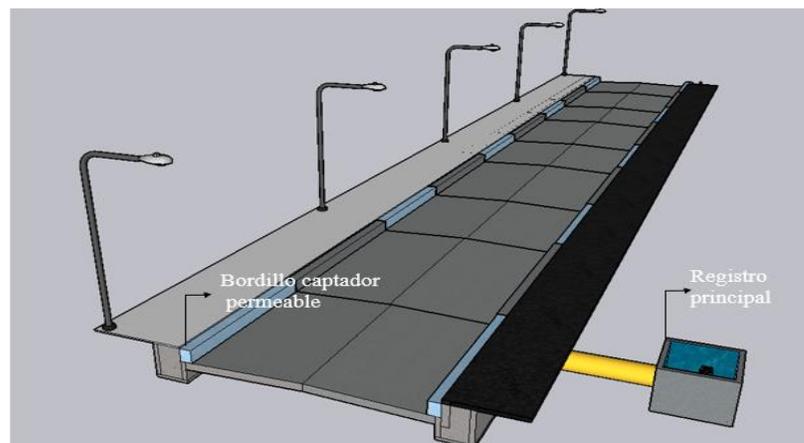


Figura 18. Captación en Concreto Poroso

▪ Captación en Rejillas Industriales.

Esta captación está basada en el uso de rejillas industriales, prefabricadas en acero de grado 60, ubicadas en forma transversal abarcando todo el ancho de la vía (6 m), y un largo de 0,50 m. Estas medidas están evaluadas teniendo en cuenta criterios como: El caudal de diseño, altura de la lámina de agua, Coeficiente de Manning, y capacidad de filtración, que en este caso, oscila entre el 70 y el 80 %. La utilización de rejilla en esta forma implica un canal interno elaborado en concreto reforzado de 4000 psi, ya que agentes como, el vehículo pesado y las grandes presiones del agua, requieren de una mayor resistencia en la estructura. Dicho canal está diseñado para el almacenamiento del agua, conectado a una tubería que transporta el agua captada a un registro colector.



Figura 19. Vista en planta para Rejilla de captación. Fuente: Origen propio

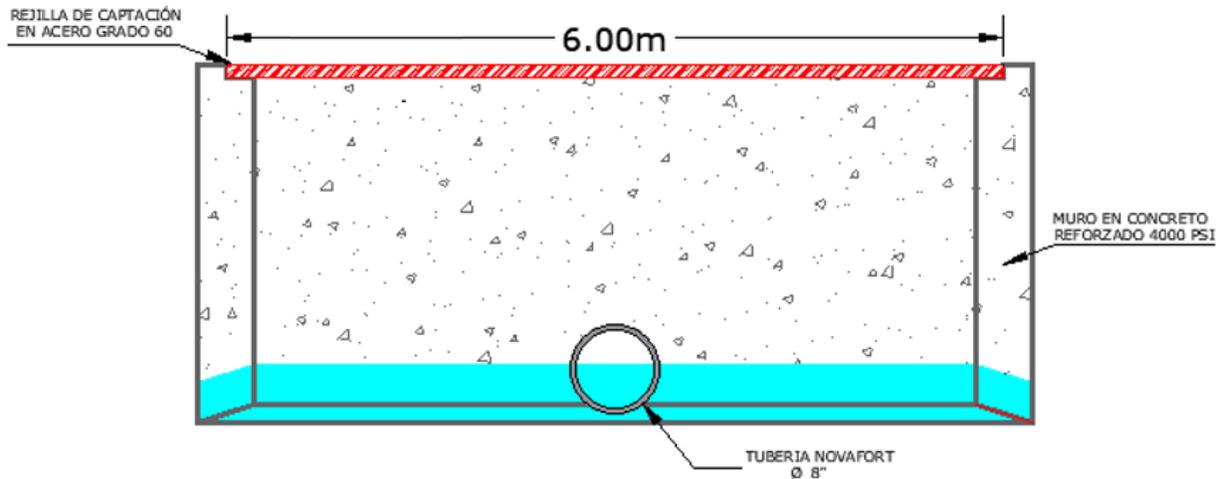


Figura 20. Esquema del sistema de captación por medio de rejillas: Capacidad hidráulica 70%. Fuente: Fuente propia.

