UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON
SEDE SAN CARLOS
FALCULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE UNA MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO AÑADIENDO RESIDUOS DE APARATOS ELECTRÓNICOS TRITURADOS, QUE CUMPLA CON LA RESISTENCIA NECESARIA PARA LA ELABORACIÓN DE ADOQUINES DE UN TAMAÑO DE 6X10X20 CENTÍMETROS.

TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

ANDREA SALAS SEQUEIRA

VALERIA UGALDE ACUÑA

ING. LUIS GUILLERMO LORÍA SALAZAR M.Sc. Ph. D

ENERO, 2024

Tribunal examinador	**Firmas**
Presidenta: Laura Prendas Castillo	_____
Tutor: Ing. Luis Guillermo Loría Salazar	_____
Lector: Ing. Rafael Ernesto Villegas Villegas	_____

Universidad Isaac Newton
Escuela de ingeniería Civil
Ingeniería Civil

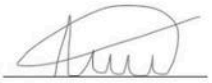
Declaración jurada

Yo Andrea Isabel Salas Sequeira cédula de identidad N.º [redacted] estudiante de la carrera ingeniería civil de la Universidad Isaac Newton, declaro bajo fe de juramento y conscientes de las responsabilidades de los civiles y penales de este acto, que este Trabajo Final de Investigación es de mi autoría y es presentado con la finalidad de obtener el grado de licenciatura en ingeniería civil y tiene como título "Diseño de una mezcla de concreto hidráulico añadiendo residuos de aparatos electrónicos triturados, que cumplan con la resistencia necesaria para la elaboración de adoquines de un tamaño de 6x10x20 centímetros".

Declaro que en él no se han reproducido informaciones parciales o totales de otros autores, como si fueran de mi propia autoría, por el contrario, se han destacado en el uso de citas textuales las informaciones de otros autores, consignando su origen. Debido a lo anterior, libero a la Universidad Isaac Newton de cualquier responsabilidad en caso de que la declaración sea falsa.

Además, por este medio, autorizo la consulta de esta investigación para fines académicos por parte de la comunidad de usuarios de la Biblioteca de la Universidad Isaac Newton, bajo las modalidades de préstamo interno y a domicilio, así como su inclusión en repositorios o bases de datos digitales que la Universidad considere oportunas.

Entregado en las oficinas de la Dirección Administrativa de la Universidad Isaac Newton ubicada en San Carlos, a los 8 días del mes de enero del 2024

Firma 

Nombre: Andrea Salas Sequeira

Cédula: [redacted]

Universidad Isaac Newton
Escuela de ingeniería Civil
Ingeniería Civil

Declaración jurada

Yo Stephanie Valeria Ugalde Acuña cédula de identidad N.º [redacted] estudiante de la carrera ingeniería civil de la Universidad Isaac Newton, declaro bajo fe de juramento y conscientes de las responsabilidades de los civiles y penales de este acto, que este Trabajo Final de Investigación es de mi autoría y es presentado con la finalidad de obtener el grado de licenciatura en ingeniería civil y tiene como título "Diseño de una mezcla de concreto hidráulico añadiendo residuos de aparatos electrónicos triturados, que cumplan con la resistencia necesaria para la elaboración de adoquines de un tamaño de 6x10x20 centímetros".

Declaro que en él no se han reproducido informaciones parciales o totales de otros autores, como si fueran de mi propia autoría, por el contrario, se han destacado en el uso de citas textuales las informaciones de otros autores, consignando su origen. Debido a lo anterior, libero a la Universidad Isaac Newton de cualquier responsabilidad en caso de que la declaración sea falsa.

Además, por este medio, autorizo la consulta de esta investigación para fines académicos por parte de la comunidad de usuarios de la Biblioteca de la Universidad Isaac Newton, bajo las modalidades de préstamo interno y a domicilio, así como su inclusión en repositorios o bases de datos digitales que la Universidad considere oportunas.

Entregado en las oficinas de la Dirección Administrativa de la Universidad Isaac Newton ubicada en San Carlos, a los 8 días del mes de enero del 2024

Firma 

Nombre: Stephanie Valeria Ugalde Acuña

Cédula: [redacted]

Dedicatoria

A Dios, mi madre y mi querida familia:

Con todo mi amor y gratitud, dedico esta tesis a ustedes, que han sido mi apoyo constante en este largo camino. Gracias por su paciencia, comprensión y amor incondicional. Sin su apoyo, no habría sido posible completar este logro. Agradezco a Dios por guiarme y darme la fuerza para superar todos los obstáculos. Esta tesis es un testimonio de mi esfuerzo, pero también es un reflejo del amor y la dedicación que ustedes me han brindado. ¡Gracias por ser mi inspiración y mi luz en este viaje académico!

Con todo mi cariño, Stephanie Valeria Ugalde Acuña.

A mi núcleo familiar, Noelia Salas y Belén Álvarez:

Con todo mi amor y cariño, les dedico mi último esfuerzo para lograr graduarme como ingeniera civil, gracias a ustedes no me rendí y pude seguir a pesar de muchos obstáculos, siempre tuvieron las palabras correctas en los momentos correctos, me acompañaron en cada proceso, en cada caída y me ayudaron a seguir adelante. A mi mamá que es mi ángel en la tierra, que nunca me dejó sola y siempre me ha apoyado en todo, a mi papá que siempre me ha apoyado para poder terminar la universidad, por más limitaciones que hayamos tenido, a mi hermana, que siempre me ha ayudado y es mi ejemplo a seguir como profesional, a mis dos mejores amigas, que siempre que las necesito están para brindarme sus palabras de ánimo y amor.

Andrea Salas Sequeira.

Agradecimiento

Somos conscientes de la limitación al momento de plasmar nuestro agradecimiento, ya que la tesis completa no nos permitiría poder agradecer a todos los que de una u otra manera se han involucrado en todo este proceso universitario.

Primeramente, agradecemos a Dios por habernos acompañado, ayudado e inspirado en cada paso de esta investigación y de la carrera.

Agradecemos a la empresa SOLIRSA SA, por la increíble labor que realizan de gestión integral de los residuos en el país, además, por haber contribuido a esta investigación, brindando el plástico triturado necesario para la parte práctica del proyecto.

A la empresa Bloquera San Carlos, agradecemos que nos hayan prestado su espacio, instalaciones e instrumentos necesarios para la creación de los adoquines presentes en el proyecto.

Al profesor Dr. Alonzo Álvarez Vega, por ayudarnos en la redacción y formato del primer capítulo de esta investigación, y crear una base bien elaborada para continuar con los demás capítulos.

Al profesor tutor Dr. Luis Guillermo Loría Salazar, por la ayuda brindada a lo largo de los meses y por permitirnos utilizar su laboratorio Mat-Tech para lograr concluir la tesis.

Carta del tutor

San José 8 de enero del 2024.

Señores
Universidad Isaac Newton

Presente

Estimados señores:

En mi calidad de tutor (a) designado (a) a la Tesis elaborada el (la) estudiante Andrea Salas Sequeira y Stephanie Ugalde Acuña, titulada Diseño de una mezcla de concreto hidráulico añadiendo residuos de aparatos electrónicos triturados, que cumplan con la resistencia necesaria para la elaboración de adoquines de un tamaño de 6x10x20 centímetros, *durante el período 2024*, al respecto hago de su conocimiento que doy mi aprobación para que este Trabajo Final de Graduación, sea desarrollado y presentado ante la Universidad Isaac Newton, contando con los lineamientos establecidos por esta reconocida Universidad.

Agradezco la oportunidad brindada para poder desarrollar junto este estudiante este trabajo que enriquecerá la estructura institucional de esta dependencia.

Sin más por el momento me despido cordialmente,

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar M.Sc. Ph. D

Tutor (a) de Tesis
Docente de la Universidad Isaac Newton

Carta del lector

San José 8 de enero del 2024

Señores
Universidad Isaac Newton

Presente

Estimados señores:

En mi calidad de Lector (a) designado (a) a la Tesis elaborada el (la) estudiante Andrea Salas Sequeira, titulada Diseño de una mezcla de concreto hidráulico añadiendo residuos de aparatos electrónicos triturados, que cumplan con la resistencia necesaria para la elaboración de adoquines de un tamaño de 6x10x20 centímetros*, durante el período 2024*, al respecto hago de su conocimiento que doy mi aprobación para que este Trabajo Final de Graduación, sea desarrollado y presentado ante la Universidad Isaac Newton, contando con los lineamientos establecidos por esta reconocida Universidad.

Agradezco la oportunidad brindada para poder desarrollar junto este estudiante este trabajo que enriquecerá la estructura institucional de esta dependencia.

Sin más por el momento me despido cordialmente,

Ing. Rafael Ernesto Villegas Villegas

Lector (a) de Tesis
Docente de la Universidad Isaac Newton

Tabla de contenidos

Declaración jurada iii
Declaración jurada iv
Carta del tutor vii
Carta del lector viii
Capítulo 1: Introducción 1
1.1 Planteamiento del problema de investigación 1
1.1.1 Contexto 1
1.1.2 Justificación 3
1.1.3 Problema de investigación 4
1.1.4 Estado del arte 7
1.2 Objetivos de la investigación 12
1.2.1 Objetivo general 12
1.2.2 Objetivos específicos 12
1.3 Las variables y categorías de análisis 13
1.3.1 Las variables 13
1.3.2 Categorías de análisis 13
1.3.3 Matriz Cuantitativa 14
1.3.4 Matriz Cualitativa 16
1.4 Alcances 17
1.5 Formulación de la hipótesis de la investigación 17
Capítulo 2: Marco teórico 20
2.1 Estado del conocimiento 20
2.1.1 Concreto hidráulico 20
2.1.1.1 Definición 20
2.1.2 Materiales para la elaboración del concreto 21
2.1.2.1 Cemento 21
2.1.2.2 Agua 25
2.1.2.3 Agregados pétreos 28
2.1.2.4 Aditivos 28
2.1.3 Materiales inusuales que pueden usarse en el concreto 30
2.1.3.1 Puzolanas 30
2.1.3.2 Plástico “E waste” 31

2.1.4 Propiedades del concreto 33
2.1.4.1 Concreto fresco 33
2.1.4.2 Concreto endurecido 35
2.1.5 Resistencia del concreto 39
2.1.5.1 Resistencia a la compresión 39
2.1.5.3 Resistencia a la tracción 40
2.1.5.4 Resistencia a la flexión 40
2.1.6 Durabilidad del concreto 41
2.1.7 Control de calidad del concreto 47
2.1.7.1 Clases de ensayos 47
2.1.8 Diseño de mezcla del concreto 55
2.1.8.1 Método del A.C.I. 211 55
2.1.9 Centros de acopio 60
2.1.9.1 Importancia del reciclaje de aparatos electrónicos 60
2.1.10 Adoquines 62
2.1.10.1 Tipos de adoquines 63
2.1.10.2 Fabricación de un adoquín 64
2.1.10.3 Usos del adoquín 65
2.1.10.4 Especificación de resistencia de adoquín de Costa Rica 67
2.1.10.5 Propiedades físico – mecánicas de un adoquín. 68
2.1.10.5.1 Propiedades físicas 69
2.1.10.5.2 Propiedades mecánicas 69
2.1.10.5.3 Trabajabilidad y consistencia 71
2.1.10.5.4 Permeabilidad 71
2.1.10.6 Colocación de los adoquines 73
2.2 Estado de la cuestión 75
2.2.1 La revolución industrial y la construcción 79
2.2.2 Origen y evolución del uso del plástico 80
2.2.2.1 ¿Cómo ha evolucionado el uso del plástico? 80
2.2.3 Centros de acopio 81
2.2.4 Reciclaje de aparatos electrónicos 82
2.2.5 Plástico reciclado en la industria de la construcción 84
2.3 Marco legal 84
2.3.1 Tratamiento de desechos electrónicos en Costa Rica 84

Capítulo 3: Marco metodológico 87
3.1. Tipo de investigación 87
3.1.1 Naturaleza de la investigación: cualitativa, cuantitativa o mixta 87
3.1.1.1 Ventajas del enfoque mixto 87
3.1.1.2 Desventajas del enfoque mixto 88
3.1.2 Carácter de la investigación: descriptivo, explicativo, inferencial u otros 88
3.2 Sujetos y fuentes de información 89
3.2.1 Sujetos de información 89
3.2.2 Fuentes de información: primaria, secundaria o terciaria 90
3.2.2.1 Fuente de información primaria 90
3.2.2.2 Fuente de información secundaria 90
3.2.2.3 Fuente de información terciaria 91
3.3 Muestra y población 91
3.3.1 Tipo de muestra 91
3.3.2 Descripción de la muestra 91
3.3.3 Descripción estadística de la población en estudio 92
3.4 Instrumentos y técnicas de recolección de datos 93
3.4.1 Diseño de instrumentos 93
3.4.2 Aplicación de instrumentos 93
3.4.2.1 Ensayo de compresión 93
3.5 Estrategia de análisis de datos 94
3.5.1 Presentación y análisis de los datos 94
3.5.2 Cronograma 94
Capítulo 4: Análisis e interpretación de los resultados 96
4.1 Diseño de mezcla de los adoquines 96
4.1.1 Datos de los agregados 96
4.1.2 Diseño de mezcla ACI 211 105
4.1.3 Creación de los adoquines 111
4.2 Presentación de los resultados para las variables o categorías de análisis 115
4.3 Análisis y discusión de los resultados para las variables o categorías de análisis 118
4.3.1 Análisis de varianza 120
4.3.2 Método Tukey 121

4.4 Aceptación o rechazo de la hipótesis 123

Capítulo 5: Limitaciones, conclusiones y recomendaciones 124

5.1 Limitaciones de la investigación 124

5.2. Conclusiones 124

5.3 Recomendaciones 124

Referencias bibliográficas 126

Apéndices 131

Apéndice A 131

Apéndice B 131

Apéndice C 131

Índice de tablas

Tabla 1 14

Tabla 2 16

Tabla 3 23

Tabla 4 24

Tabla 5 26

Tabla 6 31

Tabla 7 56

Tabla 8 57

Tabla 9 58

Tabla 10 58

Tabla 11 59

Tabla 12 69

Tabla 13 71

Tabla 14 72

Tabla 15 92

Tabla 16 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla 17 95

Tabla 18.....105
Tabla 19.....106

Índice de figuras

Figura 1.....2
Figura 2.....19
Figura 3.....20
Figura 4.....22
Figura 5.....23
Figura 6.....41
Figura 7.....61
Figura 8.....62
Figura 9.....64
Figura 10.....65
Figura 11.....66
Figura 12.....68
Figura 13.....76
Figura 14.....77
Figura 15.....78
Figura 16.....81
Figura 17.....82
Figura 18.....83
Figura 19.....83
Figura 20.....97
Figura 21.....98
Figura 22.....100
Figura 23.....101
Figura 24.....102
Figura 25.....103
Figura 26.....104
Figura 27.....105