- **Captación integrada.**

Esta captación consiste en integrar los dos métodos de captación mencionados anteriormente (Concreto Poroso, Rejillas). Con el objetivo de aprovechar la topografía del lugar, y así ubicar cada una de las captaciones en zonas donde tengan un mayor rendimiento de filtración.

Para una mayor eficiencia en este método, se propone complementar con **cárcamos** el sistema.

9.2.2 Alternativas de bombeo

- **Sistema de bombeo en serie**

Este sistema consiste en conectar sucesivamente los registros colectores por medio de una tubería Novafort, desde el dispositivo de entrada hasta la descarga final. En este proyecto están involucradas 6 calles. Donde se puede conducir el agua desde los dos extremos

hasta el centro de las mismas, es decir, este centro como foco principal de drenaje donde están ubicadas las bombas que succionan el agua hacia el mar.

- **Sistema de bombeo independiente por cada calle**

El mecanismo de transporte es el mismo al anterior, con la diferencia que las bombas están ubicadas al final de cada calle, es decir, que existen 6 puntos de evacuación independientes hacia el mar. En el caso de las captaciones en rejillas industriales, es más útil, ya que a partir de estas, el curso del agua va directo al registro final ubicado en la misma calle. Esto implica un registro colector de mayores dimensiones con una mejor capacidad de almacenamiento.

En la alternativa de las captaciones en concreto poroso, cada una de estas contiene su registro colector, como lo hemos mencionado. Estos también tienen su punto de descarga al final de la calle correspondiente a su ubicación.

10 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

Después de analizar las alternativas de diseño para cada subsistema, por medio de una matriz QFD, se evaluaron los requerimientos y características más importantes que influyen en la decisión: costo del proyecto, tiempo de drenaje, suministro de energía y calidad de instalación de los elementos de captación. Se determinó que la alternativa que mejor cumple con dichos parámetros, es la captación en Concreto poroso, tal y como lo muestra la Figura 19.

Utilizando el mismo método de evaluación con el sistema de bombeo, se determinó que el sistema de drenaje independiente para cada calle ofrece una mayor eficiencia

11 DISEÑO FINAL

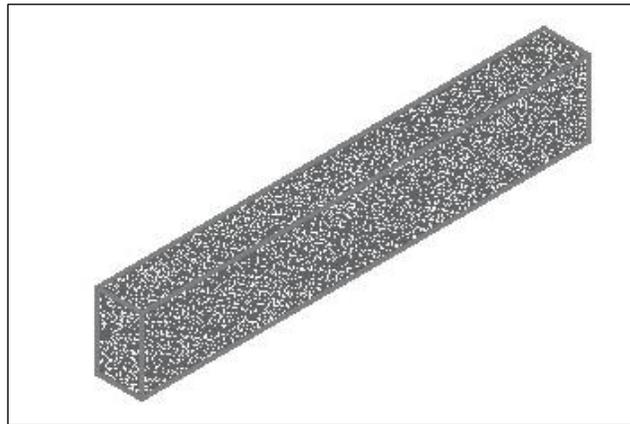


Figura 21. Bordillo en concreto poroso, Vista en 3D (1,5 m x 0,25 m x 0,15 m). Fuente: propia