Índice de abreviaturas

aC. ..... *Antes de Cristo*
ACI. ..... *Instituto Americano del Concreto*
AASHTO. ..... *Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes*
ABS. ..... *Acrilonitrilo butadieno estireno*
ASTM. ..... *Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales*
CCA. ..... *Cenizas de cáscara de arroz*
COVENIN. ..... *Comisión Venezolana de Normas Industriales*
dC. ..... *Después de Cristo*
EE.UU. ..... *Estados Unidos*
ERCI. ..... *Expansión retardada por calor inducido*
e-waste. ..... *residuos electronicos*
fc. ..... *Resistencia a la compresión especificada del concreto*
FIFCO. ..... *Compañía agrícola y de hielo de Florida*
FRE. ..... *Deformación retardada de etringita*
GPS. ..... *Sistema de Posicionamiento Global*
HIPS. ..... *Poliestireno de alto impacto*
INTE. ..... *Instituto de Normas Técnicas*
IRAM. ..... *Instituto Argentino de Normalización y Certificación*
LANAMME. ..... *Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales*
LED. ..... *Diodo emisor de luz*
mm. ..... *Milímetros*
MPa. ..... *Mega Pascal*
NCh. ..... *Norma Chilena*
NGO. ..... *Norma guatemalteca*
NMX. ..... *Norma Mexicana*
NSR-10. ..... *Normativa de sismo resistencia Colombiana*
NTC. ..... *Norma Técnica Colombiana*
NTE. ..... *Normas Tecnológicas de la Edificación*
NTP. ..... *Normas Técnicas Peruanas*
ONNCCE. *Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación*

p. ..... *Página*
párr. ..... *Párrafo*
PET. ..... *Polietileno Tereftalato*
pH..... *Medida de acidez o alcalinidad*
PVC..... *Policloruro de vinilo*
RAC. ..... *Reacción álcali-carbonato*
RAEE. ..... *Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos*
RAS..... *Reacción álcali-sílice*
RTCR. ..... *Reglamento Técnico de Costa Rica*
s.f..... *Sin fecha*
SICA. ..... *Sistema de la Integración Centroamericana*
UNIT. ..... *Instituto Uruguayo de Normas Técnicas*
w/c..... *Relación agua/cemento*

Resumen Ejecutivo

Cuando las personas hablan de residuos, se piensa en plástico, cartón o vidrio, cada año el mundo produce alrededor de dos millones de toneladas de desechos. La basura tecnológica se produce al desechar aparatos que funcionan gracias a la electricidad o por la suministración de energía a las baterías de estos aparatos; las consecuencias de los desechos electrónicos mal tratados pueden ser perjudiciales para la salud y el medio ambiente.

A toda esta problemática se le tiene que buscar una solución, en la industria de la construcción se han dado avances en la elaboración de distintos elementos estructurales y no estructurales a base de materiales reciclados. Muchos investigadores han buscado alternativas amigables con el ecosistema en reemplazo de los materiales convencionales que se han venido utilizando para la elaboración del concreto hidráulico; estas opciones, según los estudios hechos, transforman propiedades en los concretos, optimizan las dosificaciones de las mezclas del concreto y además ayuda con la reducción de la huella de carbono.

La tesis tiene como finalidad demostrar a través de ensayos de laboratorio que se puede crear un adoquín con una mezcla de concreto hidráulico y de plástico triturado de aparatos electrónicos.

Palabras clave: Concreto hidráulico, plástico, aparatos electrónicos, materiales reciclados, medio ambiente, basura tecnológica.

Executive Summary

When people talk about waste, they think about plastic, cardboard or glass; every year the world produces around two million tons of waste. Technological waste is produced by discarding devices that work thanks to electricity or by supplying energy to the batteries of these devices; the consequences of improperly treated electronic waste can be harmful to health and the environment.

A solution must be found to all these problems. In the construction industry, progress has been made in the development of different structural and non-structural elements based on recycled materials. Many researchers have sought ecosystem-friendly alternatives to replace conventional materials that have been used for the production of hydraulic concrete; according to studies, these options transform concrete properties, optimize the dosage of concrete mixtures and also help to reduce the carbon footprint.

The purpose of this thesis is to demonstrate through laboratory tests that a paver can be created with a mixture of hydraulic concrete and shredded plastic from electronic devices.

Keywords: Hydraulic concrete, plastic, electronic devices, recycled materials, environment, technological waste.

Capítulo 1: Introducción

Desde hace muchos años, el incremento del consumismo en todo el mundo ha llevado al diseño de muchos aparatos electrónicos que no tienen un uso definido después de su vida útil, y terminan contaminando los mares y ríos, afectando la vida silvestre y degradando el ecosistema marino, incluso se infiltran en la cadena alimentaria, perjudicando la salud de las personas.

Desde este punto de vista, es de gran interés para las personas el encontrar soluciones para estos problemas, buscando maneras de retirar estos residuos de los diferentes entornos, evitar que nuevos residuos sean lanzados a estos lugares y darles un uso, para que puedan ser aprovechados.

Por todo lo mencionado, mediante esta investigación se busca aportar una solución enfocada en la parte de ingeniería, creando una mezcla de concreto hidráulico donde se pueda agregar residuos de plástico de aparatos electrónicos para la creación de adoquines, que tienen su uso en la construcción.

1.1 Planteamiento del problema de investigación

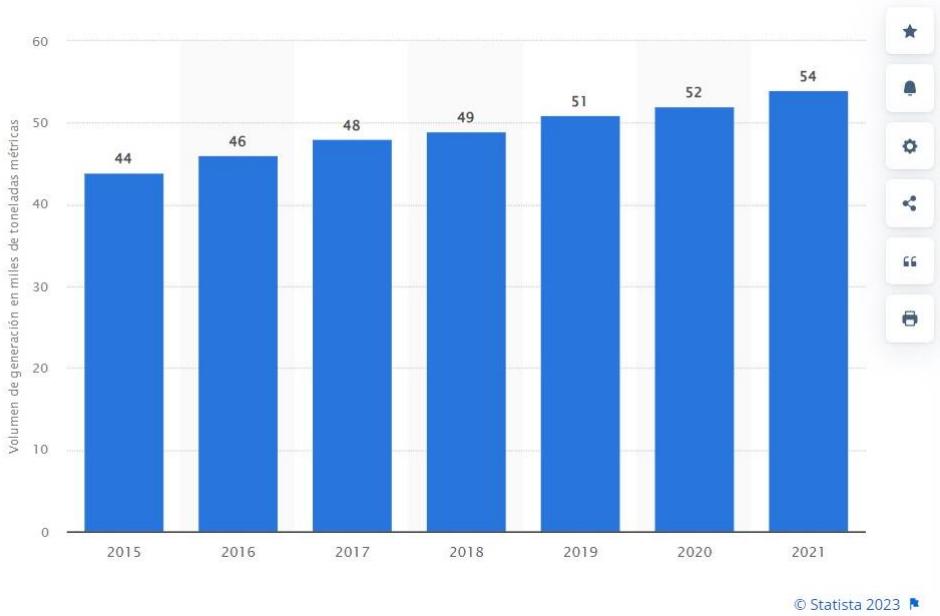
A continuación, se desarrollan el contexto, justificación, problema de investigación y estado del arte.

1.1.1 Contexto

Según Statista Research Department (2023) “En Costa Rica, la generación de residuos electrónicos, también conocidos como *e-waste*, rondó las 54.000 toneladas métricas en 2021, un aumento de aproximadamente 2.000 toneladas en comparación con el año anterior.” (párr. 1).

Figura 1

Volumen de generación de residuos electrónicos en Costa Rica de 2015 a 2021



Nota. El gráfico muestra la cantidad de residuos electrónicos producidos de 2015 a 2021 en Costa Rica. Fuente: *Statista Research Department*, 2023.

El consumismo cada año aumenta, y con ello, los desechos electrónicos de diferentes dispositivos que se desechan o se reemplazan por uno más moderno. La gran mayoría de estos residuos, no tienen un tratamiento adecuado en el país, y por esta razón en la mayoría de las ocasiones terminan contaminando lagos, ríos o mares y generando daños al ambiente o incluso a la salud de las personas y los animales.

Por lo anterior, en la presente investigación, se busca dar una alternativa de uso a los residuos electrónicos, enfocada en la Ingeniería Civil, basada en la creación de una mezcla de concreto hidráulico que contenga plástico triturado de los residuos electrónicos para la elaboración de adoquines. Esto se realizará entre los meses de septiembre y diciembre del año 2023. La investigación engloba a Costa Rica, pero se lleva a cabo en San Carlos, Alajuela.

1.1.2 Justificación

Una de las principales causas de la generación de basura tecnológica se encuentra en la mala gestión de estos residuos, según el Programa para el Medio Ambiente de las Naciones Unidas, se genera cerca de 50 millones de toneladas de desechos electrónicos al año, y la mayoría no pasan por el sistema de reciclaje óptimo para el medio ambiente, lo que puede llegar a afectar la salud de los seres humanos. Los últimos años han estado marcados por el alto desarrollo tecnológico, a la velocidad imparable que los dispositivos electrónicos mejoran, y esto hace que al poco tiempo de adquirirlos haya que cambiarlos por un dispositivo más moderno, se desechan a diario toneladas de aparatos tecnológicos. En estos dispositivos electrónicos se encuentran materiales peligrosos como metales pesados, mercurio, plomo, cadmio, cromo, arsénico o antimonio, los cuales pueden causar diversos daños a la salud y al medio ambiente.

Según la Organización Mundial de la Salud (2017):

> El mercurio es uno de los diez productos o grupos de productos químicos que plantean especiales problemas de salud pública, el mercurio elemental y metilmercurio son tóxicos para el sistema nervioso central y el periférico, la inhalación de vapor de mercurio puede ser perjudicial para el sistema nervioso e inmunitario, el aparato digestivo, los pulmones y los riñones, el cadmio, puede producir alteraciones en la reproducción e incluso llegar a provocar infertilidad, el cromo, está altamente relacionado con afecciones en los huesos y los riñones. (párr.11)

No obstante, en la basura tecnológica, se encuentra una gran cantidad de materiales y plásticos valiosos, muchos de ellos son recuperables. Así mismo, otro problema que conlleva la generación de basura tecnológica es la incapacidad a la hora de gestionar estos residuos.

Según Xavier (s.f.). “El reciclaje de dispositivos electrónicos tiene más potencial que la simple reducción de la cantidad de residuos. También es una minería convencional que podría ayudar a preservar la vegetación autóctona y a controlar las emisiones de gases de efecto invernadero”. (párr.3)

El proceso de reciclar aparatos electrónicos y utilizarlos en un proceso constructivo, podrá evitar que estos acaben en alcantarillas, ríos, mares o vertederos clandestinos, con ello se reducirá el riesgo de inundaciones que son tan comunes en Costa Rica en época lluviosa. Con la investigación se pretende implementar los desechos electrónicos de tipo plástico, que son popularmente llamados *E – Waste*, en la elaboración de adoquines con dimensiones de 6x10x20; se utilizará 2%, 4% y 6% de agregado plástico, al implementarse este tipo de residuos en la elaboración de la mezcla de concreto utilizada en la construcción de adoquines no solo se produce una iniciativa de tipo ambiental que busca mitigar el impacto negativo que tiene el desechar todos estos objetos, sino que se pretende que sea un producto de bajo costo.

1.1.3 Problema de investigación

El progreso tecnológico que está enfrentando el mundo en los últimos años, ha desencadenado un aumento notorio en la existencia de los equipos electrónicos, a pesar de todos los beneficios que traen a la vida cotidiana, también se ha dado un aumento considerable en el desecho de los mismos, proceso que se debe realizar de una manera responsable. Es un tema relevante a nivel mundial

170 países han firmado una alianza y son parte del convenio de Basilea, que lo que busca es regular los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y otros desechos, y obliga a sus partes a garantizar que esos desechos sean manejados y eliminados de una manera ambientalmente responsable. (Sistema de la Integración Centroamericana, SICA, s.f., párr.1).

"*E - Waste*" es el término que se le da a la basura electrónica; a lo largo de la vida se ha escuchado hablar sobre el reciclaje de desechos comunes, como, cartón, plástico o vidrio. Pero también hay otros tipos de basura que afecta y estos son los aparatos electrónicos.

Según la Universidad de las Naciones Unidas (2014).

> Resultó que Costa Rica es el segundo país de Centroamérica en producción de basura electrónica, ese estudió también demostró que cada costarricense podía llegar a producir 7,5 kilos de basura electrónica, la investigación también reflejó que para el 2014 había una estimación de aumento de producción de basura electrónica del 5% al 7%, solo a nivel Latinoamericano; a nivel global se esperaba para el 2021 un aumento del 17%. (párr. 1-2).

Según el Programa Ciclos Sostenibles, la Universidad de las Naciones Unidas y el Instituto de las Naciones Unidas para la Formación de Profesional e Investigaciones (2014).

> En Costa Rica, en el año 2019 registró 13,2 kilogramos de residuos electrónicos por habitante, pero solo el 8% fue recogido para su tratamiento ambiental racional. Según la investigación en Costa Rica en el 2019, la cantidad de aparatos electrónicos comercializados o puestos en el mercado fue de 15,4 kg/habitante y se generaron 13,2 kilogramos de residuos electrónicos por habitante. Al comparar los datos que hay del 2009 y el 2019, la cantidad de aparatos electrónicos puestos en el mercado aumentó en 3,5 kg/habitante y los residuos de aparatos electrónicos aumentaron en 4,2 kg/habitantes. (párr. 3-5).