Figura 22. Bordillo en concreto poroso, vista frontal. Fuente: propia

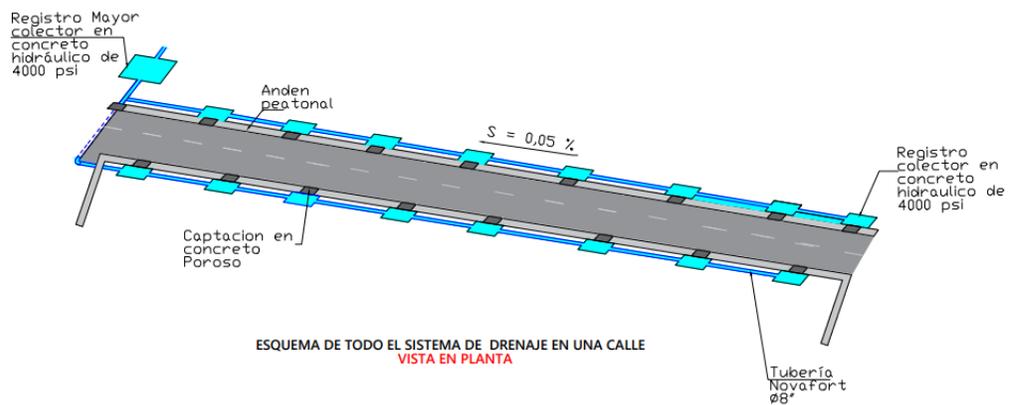


Figura 23. Esquema modelo del sistema de drenaje para una calle. Fuente: propia

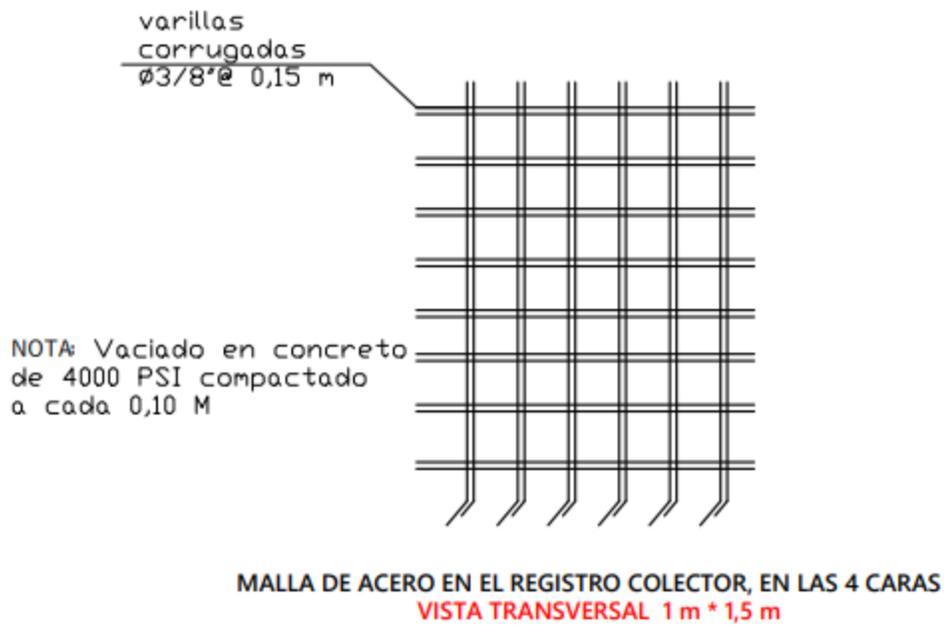


Figura 24. Acero de refuerzo para registro colector. Fuente: propia



11.1 Diseño de Sistema de Drenaje

La siguiente Figura muestra el esquema de la red de drenajes diseñada en el proyecto, prototipo de los bordillos en concreto permeable de (color azul), intercalados para obtener mayor eficiencia al drenar.

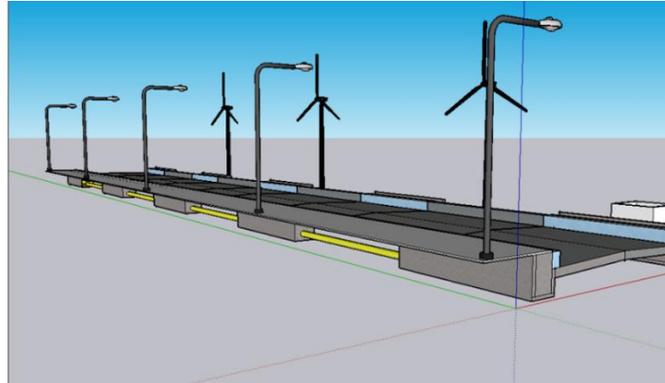


Figura 25. Vista lateral *Fuente: Propia*

En la anterior Figura también se puede apreciar la tubería Novafort de 8 pulgadas, encargada de recibir el agua proveniente de los registros colectores para conducirla a los registros de las bombas.

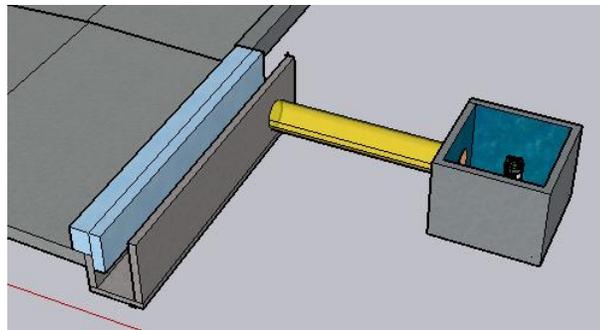


Figura 26. Registro colector y registro principal *Fuente: Propia*

Registro final, conectado por medio de una tubería donde confluyen todos los caudales provenientes de los registros colectores. Este registro último contiene una bomba sumergible de 4 pulgadas capaz de succionar 561 galones por minuto.

Conclusiones

El presente proyecto tuvo como objetivo minimizar en un 80 % las inundaciones ocasionadas por lluvias y altas mareas en Bocagrande, específicamente sobre la carrera 1, entre la calle 10 y la calle 15.

Luego de haber realizado el análisis hidrológico y el diseño hidráulico para el drenaje del proyecto, se puede concluir lo siguiente:

Se logró realizar la estimación de los caudales hidrológicos máximos probables de cada una de las estructuras propuestas en el proyecto, con los cuales se realizaron los cálculos hidráulicos requeridos para definir las acciones de las estructuras.

Se definió la sección del bordillo en concreto permeable, con diámetro de 1,5 m x 0,25 m x 0,15 m; para garantizar la filtración del agua por este tipo de estructura. Como resultado de los cálculos hidráulicos se definieron 16 bordillos repartidos equitativamente por cada calle, proponiendo un bombeo en el pavimento del 2 % y pendientes del 5% para encausar el agua hacia el final de cada sección.

Se determino el diseño de las captaciones en concreto poroso ya que este es un material que responde eficientemente a la filtración del caudal estimado en el análisis hidrológico. Por su resistencia a la compresión (3500 PSI), y la resistencia química a la salinidad; teniendo en cuenta las condiciones del lugar.

Teniendo en cuenta la proyección financiera del consumo eléctrico, se determinó que la opción con mayor viabilidad es la utilización de energías renovables , dado que en un periodo de 20

años se obtendrá un ahorro económico de energía avaluado en un 30 % en comparación con el suministro de la red de energía convencional.

12 ANEXOS

12.1 Resultados de encuesta

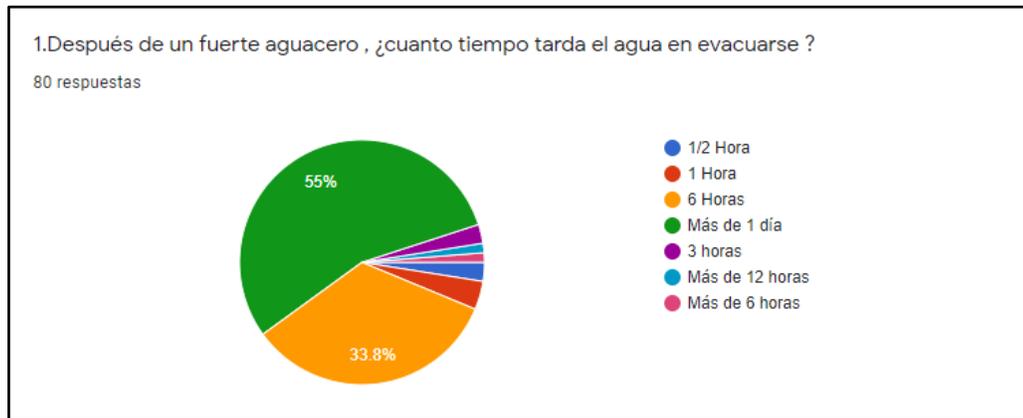


Figura 27. Tiempo que tarda el agua en evacuarse después de un fuerte aguacero *Fuente:* Propia

Observando los resultados de la anterior gráfica, el porcentaje de personas encuestadas nos ilustra y nos comprueba la situación de caos en cuanto al tiempo de drenaje de aguas en el sector estudiado. Mostrando un porcentaje de 55% para la evacuación en 1 día y como segundo resultado en 6 horas; tiempos que son considerables para generar un prolongado caos peatonal y vehicular.