El medio ambiente y la salud humana se ven afectadas negativamente por la eliminación inadecuada de residuos electrónicos, es necesario implementar políticas y prácticas adecuadas para la gestión de residuos electrónicos para abordar el problema de la contaminación.

Esto podría implicar un mejor diseño de productos para extender su vida útil, iniciativas de reciclaje y reutilización, y estrategias de eliminación, proteger el medio ambiente y la salud de las personas a largo plazo, es seguro y responsable.

Según el Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos Electrónicos de Costa Rica (2010):

> El buen manejo de los residuos electrónicos en Costa Rica involucra varios objetivos importantes para garantizar la correcta disposición de estos materiales, lo principal es el reducir la contaminación al ambiente y las afectaciones que puede provocar a la salud humana, la sensibilización y la responsabilidad para concientizar a la población acerca de la importancia de una adecuada gestión de los residuos electrónicos, los centros de recolección también forman parte importante en la gestión de los residuos electrónicos, porque una vez que fueron clasificados y separados se logra una gestión más eficiente. (p.1)

En Costa Rica hay 60 operadores autorizados para la gestión de estos residuos, de los cuales 13 poseen permisos para la recolección, almacenamiento y transporte, y 47 cuentan con el aval para el desmantelamiento, separación, recuperación, exportación, importación, tratamiento y eliminación.

Debido al problema expuesto, surge la necesidad de encontrar una nueva utilidad para estos residuos, que tardan en destruirse totalmente. La solución que se plantea consiste en el reciclaje del material plástico procedente del proceso de separación y trituración de aparatos electrónicos y su implementación en la realización de concreto hidráulico para la fabricación de adoquines de 6x10x20.

1.1.4 Estado del arte

El uso de distintos plásticos reciclados en la industria de la construcción es una práctica emergente, aunque todavía se encuentra en etapas de desarrollo, se han podido observar avances significativos en la elaboración de distintos bloques ecológicos.

Como primer antecedente se tiene la investigación titulada "Aplicación de material plástico reciclado en elementos constructivos a base de cemento" (Gaggino, Argüello y Berretta, 2007). La investigación realizada buscó desarrollar elementos constructivos elaborados con plásticos reciclados, como ladrillos, bloques y placas. Para el proceso de elaboración se siguieron los mismos pasos para elaborar bloques de hormigón; la diferencia se da en que en los bloques ecológicos se remplaza los agregados áridos por material plástico reciclado triturado. Dentro de la investigación realizada también se evalúa el impacto ambiental que es generado por la contaminación que ocasiona este tipo de materiales. Los investigadores examinaron los materiales más utilizados en la construcción de viviendas en Argentina, gracias a ese censo se dio a conocer que el ladrillo es el más utilizado.

En los análisis de resultados se hicieron pruebas para verificar la calidad de los bloques elaborados con los materiales anteriormente mencionados, los que se compararon con los ladrillos de elaboración tradicional. Concluyeron que los costos de elaboración son similares a los tradicionales, esto se debe al costo de la trituración del plástico, que es la base principal de los ladrillos ecológicos. Cabe resaltar que el plástico al ser más liviano presenta dos ventajas, disminuye la inversión en cimentaciones de la edificación y el ahorro de energía gracias a sus propiedades como aislante térmico.

El segundo antecedente que se tomó en cuenta es la tesina titulada "Estudio de hormigones y morteros aligerados con agregados de plástico reciclado como árido y carga en la mez-

cla" (Pozo. 2012). El estudio realizado tuvo por objetivo la introducción parcial o total de gránulos de plástico, principalmente de PVC, en objetos de hormigón y mortero, se realizaron muestreos de las dosificaciones necesarias para obtener la mayor eficiencia en las muestras. Para analizar las características del mortero con agregados de plástico reciclado se realizaron una serie de ensayos. Se crearon dos muestras para estudiar el aislamiento térmico y dos probetas de tres muestras cada una, que sirvieron para los ensayos de resistencias y módulo de elasticidad. En cada grupo, que consistía en ocho probetas, tuvieron distintas dosificaciones de plástico reciclado de PVC. La primera se realizó con plástico, para tener una mezcla de mortero convencional, a la segunda se le agregó un 10% de agregados de plástico reciclado, la tercera la realizaron con el 25% de plástico reciclado, para la cuarta probeta se agregó un 50% de plástico y la quinta tuvo un 70% de plástico; además se fabricaron dos tipos de probetas más con plástico reciclado que contiene carbono, de la misma granulometría que el plástico reciclado de PVC utilizado en las muestras anteriores. Posterior a este proceso, las probetas se dejaron fraguar y luego se realizaron las pruebas pertinentes para poder comparar las características obtenidas. Como resultado, al agregar los gránulos de polímeros plásticos, la resistencia del elemento disminuye, sin embargo, resultaron utilizables como objetos no estructurales.

La limitación principal de esta investigación fue la utilización de distintos tipos de polímero, en especial el PVC para los ensayos, aunque la información relacionada con la resistencia al agregar los gránulos fue de utilidad para contar con datos de referencia al momento de la revisión de los resultados que se obtuvieron en los ensayos realizados en el laboratorio.

El tercer antecedente se consideró la investigación que se titula, "Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción". (Cabo Laguna. 2011).

En esta investigación se toma como base el reciclaje de los residuos generados por los seres humanos, pero dándole enfoque a los desperdicios generados durante la cosecha de arroz,

puesto que usan como aditivos resistentes y estructurantes, las cenizas de las cáscaras de arroz y las cascarillas respectivamente, con el fin de realizar mejoras significativas en el proceso de producción y reducir el gran aporte de energía necesaria para la fabricación de ladrillos puzolánicos. Hay numerosos estudios en donde se habla sobre la incorporación de diferentes residuos en los ladrillos con el fin de disminuir el aporte de arcilla y la posibilidad de reducir las temperaturas de cocción. En la investigación se llevó a cabo un proceso experimental que consistió en crear ladrillos empleando un suelo arcilloso (marga gris), cemento portland compuesto por silicato tricálcico (3CaO.SiO2), silicato bicálcico (2CaO.SiO2), aluminio tricálcico (3CaO.Al2O3) y ferroaluminato tetracálcico (4CaO.Al2O3.Fe2O3); además de los materiales anteriormente mencionados, ceniza de cáscara de arroz como un aditivo puzolánico y cascarillas de arroz como aditivo estructurante, se realizaron ladrillos con las cuatro concentraciones diferentes de estos materiales en fases distintas, se evaluaron las propiedades mecánicas para su posterior comparación con ladrillo tradicional. Se determinó que las combinaciones seleccionadas con un 8% de cenizas a 10 MPa, se considera la óptima a 56 días de curado, ya que se mejoran en un 70% su resistencia con respecto a las mismas combinaciones, pero a 5 MPa y más de un 100% que las combinaciones sin ceniza; un 4% de ceniza no es suficiente para obtener los mejores resultados, aun así, mejoran, a ambos niveles de presión de máximo de un 60% más de resistencia que sin ceniza.

El cuarto antecedente considerado para la investigación se titula “Elaboración de bloques en cemento reutilizando el plástico Polietilen-Tereftalato (PET) como alternativa sostenible para la construcción” (Caballero y Florez, 2016).

Esta investigación resalta el problema de la extracción insostenible de agregados minerales de la corteza terrestre, combinado con el problema de la eliminación de residuos plásticos

requiere nuevas alternativas que difieran de las tradicionales. Por ello, el siguiente estudio presenta los resultados de un estudio de viabilidad sobre una alternativa ecológica a los bloques de hormigón o concreto, un material de construcción importante a nivel mundial.

La alternativa estudiada fue sustituir ciertos porcentajes (12,5%, 25% y 37,5%) del agregado fino por plástico PET triturado y recolectarlo como residuo para su uso en la producción de bloques de concreto de 6 pulgadas. El estudio de factibilidad incluye sustitución a diversas alternativas, manteniendo la geometría tradicional del bloque y cumpliendo con los parámetros de resistencia, absorción, densidad y humedad de acuerdo con la normativa NSR-10 y la Norma Técnica Colombiana para parámetros de resistencia, absorción, densidad y humedad NTC ICONTEC.

La investigación se divide básicamente en cinco fases principales: recopilación y análisis de la información existente, identificación de fuentes materiales en la segunda fase y adquisición de materiales de fuentes existentes. El tercer paso es la preparación de los bloques que trasladamos a la fábrica de bloques "prefabricados y agregados GRAN COLOMBIA", y el cuarto paso es la inspección física y realizar ensayos mecánicos de materiales y bloques, incluyendo resistencia a la compresión, densidad, absorción, etc. Después de las primeras cuatro etapas, continua la quinta y sexta etapa, incluyen el análisis de datos y la presentación del informe final.

Los resultados muestran que la alternativa es posible debido al peso unitario reducido de los bloques de PET en comparación con los bloques convencionales, la masa se reduce en un 2% y se puede sustituir el 37,5% de la arena. La resistencia fue mayor al reemplazar el 12,5% y el 25% de agregado (3,5 y 3,2 MPa, respectivamente) en comparación con el 0% (2,83 MPa) debido a estos valores en las resistencias el porcentaje de absorción del agua cumple, al arrojar magnitudes bajas de 11,9% y 11,8%.

En términos de costo económico, el uso de bloques de PET triturados resultó más económico que el uso de bloques convencionales, desplazando un 37,5% de arena, una diferencia de precio de hasta $113,17.

El quinto antecedente tomado en consideración corresponde al título “Bloques de concreto sustentables a partir de la utilización de material de reciclaje (PET)” (Velázquez, 2021).

El objeto de este estudio es el estudio de bloques construidos a partir de cemento y material reciclado (PET), donde este material reciclado da fin a su ciclo de contaminación e inicia el proceso de selección, procesamiento y trituración, para luego convertirse en el agregado del bloque, y llevar a cabo pruebas y experimentos apropiados para comprender su comportamiento en las propiedades relevantes del concreto.

Con esta idea se intentó identificar varios factores positivos en la creación de este bloque, como una reducción significativa de la contaminación de las calles, debido a que este material reciclado (PET) es un material altamente contaminante y desechable, además se intentó utilizar este bloque de cemento y material (PET) para construir casas, en beneficio de todas las personas de escasos recursos económicos que no poseen su propia casa, ya que el reciclaje puede reducir el costo de construcción de una vivienda mediante el uso de este material.

Para el análisis de los resultados de las pruebas de compresión se consideraron las NTC 4205-2 y NTC 4205-3. La NTC 4076, que también se considera para bloques y ladrillos de concreto, así como para mampostería no estructural, determina los parámetros permisibles para la resistencia a la compresión a 28 días con un valor mínimo de 5 MPa, todos los resultados fueron mayores a 5 Mpa.

En cuanto al presupuesto, inicialmente se tuvo en cuenta la cantidad de materiales que se necesitaban para elaborar tres bloques por cada proporción, teniendo esta estimación de que

tanta cantidad se necesitaba para cada material, se realizó una suma general en la que se pueda determinar la cantidad total de cada material para elaborar todos los 9 bloques. Sumando esto, un total de $ 41.000.

Luego de todo el análisis, se puede comprobar y validar todo el proceso y paso a paso de elaboración de bloques de concreto a partir de materiales reciclados de PET para convertirse en una alternativa sustentable en la construcción como elementos de mampostería no estructurales.

1.2 Objetivos de la investigación

En este apartado se desarrollan los objetivos tanto general como específicos, de la investigación.

1.2.1 Objetivo general

Diseñar una mezcla de concreto hidráulico mediante la adición de residuos de aparatos electrónicos triturados, que cumplan con la resistencia necesaria para la elaboración de adoquines de un tamaño de 6x10x20 centímetros.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Definir un diseño de concreto hidráulico con residuos de plástico de aparatos electrónicos triturados para la fabricación de adoquines de 6x10x20 cm mediante un diseño experimental completamente aleatorio.
2. Determinar los beneficios ambientales al usar residuos de plástico de aparatos electrónicos como aditivos en el concreto hidráulico.
3. Analizar mediante un análisis de significancia estadística los resultados de las pruebas de compresión aplicadas a los adoquines.

1.3 Las variables y categorías de análisis

En el siguiente apartado se desarrollan las variables o categorías de análisis de la investigación.

1.3.1 Las variables

Hipótesis: Una mezcla de concreto hidráulico añadiendo residuos de aparatos electrónicos triturados, que cumpla con la resistencia necesaria para la elaboración de adoquines, debe relacionarse con una correcta formulación mediante el método de diseño de concreto del A.C.I. y considerando factores como una adecuada resistencia a la compresión y sostenibilidad ambiental.

Variable Dependiente: Una mezcla de concreto hidráulico añadiendo residuos de aparatos electrónicos triturados, que cumplan con la resistencia necesaria.

Variable Independiente: Correcta formulación mediante el método de diseño de concreto del A.C.I. y considerando factores como una adecuada resistencia a la compresión y sostenibilidad ambiental.

Variable Interviniente: Factores como una adecuada resistencia a la compresión y sostenibilidad ambiental, que están directamente relacionados y se ven afectados según la eficacia de la formulación del diseño de mezcla del concreto con residuos de aparatos electrónicos triturados.

1.3.2 Categorías de análisis

Categoría de análisis: Determinación de los beneficios ambientales al usar residuos de plástico de aparatos electrónicos como aditivos en el concreto hidráulico.