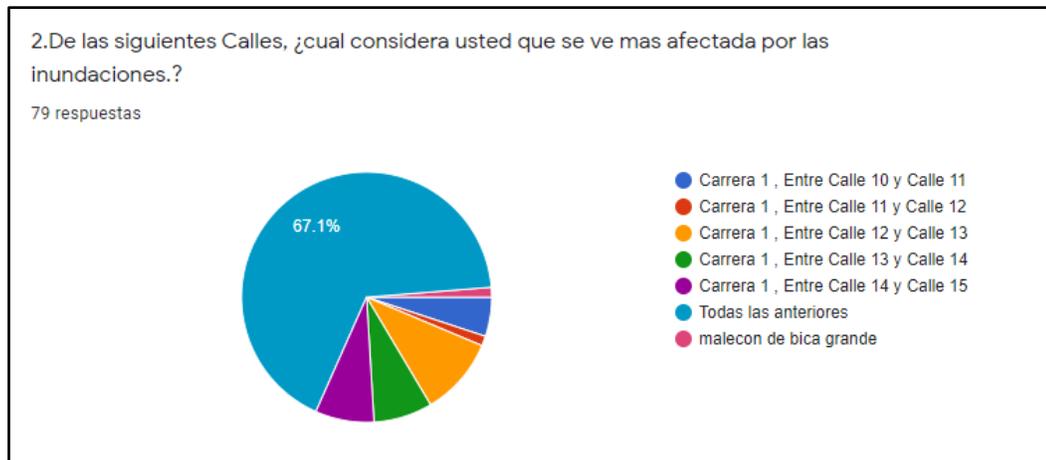


Figura 28. Calles que se ven más afectadas con las inundaciones *Fuente:* Propia

Si bien, las encuestas no son del todo verídicas, no obstante, de la anterior grafica se deduce que los resultados no están tan lejos de la realidad en épocas de inundaciones, esta tendencia coincide con lo expuesto por julio castaño (EL UNIVERSAL, 13 de febrero del 2019); por ser una calle bastante estrecha, es más acumulativo el caudal de inundación que en ella se presenta.

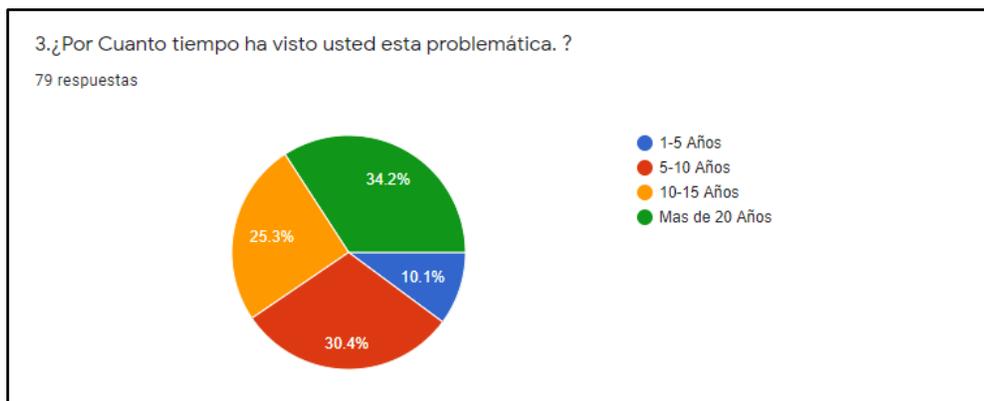


Figura 29. Tiempo de la problemática **6** *Fuente:* Propia

Teniendo en cuenta que la población encuestada oscila entre los 18 a 63 años, y habiendo un porcentaje mayor de población joven de 25 a 30 años, podemos afirmar que es una situación que

⁶ Elaboración propia. Google Drive

ha perdurado por más de 20 años. En este orden de ideas no se desmeritarían los anteriores proyectos en pro a la solución, por el contrario, estos han tenido unos periodos de retorno muy cortos en relación con el cambio climático en el planeta, generando imprevistos en la repercusión de las mareas y precipitaciones.

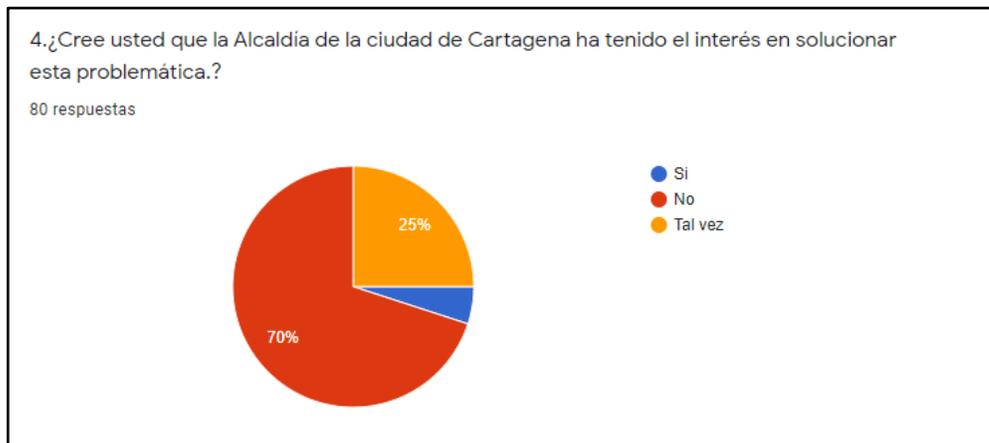


Figura 30. Interés que tiene la alcaldía de Cartagena en solucionar la problemática⁷ Fuente: Propia

El escepticismo es bastante porcentual en cuanto al autoridades que están en frente a esta problemática, pero cabe recordar que estamos mencionando un lugar turístico, donde la valoración de las propiedades cercanas juega un papel importante en materia de impuestos. En otras palabras, los sistemas de drenaje hasta ahora no han respondido ante la categoría del lugar.

⁷ Elaboración propia. Google Drive

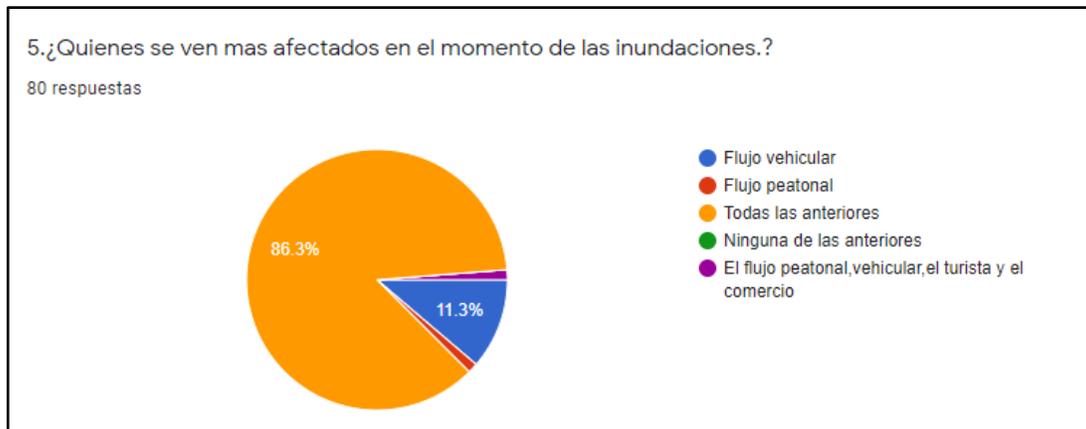


Figura 31. Afectados por las inundaciones. Fuente: Propia

Si en una parte de la ciudad se altera el flujo peatonal y vehicular, puede existir la posibilidad que zonas aledañas también sean afectadas, por el efecto dominó.

12.2 Ficha técnica de Concreto Poroso

Tabla 6.

Ficha técnica de concreto poroso

FICHA TÉCNICA DE CONCRETO POROSO			
CAPACIDAD DE ABSORCION	RESISTENCIA A LA COMPRESION	VIDA UTIL	TIPO DE CEMENTO
750 lt/m ² /Min	3000-3500 Psi	40 Años	Alta resistencia a los sulfatos

Fuente: Fuente: Fuente propia..

12.3 Ficha técnica del Aerogenerador

Tabla 7.

Ficha técnica aerogenerador

	Tipo de valores
Potencia	70 KW
configuración tres fases	500 V transmisión directa
Configuración	3 palas eje horizontal sotavento
Potencia nominal	60 KW
Velocidad nominal de rotación	60 pm

(Enair, s.f.)

12.4 Ficha técnica de la Bomba Sumergible

Tabla 8

Ficha técnica bomba sumergible

Características	Tipo de valores
Conexión de descarga	4" ANSI 125
Altura	17 m
Caudal Max	660 GPM
Caudal medio	400 GPM
Altura media	10 m
Motor	Trifásico
Potencia	7,5 HP
Voltaje	220-440 V
Velocidad	1750 RPM

(Gómez, s.f.)