1.3.3 Matriz Cuantitativa

Tabla 1

Matriz de investigación a partir de la hipótesis

Hipótesis	Conceptos	Variables	Indicadores
Una mezcla de concreto hidráulico añadiendo residuos de aparatos electrónicos triturados, que cumplan con la resistencia necesaria para la elaboración de adoquines, debe relacionarse con una correcta formulación mediante el método de diseño de concreto del A.C.I y considerando factores como una adecuada resistencia a la compresión y sostenibilidad ambiental.	**1.Mezcla de concreto hidráulico:** Mezcla homogénea de concreto, agua, aire, arena, grava y en algunos casos se utilizan aditivos. **2.Residuos de aparatos electrónicos:** Elementos plásticos provenientes de electrodomésticos o aparatos que requieran una fuente de electricidad o energía para su correcta función. **3. Adoquines:** Piedra de forma rectangular utilizada para empedrados. **4. Método de diseño de concreto del A.C.I:** Método establecido por el American Concrete Institute para realizar diseños de mezcla de concreto mediante el uso de tablas.	**1.**Mezcla de concreto hidráulico**:** Esta variable puede medirse cuantitativamente mediante los porcentajes o las proporciones a utilizar en cada elemento que compone la mezcla de concreto modificada. **2.**Residuos de aparatos electrónicos**:** Esta variable puede medirse cuantitativamente considerándose como un elemento más de la mezcla de concreto, de manera que se agrega a esta en diferentes proporciones y porcentajes. **3. **Método de diseño de concreto del A.C.I**:** Esta variable puede medirse cuantitativamente mediante las proporciones establecidas en las tablas para el diseño de concreto.	**Mezcla de concreto hidráulico:** 1.Ensayos para determinar las propiedades del agua 2.Ensayos para calidad del agregado pétreo 3.Granulometría 4.Tipos de aditivos 5.Propiedades del concreto fresco y endurecido. **Residuos de aparatos electrónicos:** 1.Porcentajes de plástico triturado para la mezcla 2.Materiales presentes en los aparatos electrónicos 3.Tipos de plástico en los aparatos electrónicos 4.Resistencia del plástico de los residuos electrónicos.

	5. Resistencia a la compresión: Resistencia máxima que soporta un elemento bajo fuerzas o cargas de compresión antes de fallar o explotar. **6.Sostenibilidad ambiental:** Satisfacer las necesidades sin hacer daño o comprometer el medio ambiente o la naturaleza a futuro.	**4. **Resistencia a la compresión**:** Esta variable puede medirse cuantitativamente mediante los ensayos de resistencia a la compresión máxima de un elemento. **5.**Sostenibilidad ambiental**:** Esta variable puede medirse cuantitativamente mediante la consideración del impacto ambiental que se genere durante el proceso de trituración de los residuos electrónicos y creación del concreto modificado o de los adoquines.	**Método de diseño de concreto del A.C.I:** 1.Asentamiento del concreto. 2.Tamaño del agregado. 3.Relación agua/cemento. 4.Proporción de los agregados pétreos. **Resistencia a la compresión:** 1.Resistencia máxima a la compresión. 2.Ensayo de resistencia a la compresión. 3.Espécimen de concreto. 4.Curado del concreto. 5.Moldeo y fabricación de los cilindros de concreto. **Sostenibilidad ambiental:** 1.Gestión de residuos. 2.Gases de efecto invernadero. 3.Contaminación de mares/ríos. 4.Cultura ambiental.

Nota. Esta tabla representa la parte cuantitativa de la investigación. Fuente: Elaboración propia, 2023.

1.3.4 Matriz Cualitativa

Tabla 2

Matriz de la investigación a partir de las categorías de análisis.

Categoría de análisis		
Determinación de los beneficios ambientales al usar residuos de plástico de aparatos electrónicos como aditivos en el concreto hidráulico.		
Definición conceptual	**Dimensiones**	**Indicadores**
Beneficios ambientales: Ventajas o beneficios que se obtienen en favor del medio ambiente al dar un uso, reciclar o reducir elementos contaminantes de la naturaleza como lo es el residuo electrónico.	1.Reducción de la contaminación terrestre y marítima. 2. Aprovechamiento del material reciclado como materia prima. 3. Reducción de emisiones de gas.	-Reutilizar. -Reciclar. -Emisión de gas. -Materia prima. -Sostenibilidad.
Residuos plásticos de aparatos electrónicos: Parte plástica de cualquier dispositivo que necesite una fuente de electricidad o energía para su funcionamiento.	1.Contaminan el medio ambiente y las aguas específicamente. 2. La mayoría son sumamente resistentes. 3. Largo proceso de descomposición/degradación.	-Tipos de plástico -Contaminación del agua. -Saturación de sistemas sanitarios. -Afectación a la salud.
Aditivos en el concreto hidráulico: Componentes extra en el concreto además del agua, aire, cemento y agregados pétreos, utilizados con el objetivo de modificar las propiedades del concreto fresco o endurecido.	1.Constituyen hasta 5% de la mezcla de concreto. 2. Existen diferentes tipos para concreto fresco y endurecido. 3. Modifican o mejoran las propiedades del concreto según se necesita.	-Tipos de aditivos. -Propiedades del concreto fresco. - Propiedades del concreto endurecido. -Aditivos inusuales en el concreto.
Definición instrumental		

Para llevar a cabo la determinación de los beneficios ambientales al usar residuos de plástico de aparatos electrónicos como aditivos en el concreto hidráulico, podría utilizarse el siguiente instrumento de recolección de datos de manera óptima: **1. **Revisión Bibliográfica**:** Realizar una investigación exhaustiva en bases de datos académicas y fuentes especializadas para obtener información detallada sobre beneficios ambientales al usar plástico de aparatos electrónicos como aditivos en el concreto hidráulico. Esto permitirá recopilar datos secundarios de estudios previos y expertos en el campo.

Nota. Esta tabla representa la parte cualitativa de la investigación. Fuente: Elaboración propia, 2023.

1.4 Alcances

1. Diseño de mezcla de concreto hidráulico con residuos de aparatos electrónicos triturados: Incorporar los residuos plásticos de aparatos electrónicos triturados, sustituyendo parte del agregado pétreo en el diseño de mezcla del concreto según el A.C.I, para aportar resistencia al concreto.
2. Resistencia necesaria: Realizar un correcto diseño de mezcla del concreto modificado con residuos electrónicos, para que los ensayos de resistencia a compresión demuestren una resistencia máxima adecuada.
3. Elaboración de adoquines 6x10x20 centímetros: Análisis de los resultados de ensayos a compresión para elección de la mezcla más resistente (según porcentaje de plástico) y la posterior creación de los adoquines con dicho diseño de mezcla.

1.5 Formulación de la hipótesis de la investigación

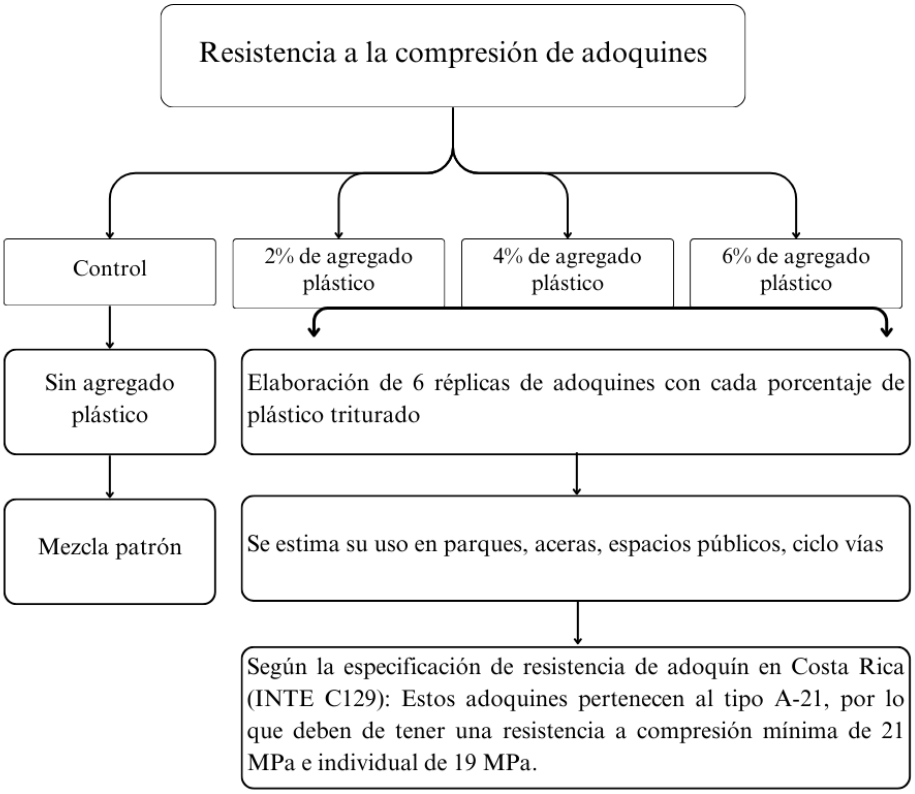
El excesivo uso del plástico en los últimos años ha obligado a las personas a buscar soluciones para darle un nuevo uso, con base en esto, se formula la hipótesis de la investigación del presente trabajo:

Una mezcla de concreto hidráulico añadiendo residuos de aparatos electrónicos triturados, que cumplan con la resistencia necesaria para la elaboración de adoquines, debe relacionarse con una correcta formulación mediante el método de diseño de concreto del A.C.I y considerando factores como una adecuada resistencia a la compresión y sostenibilidad ambiental.

La mezcla de concreto hidráulico con plástico de aparatos electrónicos puede ser resistente para la fabricación de adoquines con dimensiones de 6x10x20 cm, pueden ser más ligeros a mayor cantidad de plástico que se le agregue a la mezcla, ya que la arena tiene un peso específico mayor al del plástico, en cuanto al *E-Waste*, al encontrarse un nuevo uso para este, debería ser motivo para que los centros de acopio o municipalidades consideren aumentar el porcentaje de plástico que se recicla y no permanecer solamente en el 8% de plástico de aparatos electrónicos que es tratado de forma correcta. En el mundo hay diversidad de concretos hidráulicos que se han desarrollado, en Costa Rica es poco lo que se ha hecho en materia de investigación referente a concretos hidráulicos diferentes al convencional y de los que se han aplicado en nuestro país no se ha dado un seguimiento en cuanto al comportamiento de la mezcla en un elemento estructural o no estructural.

Figura 2

Esquema Experimental



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Capítulo 2: Marco teórico

2.1 Estado del conocimiento

En el siguiente apartado, se desarrollan conceptos e información necesaria para comprender la investigación y finalidad del trabajo.

2.1.1 Concreto hidráulico

2.1.1.1 Definición

El concreto es uno de los materiales más utilizados en construcción en la actualidad, esto debido a su durabilidad, versatilidad, compresión y economía, con su uso se pueden lograr muy buenos efectos estéticos en las obras.

Como bien se conoce, se le llama concreto a la mezcla de cemento, agua, aire y agregado fino y grueso (arena y piedra) y en ocasiones especiales se le añaden aditivos. Las cantidades de cada componente dependen del uso que se le vaya a dar a dicha mezcla.

Figura 3

Componentes del concreto



Nota. Componentes básicos del concreto. Fuente: Mixto Listo (s.f.)

Según explica Castillo (2018) en su instructivo:

> El proceso inicia cuando se producen reacciones químicas entre el agua y el cemento conocidas como hidratación, durante la cual los agregados se adhieren formando una pasta que al fraguar o endurecerse pierde plasticidad y se trasforma en un material sólido y resistente. (p. 3)

2.1.2 Materiales para la elaboración del concreto

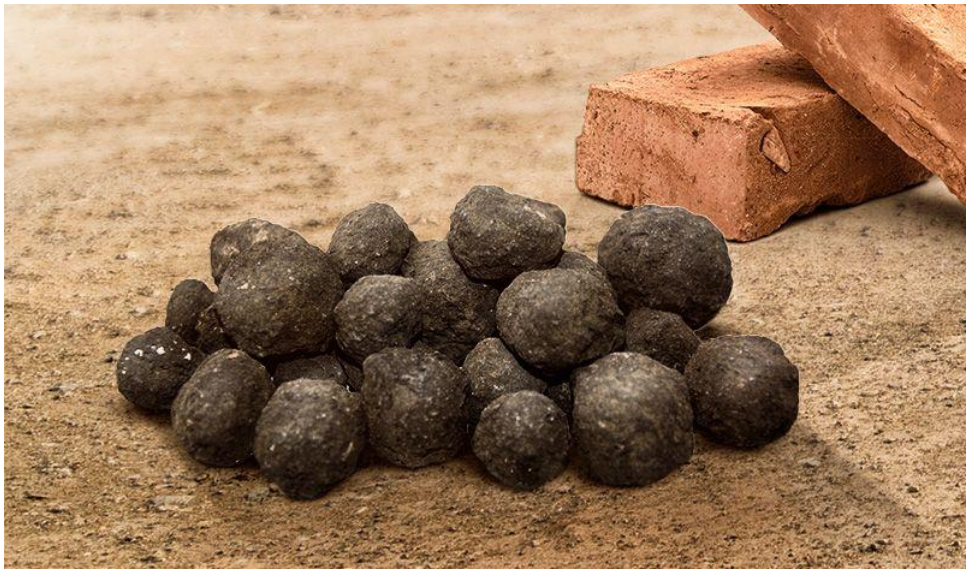
2.1.2.1 Cemento

Según indica Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi (2004) en su documento:

> El cemento portland se produce por la pulverización del clínker, el cual consiste principalmente en silicatos de calcio hidráulicos. El clínker también contiene algunos aluminatos de calcio y ferroaluminatos de calcio y una o más formas de sulfato de calcio (yeso) que se muele conjuntamente con el clínker para la fabricación del producto final.
>
> Los materiales usados para la producción del cemento portland deben contener cantidades apropiadas de los compuestos de calcio, sílice, alúmina y hierro. Durante la fabricación, se hace análisis químico frecuente de todos los materiales para garantizarse una calidad alta y uniforme del cemento. (pág. 28)

Figura 4

Clínker



Fuente: Cementos Inka (s.f.)

Cemento industrial

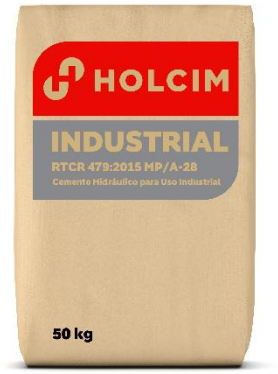
Por la finalidad de la investigación, que es realizar un adoquín, se utilizará para la mezcla de concreto el cemento industrial, ya que cuenta con las características necesarias para ser ensayada en dicho trabajo.

Según menciona Holcim (s.f.) en su ficha técnica:

> El Cemento Holcim Industrial es para uso en concretos especiales y de alta resistencia inicial. Es el recomendado para construcciones industriales de mayor resistencia y durabilidad.
>
> Su contenido controlado de C_3A menor al 8% provee un moderado calor de hidratación lo cual favorece la disminución de agrietamiento superficial por contracción plástica, cuando se controlan adecuadamente los parámetros de curado. (p. 2)

Figura 5

Cemento industrial Holcim



Fuente: Holcim Costa Rica (s.f.).