12.5 Presupuesto

Tabla 9.

Presupuesto del proyecto

ITEM	ACTIVIDADES	UND	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
1	PRELIMINARES				\$ 56.164.968,83
1,1	Trazado y Replanteo	M2	7430	\$ 3.807,59	\$ 28.290.378,32
1,2	Alquiler de contenedor y baños portátiles	MESES	5	\$ 3.040.200,00	\$ 15.201.000,00
1,3	Construcción de campamento, y almacen de obra.	GL	1	\$ 4.536.009,00	\$ 4.536.009,00
1,4	Cinta Demarcadora con soportes para protección de seguridad	ML	3400	\$ 1.869,39	\$ 6.355.936,52
1,5	Valla Movil tipo 4	UND	5	\$ 356.329,00	\$ 1.781.645,00
2	ESTRUCTURAS				\$ 101.861.930,60
2,1	Excavación manual en material común a cualquier profundidad y bajo cualquier condición de humedad (incluye retiro a lugar autorizado)	M3	1100	\$ 64.931,97	\$ 71.425.162,01
2,2	Relleno de Zanja y obras de mampostería con Material Seleccionado del Sitio al 95% del P.M.	M3	518	\$ 29.992,32	\$ 15.536.022,95
2,3	Relleno de Zanja y obras de mampostería con Material Seleccionado de Cantera Tipo 2 0 3 al 95% del P.M.	M3	220	\$ 67.730,66	\$ 14.900.745,64
3	CONCRETO PAVIMENTO				\$ 240.655.261,00
3,1	Concreto para reposición de Pavimento e=0,20 MR 42 acelerado a 3	M3	220	\$ 744.396,79	\$ 163.767.294,15

	días				
	Construcción de bordillo en concreto poroso con resistencia de 3500psi x 1 ml de largo (según especificaciones técnicas)	ML	1200	\$ 45.389,00	\$ 54.466.800,00
3,2	Subase granular para soporte de Pavimento	M3	220	\$ 101.914,39	\$ 22.421.166,84
4	INSTALACIÓN DE TUBERIA				\$ 144.474.540,21
4,1	Suministro e instalación de tubería Novafort de 8"	ML	2200	\$ 65.670,25	\$ 144.474.540,21
5	OBRAS ADICIONALES				\$ 242.746.786,71
5,1	Perfilada de pavimento	ML	2200	\$ 16.670,73	\$ 36.675.604,41
5,2	Demolición de Pavimento	M2	220	\$ 66.415,90	\$ 14.611.497,21
5,3	Empalme de tuberías Novafort desde 160mm hasta 300mm a estructuras existentes	UND	80	\$ 58.326,56	\$ 4.666.125,04
5,4	Construcción de Manhole en Concreto de 4000 PSI de baja permeabilidad 1,0<H<1,5 (Este se Construirá según las especificaciones de la A.A.A)	UND	80	\$ 2.334.919,50	\$ 186.793.560,05
5	SISTEMA DE BOMBAS EOLICAMECANICAS				\$ 318.843.008,00
	AEROGENERADORES DE 20 KW/DIA	UND	6	\$ 35.151.168,00	\$ 210.907.008
	TRANSFORMADORES DE ENERGIA , TRIFASICOS DE 500 V A 220 V	UND	2	\$ 5.350.000,00	\$ 10.700.000

5,1	SISTEMA DE BOMBAS EOLICAMECANICAS	UND	12	\$ 8.103.000,00	\$ 97.236.000
TOTAL					\$ 1.104.746.495
		Administración		14%	\$ 154.664.509,35
		Imprevisto		6%	\$ 66.284.789,72
		Utilidad		7%	\$ 77.332.254,67
		IVA a la Utilidad		19%	\$ 14.693.128,39
TOTAL					\$ 1.417.721.177

Fuente: Fuente propia.