Tabla 3

Análisis químico del cemento

	Cemento Holcim industrial	**RTCR 479:2015**	**ASTM C595 IP**
% Óxido de magnesio (MgO)	≤6.0	≤6.0	≤6.0
Contenido de sulfatos como (SO_3)	≤3.1*	≤4.0	≤4.0
Aluminato tricálcico (C_3A) máx. %	≤8.0*	-	-

*El valor del SO_3 indicado, cumple con la norma europea EN197 para los cementos resistentes a los sulfatos, la cual regula un máximo de un 3,50% para cementos adicionados con puzolanas naturales.

*El valor del C_3A es un valor de referencia para asegurar cumplimiento con norma europea EN197 para los cementos resistentes a los sulfatos, la cual regula un máximo de 9,0% para cementos adicionados con puzolanas naturales.

Fuente: Holcim ficha de cemento industrial (s.f.)

Este cemento industrial, según se considera en su respectiva ficha, es apto para:

- Concretos de tipo estructural.

- Concretos resistentes a la agresión.
- Estructuras prefabricadas y pretensadas.
- Concretos premezclados.
- Concretos impermeables.
- Producción de mampostería y elementos prefabricados.
- Obras en contacto con aguas o suelos ácidos.
- Plantas de tratamiento.
- Canales y obra hidráulica. (Holcim ficha cemento industrial, s.f., p. 4)

Tabla 4

Análisis físico del cemento

		Cemento Holcim industrial	**RTCR 479:2015**	**ASTM C595 IP (HS)**
Superficie específica ASTM C204	Min, m2/kg	330	-	-
	Min, cm2/kg	3300	-	-
Finura retenido en tamiz 0.045mm INTE 06-11-10 (máx. %)	Pasante (mín. %)	97,5	-	-
	Retenido (máx. %)	3,5		
Cambio en longitud autoclave INTE 06-11-03	Expansión (máx. %)	0,2	0,8	0,8
	Contracción (máx. %)			0,2
Tiempo de fragua, minutos	Inicial (mín, minutos INTE 06-11-05)	45	45	45
	Final (máx, minutos INTE 06-11-05)	420	420	420
Contenido de aire del mortero INTE 06-11-04 (máx. %)		12	12	12
	1 día	-	-	-
	3 días	13	13	11,0

Resistencia mínima a la compresión INTE 06-02-20	7 días	20	20	18,0
	28 días	28	28	25,0
Calor de hidratación ASTM C 186 (máx,kl/kg)	7 días	-	-	290
	28 días	-	-	330
Expansión en barras de mortero de 14 días. % máximo ASTM C 1038	14 días	0,02	0,02	0,02
	56 días	-	-	0,06
Falso fraguado, % mínimo ASTM C 451		50	50	-
Expansión por sulfatos ASTM C 1012 (máx. %)	6 meses	-	-	0,05
	1 año	-	-	0,10

Fuente: Holcim ficha de cemento industrial (s.f.).

2.1.2.2 Agua

El agua es un elemento esencial en el proceso de preparación del concreto, es el encargado de crear la reacción química en el cemento, necesaria para el correcto procedimiento de fragua y endurecimiento de la mezcla homogénea.

El agua también es necesaria para el proceso de curado del concreto. Según la norma técnica colombiana (NTC) 3459:

> El agua debe ser clara y de apariencia limpia, libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que puedan ser dañinas para el concreto o el refuerzo. Si contiene sustancias que le produzcan color, olor o sabor inusuales, objetables o que causen sospecha, el agua no se debe usar a menos que existan registros de concretos elaborados con ésta, o información que indique que no perjudica la calidad del concreto.

El agua para elaborar en concreto puede tomarse de fuentes naturales y, por lo tanto, puede contener elementos orgánicos indeseables o contenidos inaceptables de sales inorgánicos. Las aguas superficiales, en particular, a menudo contienen materia en suspensión, como aceite, arcilla, sedimentos, hojas y otros desechos vegetales, y puede ser inadecuado emplearlas sin tratamiento físico preliminar, como filtración o sedimento para que dicha materia en suspensión se elimine. (p. 1)

En la siguiente tabla, se presenta la tolerancia máxima en cuanto a impurezas que puede tener el agua que se vaya a utilizar para la mezcla de concreto.

Tabla 5

Tolerancia de concentraciones de impurezas en el agua de mezclas

Impurezas	**Máx. Concentración Tolerada**	
Carbonatos de sodio y potasio	1.000	Ppm
Cloruro de sodio	20.000	Ppm
Cloro, como cl (concreto preesforzado)	500	Ppm
Cloro, como cl (concreto húmedo o con elementos de aluminio, metales similares o galvanizados)	1.000	Ppm
Sulfato de sodio	10.000	Ppm
Sulfato, como SO4	3.000	Ppm
Carbonatos de calcio y magnesio, como ion bicarbonato	400	Ppm
Cloruro de magnesio	40.000	Ppm
Sulfato de magnesio	25.000	Ppm
Cloruro de calcio (por peso de cemento en el concreto)	2%	
Sales de hierro	40.000	Ppm
Yodato, fosfato, arsenato y borato de sodio	500	Ppm

Sulfito de sodio	100	Ppm
Ácido sulfúrico y ácido clorhídrico	10.000	Ppm
pH	6 a 8	
Hidróxido de sodio (por peso de cemento en el concreto)	0,5%	
Hidróxido de potasio (por peso de cemento en el concreto)	1,2%	
Azúcar	500	Ppm
Partículas en suspensión	2.000	Ppm
Aceite mineral (por peso de cemento en el concreto)	2%	
Agua con algas	0	
Materia orgánica	20	Ppm
Agua de mar (concentración total de sales para concreto no reforzado)	35.000	Ppm
Agua de mar para concreto reforzado o preesforzado	No recomendado	

Fuente: Sánchez de Guzmán, 2011

Existen algunas normas que describen la manera de realización de ciertos ensayos, estos se deben realizar en el agua destinada al curado del concreto, para garantizar que el agua a utilizar cumple con los requisitos necesarios. Algunas de ellas son las siguientes:

- ASTM D-1239: pH del agua
- ASTM D-512: Cloruros
- ASTM D-516: Sulfatos
- ASTM D-511: Calcio y magnesio
- ASTM D-1888: Materias y partículas disueltas en el agua (Sánchez de Guzmán, 2011, p. 63)

2.1.2.3 Agregados pétreos

Estos agregados pueden llegar a constituir más del 50% de la mezcla de concreto, por lo que es de suma importancia la calidad que estos componentes tengan. Usualmente los agregados pétreos se clasifican en dos grupos: los finos y los gruesos.

Los finos pueden ser arena natural o artificial (manufacturadas) con partículas de hasta 9.5mm; agregados gruesos son las partículas retenidas en la malla 1.18 mm (tamiz no.16) y pueden llegar hasta 150 mm. El tamaño máximo del agregado grueso comúnmente empleado es 19 mm o 25mm (Kosmatka, et al, 2004, p. 1)

Los agregados se pueden obtener principalmente de las siguientes fuentes: en depósitos de origen natural, como playas o ríos, y también como productos de trituración de roca.

Según menciona (Uribe, 2011, como se citó en Chan, Solís y Moreno, 2003)

> La forma de los agregados tiene incidencia sobre la trabajabilidad del concreto fresco. Las formas básicas de éstos se pueden simplificar en 4 tipos, que son: equidimensional o esférica, prismática, tabular o elíptica, e irregular. De todas éstas, la que mayor problema puede ocasionar para la trabajabilidad es aquella de tipo tabular que además está alargada (conocidas como piezas planas y alargadas); estas piezas pueden provocar disminución en la trabajabilidad ya que muy fácilmente pueden orientarse de manera preferencial en un solo plano, de manera que el agua y el espacio poroso pueden acumularse debajo de ellas. Además, gravas con esta forma ocasionan mayores requerimientos de arena, y eso hace necesario un incremento en el volumen de agua para la mezcla. (p. 42)

2.1.2.4 Aditivos

Existen también otros agregados o aditivos para el concreto, los cuales son utilizados en ocasiones donde se requiere modificar alguna de las características de dicho concreto, porque la construcción así lo demanda.

Según el ACI 116.2 R-2 se refiere a los aditivos como: “Materiales diferentes al agua, agregados, cemento hidráulico y fibras de refuerzo usado como ingrediente de la mezcla cementicia para modificar sus propiedades en estado fresco o endurecido, son adicionados a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado”.

Respecto a los aditivos, en el documento CONCRETO: Generalidades, propiedades y procesos se expresa que pueden ser naturales, que son aquellos que encontramos en la naturaleza. Limo de 3 a 5%, aditivo para retardar el proceso de fraguado, hacer al, concreto más plástico. Aguas saladas que actúan como retardadores de fragua, disminuyendo el calor de hidratación. Aguas azucaradas hasta 0.15% del peso del cemento, actúa como acelerante. También están los aditivos artificiales, que son fabricados en laboratorios, los principales:

Acelerantes: Para disminuir el tiempo de fraguado, endurecimiento pronto.

Retardadores: Retarda el endurecimiento (problemas con la mano de obra).

Plastificantes: Para hacerlo más trabajable para bombear el concreto, o para concretos demasiados densos, darles mayor trabajabilidad sin incrementar agua.

Adherentes: Para poder unir de una forma confiable concretos viejos y nuevos, se aplica al concreto viejo y en menor proporción al concreto nuevo.

Impermeabilizantes: Son aquellos generalmente grasos o aceitosos vienen en polvo. Generalmente no logran una impermeabilización del 100%.

Aire Incorporado artificialmente: Actúa como efervescente, generando burbujas microscópicas que se disponen equidistantes. Sirve para contrarrestar los esfuerzos internos que se produce por la dilatación del concreto. (p. 19-21)

2.1.3 Materiales inusuales que pueden usarse en el concreto

2.1.3.1 Puzolanas

En su documento, Tobón (2000) menciona lo siguiente:

> Son productos naturales o artificiales, silíceos o sílicoaluminosos que en sí mismos poseen poca o ninguna propiedad aglomerante ni de actividad hidráulica, pero finamente molidas, a temperaturas ordinarias y en presencia de agua reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio formando compuestos que sí tienen propiedades aglomerantes e hidráulicas.
>
> Las puzolanas presentan en virtud de su inestabilidad química, reflejo del desorden estructural, alta susceptibilidad de reaccionar con otras sustancias para formar nuevos compuestos más estables es así como atrapan la cal libre en el clínker.(p. 78)

Cáscara de arroz como material puzolánico

Giaccio, Zerbino, Tobes, López, Isaia, y Rodríguez de Sensale (2006) menciona sobre la cáscara de arroz lo siguiente:

> El uso de cenizas de cáscara de arroz (CCA) como otras adiciones minerales (cenizas volantes, microsílice, escorias de alto horno, etc.) ha ganado interés en el campo de la tecnología del hormigón dadas las cualidades de este material para albergar tales subproductos con ventajas técnicas, económicas y ambientales. Cuando la CCA se produce por combustión controlada (2-5) se genera una puzolana altamente reactiva que puede provocar incrementos de resistencia desde edades tempranas. Bajo condiciones de quema no controlada se produce una puzolana de menor calidad, denominada CCA residual. (p. 9)

2.1.3.2 Plástico “E waste”

El nombre “e waste” no es más que el término “residuos electrónicos” en inglés. Pellegrino, Chiozzi, Pinatti y Ramírez (2021) comenta lo siguiente:

> Se considera RAEE (Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos) a los aparatos dañados, descartados u obsoletos que consumen electricidad. Estos incluyen una amplia gama de dispositivos como computadoras, equipos electrónicos de consumo, teléfonos móviles y electrodomésticos que ya no son utilizados o deseados. (p. 2)

El uso del plástico en la creación de diferentes electrodomésticos, dispositivos móviles, y aparatos electrónicos en general, ha ido en aumento debido a que aporta varias características a dichos artefactos como ligeros, seguros, impermeables, económicos, entre otras. El problema realmente empieza en el momento en el que se necesita desechar alguno de estos aparatos y no se cuenta con un procedimiento para el correcto tratado de éstos, ni el conocimiento para hacerlo bajo los propios medios. Por esta razón, es muy común que estos dispositivos terminen contaminando y afectando la salud tanto de los animales como de los seres humanos (tanto por residuos plásticos como por químicos o metales pesados dentro de los componentes de dichos dispositivos).

Tabla 6

Categorías de residuos electrónicos desde la perspectiva de su gestión y manejo

Aparatos de intercambio de temperatura: Son los equipos de refrigeración y congelación. En esta categoría se encuentran los refrigeradores, los congeladores, los aparatos de aire acondicionado y bombas de calor.
Pantallas: televisores, los monitores, las computadoras portátiles, las microcomputadoras y las tabletas.
Lámparas: lámparas, fluorescentes, las lámparas de descarga de alta intensidad y las lámparas LED.

Grandes aparatos: dispositivos como las lavadoras, las secadoras, los lavavajillas, las cocinas eléctricas, las grandes impresoras, las fotocopiadoras y los paneles fotovoltaicos.
Pequeños aparatos: aspiradoras, los hornos de microondas, las tostadoras, los hervidores eléctricos, las afeitadoras eléctricas, las básculas, las calculadoras, los aparatos de radio, las videocámaras, los juguetes eléctricos y electrónicos, las pequeñas herramientas eléctricas y electrónicas, los pequeños dispositivos médicos y los pequeños instrumentos de supervisión y control.
Equipos informáticos y aparatos pequeños: teléfonos móviles, los GPS (dispositivos del sistema mundial de determinación de posición), las calculadoras de bolsillo, los encaminadores, las computadoras personales, las impresoras y los teléfonos

Fuente: González 2021, a partir de La Directiva del Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, (2012)

Tipos de plástico en los “e waste”

Como fue mencionado anteriormente, los residuos electrónicos tienen una cantidad de plástico considerable, existe dos tipos de plástico que son los más utilizados en este tipo de desechos, los cuales son los HIPS (poliestireno de alto impacto) y ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) que son los que se van a considerar en la presente investigación.

El ABS es un plástico altamente resistente a los impactos, se considera un termoplástico amorfo. El termoplástico es un tipo de plástico que cuando se expone a temperaturas relativamente altas se deforma o se vuelve plástico hasta el punto de fundirse y se endurece cuando se enfría lo suficiente. La abreviatura proviene de los tres monómeros utilizados para producirlo: acrilonitrilo, butadieno y estireno.

Esto a menudo se llama plástico de ingeniería, debido a que su producción y procesamiento es un poco más complicado que el plástico normal, es altamente resistente al impacto, la abrasión y los factores químicos. Es un material muy utilizado en automóviles, industrias y en los hogares.

Debido a estas propiedades de gran resistencia que caracterizan al plástico ABS, se puede esperar que estas características aporten mejoras a las propiedades de la mezcla del concreto, para esto se va a realizar el procedimiento de mezclar concreto hidráulico con residuos de plástico de aparatos electrónicos, y de esta manera medir mediante ensayos de compresión, cómo afectó el plástico en el concreto y cuáles fueron los beneficios o desventajas.

2.1.4 Propiedades del concreto

2.1.4.1 Concreto fresco

El concreto recién mezclado debe ser plástico o semifluido y generalmente capaz de ser moldeado a mano, por eso, para que la mezcla sea adecuada debe tener o cumplir con ciertas características:

Trabajabilidad

La facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto fresco y el grado que resiste a la segregación se llama trabajabilidad. El concreto debe ser trabajable pero los ingredientes no deben separarse durante el transporte y el manejo. Si la consistencia es muy seca y rígida, la colocación y compactación del concreto serán difíciles y las partículas más grandes de agregados pueden separarse de la mezcla. Sin embargo, no debe suponerse que una mezcla más húmeda y fluida es más trabajable. Si la mezcla es muy húmeda, pueden ocurrir segregación y formación de huecos. La consistencia debe ser lo más seca posible para que aún se permita la colocación empleándose los equipos de consolidación disponibles. (Kosmatka, et al, 2004, p. 3)

Sangrado y Asentamiento

Sangrado (exudación) es el desarrollo de una lámina de agua en el tope o en la superficie del concreto recién colocado. Causada por la sedimentación (asentamiento) de las partículas sólidas (cemento y agregados) y simultáneamente la subida del agua hacia la superficie. El

sangrado es normal y no debería disminuir la calidad del concreto adecuadamente colocado, acabado y curado. Un poco de sangrado es útil en el control de la fisuración por contracción (retracción) plástica. Por otro lado, si es excesiva aumenta la relación agua-cemento cerca de la superficie; puede ocurrir una capa superficial débil y con poca durabilidad, particularmente si se hace el acabado cuando el agua de sangrado aún está presente. Los vacíos y bolsas de agua pueden ocurrir, resultantes del acabado prematuro de la superficie. (Kosmatka, et al, 2004, p. 4)

Consolidación

La vibración mueve las partículas del concreto recién mezclado, reduce el rozamiento (fricción) entre ellas y les da la movilidad de un fluido denso. La acción vibratoria permite el uso de mezclas más rígidas con mayores proporciones de agregado grueso y menores proporciones de agregados finos. Si el agregado es bien graduado, cuanto mayor es su tamaño máximo, menor es el volumen para llenarse por la pasta y menor es el área superficial para ser cubierta por la pasta, así menos agua y cemento son necesarios. El concreto con la granulometría óptima del agregado es más fácil de consolidarse y colocarse. La consolidación del agregado grueso, bien como de mezclas más rígidas mejoran la calidad y la economía. Por otro lado, la mala consolidación puede resultar en un concreto poroso y débil con poca durabilidad. (Kosmatka, et al, 2004, p. 4)

Hidratación, Tiempo de Fraguado y Endurecimiento

La calidad de unión (adherencia) de la pasta de cemento portland se debe a las reacciones químicas entre el cemento y el agua, conocidas como hidratación. El cemento portland no es un compuesto químico sencillo, es una mezcla de muchos compuestos. Cuatro de ellos totalizan 90% o más del peso del cemento portland. Además de estos compuestos principales, muchos otros desempeñan un papel importante en el proceso de hidratación.

Mientras el concreto se endurece, su volumen bruto permanece casi inalterado, pero el concreto endurecido contiene poros llenos de agua y aire, los cuales no tienen resistencia. La resistencia está en las partes sólidas de la pasta. Cuanto menos porosa es la pasta de cemento, más resistente es el concreto. Por lo tanto, al mezclarse el concreto, no se debe usar más agua que aquélla estrictamente necesaria para obtenerse un concreto plástico y trabajable. Aproximadamente se necesitan 0.4 gramos de agua por gramo de cemento para la hidratación completa del cemento (Powers 1948 y 1949). Sin embargo, la hidratación completa es rara en los concretos de las obras debido a una falta de humedad y al largo periodo de tiempo (décadas) que se requiere para obtener la hidratación total. Una vez que el concreto ha sido colocado y acabado, es deseable un endurecimiento rápido. (Kosmatka, et al, 2004, p. 5-6)

2.1.4.2 Concreto endurecido

De igual manera cuando el concreto ya está endurecido, hay ciertas características que debe tener para confirmar que se realizó de la mejor manera, algunas de estas son las siguientes:

Curado

El aumento de la resistencia con la edad continúa desde que:

- el cemento no hidratado aún esté presente
- el concreto permanezca húmedo o la humedad relativa del aire esté arriba de aproximadamente 80% (Powers 1948)
- la temperatura del concreto permanezca favorable y haya suficiente espacio para la formación de los productos de hidratación.

Cuando la humedad relativa dentro del concreto baja hasta cerca de 80% o la temperatura del concreto baja para menos del cero, la hidratación y la ganancia de resistencia se interrumpen. Si se vuelve a saturar el concreto después del periodo de secado (desecación), la hidratación empieza nuevamente y la resistencia vuelve a aumentar.

Sin embargo, es mucho mejor que el curado húmedo sea aplicado continuamente desde el momento de la colocación hasta que el concreto haya alcanzado la calidad deseada; una vez que el concreto se haya secado completamente, es muy difícil volver a saturarlo. (Kosmatka, et al, 2004, p. 6)

Velocidad de secado del concreto

El concreto no se endurece o se cura con el secado. El concreto (o más precisamente el cemento en él) necesita de humedad para hidratarse y endurecerse. Cuando el concreto se seca, la resistencia para de crecer; el hecho es que el secado no indica que haya ocurrido suficiente hidratación para que se obtengan las propiedades físicas deseables.

El conocimiento de la velocidad de desecación (tasa de secado) es útil para el entendimiento de las propiedades o condiciones físicas del concreto. Por ejemplo, como se mencionó, el concreto necesita tener suficiente humedad durante el periodo de curado para que el concreto se hidrate hasta que se puedan lograr las propiedades deseables. Los concretos recién colocados normalmente tienen abundancia de agua, pero a medida que el secado progresa de la superficie hacia el interior del concreto, el aumento de resistencia continúa solo hasta cada profundidad, desde que la humedad relativa en aquella profundidad permanezca arriba de los 80%. (Kosmatka, et al, 2004, p. 7)

Masa Volumétrica (Masa Unitaria, Densidad)

El concreto convencional, normalmente usado en pavimentos, edificios y otras estructuras, tiene masa volumétrica (masa unitaria, densidad) que varía de 2200 hasta 2400 kg/m3 (137 hasta 150 libras/piés3). La masa volumétrica del concreto varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento.

El peso del concreto seco es igual al peso de los ingredientes del concreto fresco menos el peso del agua de mezclado evaporable. Parte del agua de la mezcla combina químicamente con el cemento durante el proceso de hidratación, transformando el cemento en un gel de cemento. La cantidad del agua de mezclado que se evaporará del concreto expuesto en un medio ambiente con humedad relativa del 50% es cerca del 1⁄2% al 3% del peso del concreto; la cantidad real depende del contenido inicial de agua, de las características de absorción de los agregados y del tamaño y forma de los miembros del concreto. (Kosmatka, et al, 2004, p. 9)

Permeabilidad y estanquidad

El concreto usado en estructuras de retención de agua o expuestas a condiciones del tiempo u otras condiciones severas de exposición deben ser casi impermeables o estancas. La estanquidad (hermeticidad) es normalmente conocida como la habilidad del concreto en retener el agua sin escurrimiento o escape visible.

La permeabilidad es la cantidad de agua que migra a través del concreto, mientras que el agua está bajo presión o la habilidad del concreto en resistir a la penetración del agua u otra sustancia (líquidos, gases o iones). Generalmente, la misma propiedad que hace el concreto menos permeable también lo hace más estanco. La permeabilidad total del concreto al agua es función de:

- la permeabilidad de la pasta;
- la permeabilidad y la granulometría del agregado;
- la calidad de la pasta y de la zona de transición del agregado y
- la proporción relativa de pasta y agregado.

La disminución de la permeabilidad aumenta la resistencia al congelamiento y deshielo del concreto, la resaturación, la penetración de sulfatos y de iones cloruro y otros ataques químicos. (Kosmatka, et al, 2004, p. 10-11)

Resistencia a abrasión

Los pisos, pavimentos y estructuras hidráulicas son expuestos a abrasión o al desgaste, por lo que en estas aplicaciones el concreto necesita tener alta resistencia a abrasión. Los resultados de los ensayos (pruebas) indican que la resistencia a abrasión está fuertemente relacionada con la resistencia a compresión del concreto. Un concreto con mayor resistencia a compresión tiene más resistencia a abrasión que el concreto con menor resistencia a compresión. Como la resistencia a compresión depende de la relación agua-cemento y curado, una relación agua/cemento baja y el curado adecuado se hacen necesarios para la resistencia a abrasión. El tipo de agregado y el acabado de la superficie o el tratamiento usado también tienen gran influencia sobre la resistencia a abrasión. Un agregado duro es más resistente a abrasión que un agregado más blando y una superficie acabada con llana de metal resiste mejor al desgaste que una superficie que no ha sido alisada. (Kosmatka, et al, 2004, p. 12)

Estabilidad de volumen y control de fisuración (agrietamiento)

El concreto endurecido cambia de volumen con los cambios de temperatura, humedad y tensiones. Este cambio de volumen o de longitud puede variar del 0.01% al 0.08%.

El concreto bajo tensión se deforma elásticamente. Si se mantiene la tensión (esfuerzo), va a ocurrir una deformación adicional llamada fluencia (deformación diferida, flujo plástico).

El concreto mantenido continuadamente húmedo se expande (dilata) ligeramente. Pero cuando se permite su secado, el concreto se retrae. La contracción por secado aumenta directamente con el aumento del contenido de agua. La magnitud de la contracción también depende de muchos otros factores, tales como:

- la cantidad de agregado usado;
- propiedades del agregado;
- el tamaño y la forma del miembro de concreto;
- la humedad relativa y la temperatura del medio ambiente;
- el método de curado;
- el grado de hidratación y
- el tiempo (Kosmatka, et al, 2004, p. 13)

Juntas

Las juntas son el método más eficiente para el control de las fisuras. Si no se permite el movimiento del concreto (muros, losas, pavimentos) a través de juntas adecuadamente espaciadas para que la contracción por secado y la retracción por temperatura sean acomodadas, la formación de fisuras aleatorias va a ocurrir. (Kosmatka, et al, 2004, p. 13)

2.1.5 Resistencia del concreto

2.1.5.1 Resistencia a la compresión

La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Normalmente, se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm2), megapascales (MPa) o en libras por pulgadas cuadradas (lb/pulg2 o psi) a una edad de 28 días. Se pueden usar otras edades para las pruebas, pero es importante saber la relación entre la resistencia a los 28 días y la resistencia en

otras edades. La resistencia a los 7 días normalmente se estima como 75% de la resistencia a los 28 días y las resistencias a los 56 y 90 días son aproximadamente 10% y 15% mayores que la resistencia a los 28 días.

La determinación de la resistencia a compresión se obtiene a través de ensayos (experimentación, prueba) en probetas (muestras de prueba, muestras de ensayo, especímenes) de concreto o mortero. En los EE.UU., a menos que sea especificado de manera diferente, los ensayos en mortero se hacen en cubos de 50 mm (2 pulg.), mientras que los ensayos en concreto se realizan en cilindros de 150 mm (6 pulg.) de diámetro y 300 mm (12 pulg.) de altura. (Kosmatka, et al, 2004, p. 8-9)

2.1.5.3 Resistencia a la tracción

Puede definirse como la resistencia o la respuesta de cualquier material cuando está bajo esfuerzos de tensión.

La resistencia a torsión en el concreto está relacionada con el módulo de ruptura y las dimensiones de los miembros de concreto. Hsu (1968) presenta correlaciones para la resistencia a torsión.

Las correlaciones entre resistencia al cortante (corte) y resistencia a compresión se discuten en el ACI 318 código de construcción. La correlación entre resistencia a compresión y resistencia a flexión, tensión, torsión y cortante varía con los componentes del concreto y el medio ambiente. (Kosmatka, et al, 2004, p. 9)

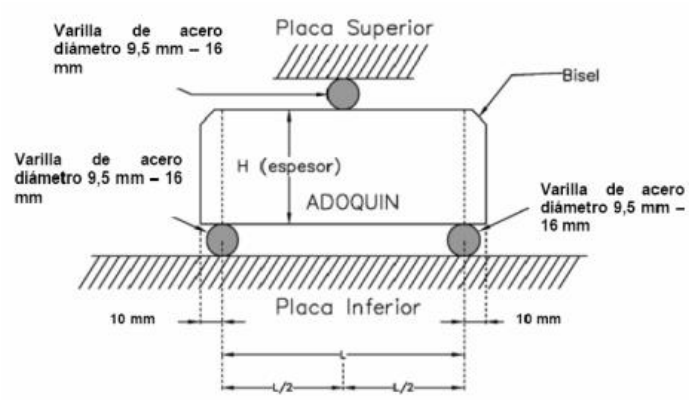
2.1.5.4 Resistencia a la flexión

La resistencia a flexión o el módulo de ruptura (rotura) se usa en el diseño de pavimentos u otras losas (pisos, placas) sobre el terreno. La resistencia a compresión, la cual es más fácil de medir que la resistencia a flexión se puede usar como un índice

de resistencia a flexión, una vez que la relación empírica entre ambas ha sido establecida para los materiales y los tamaños de los elementos involucrados. La resistencia a flexión de concretos de peso normal es normalmente de 0.7 a 0.8 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en megapascales o de 1.99 a 2.65 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en kilogramos por centímetros cuadrados (7.5 a 10 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en libras por pulgadas cuadradas). (Kosmatka, et al, 2004, p. 9)

Figura 6

Esquema de ensayo de flexión de adoquines (INTE 06-02-14)



Fuente: LANAMME, s.f.