13 Lista De Referencias

- Brakel, L., Keyzer, L., Hasper, Y., Martijn, L., Willemse, J., & van der Stap, E. (11 de Abril de 2017). *A study on reducing flood risk in Cartagena de Indias*. Obtenido de Cartagena, it's now or never:
<file:///C:/Users/Usuario/Desktop/Cartagena%20it's%20now%20or%20never%20-%20A%20study%20on%20reducing%20flood%20risk%20in%20Cartagena%20de%20I%20ndias%20Colombia.pdf>
- Anonimo. (7 de 2 de 2015). *Saber que ocupa un lugar...* Obtenido de Despliegue de la función calidad (QFD): Guía de uso. Para qué sirve el QFD y cómo realizarlo: <http://asierares.blogspot.com/2015/02/despliegue-de-la-funcion-calidad-qfd.html>
- Baek, W. (s.f.). *Beach lamp wind energy powered*. Obtenido de Pinterest:
<https://www.pinterest.cl/pin/484911084857533116/>
- BID INVEST. (27 de 07 de 2018). *Energía solar: La revolución que impulsa el desarrollo de Honduras*. Obtenido de BID INVEST: <https://idbinvest.org/es/blog/energia/energia-solar-la-revolucion-que-impulsa-el-desarrollo-de-honduras>
- cantalejo, C. (s.f.). *Rejilla de hierro para desagüe*. Obtenido de Cerrajería Cantalejo-Pinterest:
<https://co.pinterest.com/pin/464011567841736325/>
- Castro Fresno, D., Rodríguez Bayon, J., Rodríguez Hernández, J., & Ballester Muñoz, F. (2005). Sistemas urbanos de drenaje sostenible (Suds). *INTERCIENCIA*, vol 30, n.5 ISSN 0378-1844, 255-260.
- cimientos, P. d. (s.f.). *Rejillas de concreto*. Obtenido de Prefabricado cimientos:
<https://cimientos.com.gt/rejilla-de-concreto>
- Ethraa. (s.f.). *Energía solar térmica: aplicaciones y ventajas*. Obtenido de Ethraa:
<https://www.ethraa-a.com/solar-thermal-energy-applications-advantages/>
- Google, LLC. (s.f.). *Google Earth Pro*. Obtenido de Google Earth Pro:
https://earth.google.com/web/@10.40875809,-75.55100781,4666.57513791a,0d,35y,344.5164h,0t,0r?utm_source=earth7&utm_campaign=vine&hl=es
- HidraSoftware. (s.f.). *Tipos de Sumideros para la Captación de Agua de Lluvia disponibles en DREN-URBA*. Obtenido de HidraSoftware: <https://www.hidrasoftware.com/tipos-de-sumideros-para-la-captacion-de-agua-de-lluvia-disponibles-en-dren-urba/>

Instituto nacional de vias Colombiano. (2009). *Manual de drenaje para carretera* . Bogotá, Colombia: Consultor consorcio alfa.

Lux Cardona, B. (2016). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*.

Obtenido de Maestría en Energía y Ambiente :

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20Morfometr%C3%ADa%20de%20Cuencas%20Hidrogr%C3%A1ficas.pdf>

QFD Online. (s.f.). *Free QFD Templates*. Obtenido de QFD Online:

<http://www.qfdonline.com/templates/>

S.R.O., T. (s.f.). *Sygyic Travel* . Obtenido de Cartagena: Mapa turístico para imprimir:

<https://travel.sygyic.com/es/map/cartagena-mapa-turistico-para-imprimir-city:2496>

Te Chow, V., Maintmen, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrologia Aplicada*. Bogotá, Colombia: McGRAW-HILL, Inc.

TOXEMENT. (2017). *Concreto poroso o concreto permeable*. Obtenido de Toxement:

https://www.toxement.com.co/media/3812/concreto_poroso.pdf

Westwood, M. (s.f.). *Why aren't there wind turbines on consistently windy seashores?* Obtenido

de QUORA: <https://www.quora.com/Why-arent-there-wind-turbines-on-consistently-windy-seashores>

WIKIMEDIA COMMONS. (15 de 11 de 2011). *WIKIMEDIA COMMONS*. Obtenido de

Archivo: Bolivar en Colombia (continente) .svg:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bolivar_in_Colombia_\(mainland\).svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bolivar_in_Colombia_(mainland).svg)

WIKIMEDIA COMMONS. (1 de 8 de 2015). *WIKIMEDIA COMMONS*. Obtenido de Archivo:

Mapa de ubicación de Colombia Bolívar (+ mapa de localización) .svg:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_Bol%C3%ADvar_location_map_\(%2Blocator_map\).svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_Bol%C3%ADvar_location_map_(%2Blocator_map).svg)