2.1.6 Durabilidad del concreto

Según mencionan Muñoz y Mendoza (2012) en su investigación:

La durabilidad es la capacidad que tienen las estructuras de concreto reforzado de conservar inalteradas sus condiciones físicas y químicas durante su vida útil cuando se ven sometidas a la degradación de su material por diferentes efectos de cargas y solicitaciones, las cuales están previstas en su diseño estructural.

En la actualidad, una de las prioridades corresponde a la seguridad de las personas, los bienes inmuebles y la protección del medio ambiente. Por ello, las nuevas normativas buscan que las edificaciones sean idóneas para su uso durante su vida útil. Para eso se deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Los edificios deben de ser seguros y funcionales esto quiere decir, que las estructuras deben soportar las acciones mecánicas, físicas y químicas a las que puedan estar sometidas durante su construcción y su vida útil.
- Deben de ser capaces de soportar las acciones del fuego, reduciendo al mínimo el riesgo de que los usuarios de las edificaciones sufran daños.
- Las edificaciones deben cumplir mínimos de higiene, salud y protección del medio ambiente. (p. 4-9)

Sin embargo, lo mínimo que se establece en cuanto a concreto es lo siguiente:

- 50 años en viviendas u oficinas.
- Entre 15 a 20 años en edificios agrícolas o industriales.
- 100 años para monumentos.
- De 3 a 10 años en las estructuras que se consideran temporales.

Algunos aspectos importantes relacionados con la durabilidad del concreto corresponden a los siguientes:

- Resistencia al Congelamiento y Deshielo

Se espera que el concreto empleado en estructuras y pavimentos tenga una vida larga y poco mantenimiento. El concreto debe tener una buena durabilidad para resistir acondiciones de exposición anticipadas. El factor de intemperismo potencialmente más destructivo es la congelación y deshielo (hielo-deshielo) mientras el concreto está húmedo,

principalmente en la presencia de anticongelantes (descongelantes). El deterioro es causado por la congelación del aguay su posterior expansión en la pasta, agregado o ambos.

Si la pasta contiene aire incluido, ella va a acomodar la pequeña cantidad de agua en exceso que se pueda expeler de los agregados, protegiendo así el concreto contra el daño del congelamiento y deshielo. (Kosmatka, et al, 2004, p. 13-14)

- Reactividad Álcali-Agregado

La reactividad álcali-agregado es un tipo de deterioro que ocurre cuando los constituyentes minerales activos de algunos agregados reaccionan con los hidróxidos de álcalis en el concreto. La reactividad es potencialmente peligrosa sólo cuando produce expansión considerable. La reactividad álcali-agregado ocurre de dos formas – reacción álcali-sílice (RAS) y reacción álcali-carbonato (RAC). La reacción álcali-sílice es más preocupante que la reacción álcali-carbonato pues es más común la ocurrencia de agregados conteniendo minerales de sílice.

Las prácticas corrientes para el control de la reacción álcali-sílice incluyen el uso de materiales cementantes suplementarios o cementos adicionados. Estos materiales han sido verificados y comprobadamente pueden controlarla reacción álcali-sílice. Los materiales cementantes suplementarios incluyen cenizas volantes, escoria granulada de alto horno, sílice activa (humo de sílice, microsílice) y puzolanas naturales. (Kosmatka, et al, 2004, p. 15)

- Carbonatación

La carbonatación del concreto es un proceso por el cual el dióxido (bióxido) de carbono del aire penetra en el concreto y reacciona con los hidróxidos, tales como los hidróxidos de calcio para formar carbonatos (Verbeck, 1958). En la reacción con el hidróxido de

calcio hay formación decarbonato de calcio. La carbonatación y el secado rápido del concreto fresco pueden afectar la durabilidad de la superficie, pero esto se puede evitar con el curado adecuado. La carbonatación del concreto endurecido no hace daño a la matriz del concreto. Sin embargo, la carbonatación reduce considerablemente la alcalinidad (pH) del concreto. La alta alcalinidad es necesaria para la protección de la armadura contra la corrosión y, por consiguiente, el concreto debe ser resistente a la carbonatación para prevenirse la corrosión del acero de refuerzo. (Kosmatka, et al, 2004, p. 15)

- Resistencia a los Cloruros y Corrosión de la Armadura

El concreto protege a la armadura embutida de la corrosión, debido a su alta alcalinidad. El ambiente de pH alto en el concreto (normalmente mayor que 12.5) promueve la pasivación y la formación sobre el acero de una película de protección de óxido no corrosivo. Sin embargo, la presencia de iones de cloruros de los anticongelantes y del agua del mar puede destruir o penetrar en la película. Cuando se alcanza el límite de corrosión por cloruros (aproximadamente 0.15% cloruros solubles en agua por peso de cemento), una célula eléctrica se forma a lo largo del acero y entre las barras de acero y el proceso electroquímico de la corrosión empieza.

Otros métodos de reducción de corrosión de acero incluyen el uso de aditivos inhibidores de corrosión, acero revestido con epoxi, tratamientos de superficie, revestimiento del concreto y protección catódica. (Kosmatka, et al, 2004, p. 16)

- Resistencia Química

El concreto de cemento portland es resistente a la mayoría de los medios ambientes; sin embargo, el concreto a veces es expuesto a substancias que pueden atacar y causar de-

terioración. El concreto en la industria química y en las instalaciones de almacenamiento es especialmente propenso al ataque químico. El efecto del sulfato y de los cloruros se discute en este capítulo. En el ataque ácido del concreto hay disolución de la pasta de cemento y de los agregados calcáreos. Además del uso de concreto con baja permeabilidad, los tratamientos de superficie pueden ayudar a evitar que las substancias agresivas entren en contacto con el concreto. (Kosmatka, et al, 2004, p. 17)

- Sulfatos y Cristalización de Sales

Muchos sulfatos presentes en el suelo y en el agua pueden atacar y destruir un concreto que no fue adecuadamente diseñado. Los sulfatos (por ejemplo, sulfato de calcio, sulfato de sodio y sulfato de magnesio) pueden atacar un concreto pues reaccionan con los compuestos hidratados en la pasta de cemento hidratada. Estas reacciones pueden crear presiones suficientes para romper la pasta de cemento, resultando en desintegración del concreto (pérdida de cohesión de la pasta y de resistencia). El sulfato de calcio ataca el aluminato de calcio hidratado y forma etringita. El sulfato de sodio reacciona con el hidróxido de calcio y aluminato de calcio hidratado, formando etringitae yeso.

El ataque de sulfatos y la cristalización de sales son más severos donde el concreto está expuesto a ciclos de mojadura y secado, que donde el concreto está constantemente mojado. Esto normalmente puede ser visto en postes de concreto donde el concreto se ha deteriorado sólo pocos centímetros encima y abajo del nivel del suelo. La porción del concreto en la parte más profunda del suelo (donde está continuamente mojado) está en buenas condiciones. (Kosmatka, et a,l 2004, p. 17-18)

- Exposición al Agua del Mar

El concreto se ha usado en ambientes marinos por décadas con buen desempeño. Sin embargo, son necesarios cuidados especiales en el diseño de las mezclas y en la selección de los materiales para estos ambientes severos. Una estructura expuesta al agua del mar o al rociamiento del agua del mar es más vulnerable en la zona de marea o salpicadura, donde hay ciclos repetidos de mojadura y secado y/o congelamiento y deshielo. Los sulfatos y los cloruros presentes en el agua del mar requieren el uso de concretos de baja permeabilidad para minimizar la corrosión de la armadura y el ataque de sulfatos (Kosmatka, et al, 2004, p. 19)

- Etringita y Expansión Retardadas por calor inducido

La etringita, una forma de sulfoaluminato de calcio, se encuentra en cualquier parte de cemento. Las fuentes de sulfato de calcio, tal como yeso, se adicionan al cemento portland durante la molienda final en el molino de cemento para prevenir el fraguado rápido y para mejorar el desarrollo de resistencia. El sulfato está presente, también, en los materiales cementantes suplementarios y en los aditivos. El yeso y otros compuestos de sulfatos reaccionan con el aluminato de calcio en el cemento y forman etringita durante un periodo de pocas horas después del mezclado con el agua.

La expansión retardada por calor inducido (ERCI), también llamada deformación retardada de etringita (FRE), se refiere a una condición rara de ataque de sulfatos internos* a través de la cual el concreto maduro se expande y se fisura. Sólo los concretos con composiciones químicas particulares son afectados cuando alcanzan temperaturas altas, después de algunas horas de su colocación (entre 70°C y 100°C [158°Fy 212°F], dependiendo de los componentes del concreto y del tiempo decorrido desde la colocación hasta que la temperatura se alcance). (Kosmatka, et al, 2004, p. 19-20)

2.1.7 Control de calidad del concreto

Para cualquier tipo de construcción u obra, es necesario que el concreto a utilizar cuente con ciertas propiedades para lograr un buen desempeño, y para lograr esto, se deben realizar algunos ensayos o pruebas. Kosmatka, et al (2004) comenta a cerca de los ensayos lo siguiente:

> Los resultados de los ensayos fornecen informaciones importantes para basar las decisiones con respecto a los ajustes del diseño de la mezcla. Sin embargo, la experiencia pasada y el buen juicio se deben basar en la evaluación de las pruebas y de su significado en el control de los procesos de diseño, revoltura (bachada, amasada) y colocación (colado), los cuales influencian el comportamiento final del concreto. (p. 325)

2.1.7.1 Clases de ensayos

Las especificaciones del proyecto pueden tener un impacto en:

- El tamaño máximo de agregado, la proporción de agregado o el contenido mínimo de cemento
- Características del agua, agregados y aditivos.
- Características de temperatura, asentamiento, contenido de aire y resistencia a la compresión o flexión del concreto recién mezclado y endurecido.

ENSAYOS DE AGREGADOS

Muestreo de Agregados

Los métodos para la obtención de muestras significativas de los agregados (áridos) se presentan en ASTM D 75 (AASHTO T 2), COVENIN 0270, IRAM 1509, NCh164.E, NGO 41 057, NMX-C-030, NTC 129, NTE 0695, NTP400.010, UNIT-NM 26. La localización en el proceso de producción donde las muestras van a ser obtenidas debe ser planeada cuidadosamente. El muestreo en las esteras (bandas) transportadoras,

pilas de almacenamiento o tolva (cubo, cubeta) de agregado puede requerir equipos especiales de muestreo. Se deben tomar precauciones paraque se obtenga una muestra lejos de la parte segregada de la pila y en cantidad suficiente para atender el tamaño mínimo requerido por las normas. Además de esto, las muestras para la determinación del contenido de humedad se deben colocar en recipientes sellados o en bolsas de plástico, lo más pronto posible, para retener la humedad hasta que se haga la prueba.

La reducción de muestras grandes de campo para cantidades pequeñas de pruebas individuales se debe ejecutar con cuidado, a fin de que las muestras finales sean realmente representativas (ASTM C 702 [AASHTO T 248], NMX-C-170-1997-ONNCCE, NTC 3674, NTE 0695, UNIT-NM 27). (Kosmatka, et al, 2004, p. 327)

Impurezas Orgánicas

Las impurezas orgánicas en los agregados finos se deben determinar de acuerdo con ASTM C 40 (AASHTO T 21), COVENIN 0256, NCh166, NMX-C-088-1997-ONNCCE, NTC 127, NTP400.024, UNIT-NM 49. Se coloca una muestra de agregado fino en una solución de hidróxido de sodio y se la agita.

Si la apariencia de la superficie del concreto no es importante, la ASTM C 33 (AASHTO M 6), NCh163, IRAM 1512, IRAM1531, NMX-C-111, NTC 174, NTP400.037, UNIT 84 declaran que el agregado fino es aceptable si la cantidad de carbón y lignita no exceden al 1% de la masa total de agregado fino. Se puede usar el agregado fino que no atiende a este límite si, al ensayarlo de acuerdo con ASTMC 87 (AASHTO T 71), COVENIN 0275, IRAM 1647, NMX-C-07, NTC 579, NTP400.013, la resistencia a compresión a los 7 días de cubos de mortero producidos con este agregado (ASTM C 109 o AASHTO T 106, COVENIN 484,NTC 220, NTE 0488, NTP334.051) es, por lo menos, 96%de la resistencia del mortero producido con la

misma arena, pero lavada en una solución de 3% de hidróxido de sodio y enjuagada totalmente con agua. (Kosmatka, et al, 2004, p. 327)

Material Fino Objetable

Grandes cantidades de arcilla y limo en agregados puede afectar adversamente la durabilidad, aumentar la demanda de agua y aumentar la contracción (retracción). Las especificaciones normalmente limitan la cantidad de material que pasa por el tamiz (malla, cedazo) No. 200(75 μm) a 2% o 3% en el agregado fino y a 1% o menos en el agregado grueso. Las pruebas para el material más fino que 75μm (tamiz No. 200) deben estar de acuerdo con ASTM C 117 (AASHTO T 11), IRAM 1540, NMX-C-084, NTC 78, NTE 0697, NTP400.018, UNIT-NM 46. LaNCh1223 es una prueba para el material más fino que80μm. Las pruebas de terrones de arcilla deben estar de acuerdo con la ASTM C 142 (AASHTO T 112), COVENIN0257, IRAM 1647, NMX-C-071, NCh1327, NTC 589, NTE0698, NTP400.015 o UNIT-NM 44. (Kosmatka, et al, 2004, p. 327)

Granulometría

La granulometría de los agregados afecta considerablemente a proporción de la mezcla de concreto y su trabajabilidad. Las pruebas de granulometría son elementos importantes para la garantía de la calidad. La granulometría o la distribución de los tamaños de partículas del agregado se determina por el análisis de la prueba, en la cual las partículas se separan en sus varios tamaños a través de tamices estándares. El análisis debe ser realizado de acuerdo con ASTM C 136 (AASHTO T 27), COVENIN0255, IRAM 1505, IRAM 1627, NMX-C-077, NCh165, NTC77, NTE 0696, NTP400.012 o UNIT 48. Los resultados de los análisis se usan de tres maneras: para determinar si los materiales obedecen las especificaciones; para seleccionar el material más adecuado, si hay varios

agregados disponibles y; para detectar variaciones en la granulometría que son suficientes para justificar la mezcla de tamaños seleccionados o un ajuste de las proporciones de la mezcla de concreto.

Los requisitos de granulometría de los agregados para concreto se presentan en el Capítulo 5 y en las normas ASTM C 33 (AASHTO M 5/M80), COVENIN 277, IRAM 1627, NCh163, NMX-C-111, NTC 174, NTP400.037o UNIT 82. (Kosmatka, et al, 2004, p. 328)

Contenido de Humedad en los Agregados

El contenido total de humedad en el agregado fino y en el agregado grueso se puede ensayar de acuerdo con las normas ASTM C 566 (AASHTO T 255), COVENIN 1375, NMX-C-166, NTC 1776, NTP339.185. En este método una muestra medida de agregado húmedo se seca en un horno convencional ventilado, en un horno de microondas, en un horno eléctrico o sobre una placa directa al fuego. A través de la masa antes y después del secado, se puede calcular el contenido de humedad como sigue:

$$P = 100\frac{H - S}{S}$$

Siendo:

P=contenido de humedad de la muestra en porcentaje

H =masa original de la muestra

S=masa seca de la muestra

El contenido de humedad en la superficie es igual a la humedad total menos la humedad absorbida. Sin embargo, si no hay datos recientes disponibles, se los puede determinar a través de ASTM C 127(AASHTO T 85), COVENIN 0269, IRAM 1533, NCh1117, NMX-C-164, NTC 176, NTP400.021, UNIT-NM 30 y UNIT-NM 53 para

el agregado grueso y ASTM C 128[AASHTO T 84], COVENIN 0268, IRAM 1520, NCh1239, NMX-C-165, NTC 237, NTP400.022, UNIT-NM 64, UNIT-NM 52 para el agregado fino. (Kosmatka, et al, 2004, p. 328-329)

ENSAYOS DEL CONCRETO FRESCO

Muestreo del Concreto Fresco

Se debe enfatizar la importancia de la obtención de muestras realmente representativas del concreto fresco para los ensayos de control. Amenos que la muestra sea representativa, los resultados de las pruebas serán engañosos. Las muestras se deben obtener y manejar de acuerdo con ASTM C 172 (AASHTO T 141), COVENIN 0344, IRAM1541, NMX-C-161-1997-ONNCCE, NCh171.E, NGO 41057, NTC 454, NTE 1763, NTP339.036, UNIT-NM 33. A excepción de las pruebas de rutina, tales como revenimiento (asentamiento) y contenido de aire, realizadas para el control del proceso, la ASTM C 172(AASHTO T 141) requiere que el tamaño de la muestra para el propósito de aceptación debe ser, por lo menos, 28 litros y se la debe obtener durante los 15 minutos entre la primera y la última porción de la amasada (bachada, revoltura). La muestra compuesta, producida con dos o más porciones, no se debe tomar enseguida a la porción inicial de la descarga, ni tampoco a la porción final. (Kosmatka, et al, 2004, p. 329)

Consistencia

El ensayo de revenimiento o asentamiento del cono de Abrams, ASTM C 143 (AASHTO T 119), COVENIN 0339, IRAM 1536, NCh1019, NMX-C-156-1997-ONNCCE, NTC3696, NTE 1578, NTP339.035, UNIT-NM 67 es el método más ampliamente aceptable y utilizado para medir la consistencia del concreto (Fig. 16-2). El equipo de prueba consiste en un cono de revenimiento (molde cónico de metal300 mm

[12 pulg.] de altura, con 200 mm [8 pulg.] de diámetro de base y 100 mm [4 pulg.] de diámetro de la parte superior) y una varilla de metal con 16 mm de diámetro (5⁄8 pulg.) y 600 mm (24 pulg.) de longitud con una punta de forma hemisférica. El cono húmedo, colocado verticalmente sobre una superficie plana, rígida y no absorbente, se debe llenar en tres capas de volúmenes aproximadamente iguales. Por lo tanto, se debe llenar el cono hasta una profundidad de 70 mm (2 1⁄2pulg.) en la primera capa, una profundidad de 160 mm (6 pulg.) en la segunda y la última capa se debe sobrellenar. Se aplican 25 golpes en cada capa. Después de los golpes, se enrasala última capa y se levanta el cono lentamente aproximadamente 300 mm (12 pulg.) en 5 ±2 segundos. (Kosmatka, et al, 2004, p. 330)

Medición de la Temperatura

Como la temperatura del concreto tiene una gran influencia sobre las propiedades tanto del concreto fresco como del endurecido, muchas especificaciones limitan la temperatura del concreto fresco. Están disponibles termómetros de vidrio o con coraza. El termómetro debe tener precisión de ±0.5°C (±1°F) y debe permanecer en una muestra representativa de concreto, por lo menos, 2 minutos o hasta que la lectura se estabilice. Un mínimo de 75 mm de concreto debe rodear la porción sensitiva del termómetro. También están disponibles los medidores de temperatura electrónicos con lectura digital. La medición de la temperatura (ASTM C 1064 [AASHTOT 309], NTP339.184) se debe terminar en un periodo de 5minutos después de la tomada de la muestra. (Kosmatka, et al, 2004, p. 331)

Densidad y Rendimiento

La densidad (peso unitario, peso volumétrico, peso específico) y el rendimiento del concreto fresco se determinan de acuerdo con ASTM C 138 (AASHTO T121), COVE-NIN 0349, IRAM 1562, NCh1564, NGO 41 017h5, NMX-C-162-ONNCCE-2000, NTP339.046, UNIT-NM56. Los resultados deben ser suficientemente precisos para determinar la cantidad volumétrica (rendimiento) del concreto producido en cada mezcla. La prueba también fornece una indicación del contenido de aire, desde que se conozcan las densidades relativas de los ingredientes. Se requiere una balanza o una báscula con precisión de 0.3% de la masa prevista de la muestra y del recipiente. Por ejemplo, un recipiente con 7 litros (0.25pies3) requiere una balanza con precisión de 50g (0.1 lb). El tamaño del recipiente empleado en la determinación del peso específico y del rendimiento varía con el tamaño del agregado. (Kosmatka, et al, 2004, p. 331)

Contenido de Aire

Se pueden utilizar varios métodos para medir el contenido de aire del concreto fresco. Las normas incluyen el método por presión (ASTM C 231, AASHTO T 152), COVE-NIN 0348, IRAM 1602, NGO 41 017 h7, NMX-C-157, NTC 1032, NTP339.080, UNIT-NM 47, el método volumétrico (ASTMC 173, AASHTO T 196), COVENIN 0347, IRAM 1511, NGO41 017 h6, NMX-C-158, NTC 1028, NTP339.081 y el método gravimétrico (ASTM C 138 [AASHTO T 121], COVENIN 0349, NCh1564, NGO 41 017 h5, NMX-C-162-ONNCCE-2000, NTP339.046, UNIT-NM 56). (Kosmatka, et al, 2004, p. 331-332)

Especímenes para Resistencia

Los especímenes (probetas) moldeados para los ensayos de resistencia se deben preparar de acuerdo con ASTM C 31(AASHTO T 23), COVENIN 0338, IRAM 1524,

NCh1017, NGO 41 061, NTC 550, NMX - C-160 y NTP339.033 (pro- betas moldeadas en la obra) o ASTM C 192 (AASHTO T126), COVENIN 0340, COVENIN 0338, IRAM 1534, NGO41 060, NMX-C-159, NTC 1377, 339.045 y UNIT-NM 79 (probetas moldeadas en el laboratorio). La preparación de los especímenes debe empezar, al máximo, 15 minutos después de la obtención de la muestra del concreto. La probeta estándar para la resistencia a compresión del concreto con agregado de dimensión máxima de50mm (2 pulg.) o menor es un cilindro de 150 mm(6pulg.) de diámetro por 300 mm (12 pulg.) de altura. Para agregados mayores, el diámetro del cilindro debe ser, por lo menos, tres veces mayor que la dimensión máxima del agregado y la altura debe ser dos veces el diámetro. Aunque se prefieren los moldes metálicos rígidos, se puede usar moldes de plástico, de cartón parafinado u otro tipo de molde desechable, conforme ASTM C 470 y NMX-C-281. (Kosmatka, et al, 2004, p. 333)

Tiempo de Fraguado

Los métodos de ensayo ASTM C 403 (AASHTO T 197) COVENIN 0352, IRAM 1662, NCh2183, NGO 41 017 h12, NMX-C-177-1997-ONNCCE, NTC 890, NTP339.082, UNIT-NM 9 se usan para determinar el tiempo de fraguado del concreto, midiéndose la resistencia a la penetración producida en intervalos de tiempo regulares sobre el mortero de la mezcla de concreto. El tiempo de fraguado inicial y final se determinan como el tiempo correspondiente a la resistencia a la penetración es 35 kg/cm2 o 3.5 MPa (500 lb/pulg2) y 280 kg/cm2 o 27.6MPa (4000 lb/pulg2), respectivamente. Normalmente, el inicio de fraguado ocurre entre 2 y 6 horas después del mezclado, y el final ocurre entre 4 y 12 horas. La velocidad de endurecimiento del concreto influencia grandemente la tasa de progreso de la construcción. La temperatura, la relación agua-material cementante y los aditivos afectan el tiempo de fraguado. (Kosmatka, et al, 2004, p. 335)

2.1.8 Diseño de mezcla del concreto

Cuando se habla de diseño de mezcla, este en palabras sencillas, se puede definir como el calcular las proporciones de los componentes (en este caso, cemento, agua, agregados finos, agregados gruesos y los aditivos) para obtener los mejores resultados según la finalidad o el uso del concreto. Para realizar estos diseños de mezcla del concreto, son utilizadas algunas normas o métodos para hacerlo correctamente.

2.1.8.1 Método del A.C.I. 211

Las iniciales A.C.I. corresponden al nombre American Concrete Institute, que en español es el Instituto Americano del Concreto. Este instituto se encarga de realizar normas y algunas recomendaciones técnicas con respecto al concreto, las cuales son de gran importancia en el área de la construcción.

Este método se puede utilizar para concretos con o sin aditivos o materiales cementicios, para mezclas con peso unitario entre 2 300 o 2450 kg/m3 y agregados de peso normal o mayores a 2.8 y que cumplan con los requisitos granulométricos del ASTM C33.

Son necesarios algunos datos como granulometría, peso específico, humedad actual y de absorción y peso unitario de los agregados, también el peso específico del cemento, además de la resistencia a la compresión requerida y especificada del concreto.

También alguna información de tipo experimental, como el revenimiento o la correlación que hay entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión, sin embargo, esta puede ser reemplaza por valores empíricos tabulados.

Este método utiliza un sistema de tablas para lograr el diseño y los cálculos, además, se divide en varios pasos:

Paso 1: Elección del asentamiento

Cuando no se especifique, se procede a la elección del revenimiento mediante la siguiente tabla

Tabla 7

Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción

Tipos de construcción	Revenimientos (cm)	
	Máx. (*)	Mín.
Muros y zapatas de cimentación de concreto reforzado	8	2
Zapatas de concreto simple, cajones y muros de subestructuras sencillos	8	2
Vigas, columnas y muros reforzados para edificios	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Concreto masivo	5	2

(*) Pueden incrementarse en 2.5 cm. Cuando la compactación no sea mediante vibrado

(**) El rango del "slump" estará dentro del máximo rango envolvente ("overall")

Fuente: A.C.I, 2002.

Paso 2: Elección del tamaño máximo del agregado.

El tamaño máximo nominal debería ser lo más grande económicamente disponible y consistente con las dimensiones de la estructura.

No debe exceder de un quinto de la menor dimensión entre los moldes, un tercio del espesor de las losas o tres cuartos del mínimo espacio libre entre las barras del refuerzo. (ACI, 2002, p.13)

Paso 3: Estimación del agua de mezclado y del contenido de aire.

Según menciona ACI (2002) sobre el método del A.C.I. "La cantidad de agua depende básicamente del valor del slump requerido y, entre otros factores, de características del agregado y del contenido de aire. Valores recomendados en tabla." (p. 14)

Tabla 8

Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos del agregado

Revenimiento (cm)	Agua en kg/m3 de concreto para los tamaños máximos nominales en mm						
	10	12.5	20	25	40	50*	75*
Concreto sin aire incluido							
3 a 5	205	200	185	180	160	155	145
8 a 10	225	215	200	195	175	170	160
15 a 18	240	230	210	205	185	180	170
	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3
Concreto con aire incluido							
3 a 5	180	175	165	160	145	140	135
8 a 10	200	190	180	175	160	155	150
15 a 18	215	205	190	185	170	165	160
Promedio recomendado de contenido total de aire (%)							
Exposición:							
Ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5**
Moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5**
Severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5**

(*) Los valores del revenimiento se basan en las pruebas de revenimiento después de la remoción de las partículas mayores de 40 mm., mediante tamizado húmedo.

(* *) Las pruebas de contenido de aire se realizan después de la remoción de las partículas mayores de 40mm. mediante tamizado húmedo. Los resultados de tomaran como un porcentaje del total

Fuente: A.C.I, 2002.

Paso 4: Elección de la relación agua/cemento

Según menciona ACI (2002):

Está determinada por la resistencia requerida y por la durabilidad.

La resistencia se mide en un ensayo de compresión simple en probetas cilíndricas de concreto (D = 150 mm, H = 300 mm), a la edad de 28 días.

En ausencia de datos, usar valores de tabla (conservadores). (p. 17)

Tabla 9

Correspondencia entre la relación agua/cemento, en peso (w/c) y la resistencia a la compresión simple del concreto.

Resistencia a compresión a los 28 días (kg/cm2) (*)	Relación agua/cemento, por peso (w/c)	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Notas (*)

-Los valores son resistencias promedio, estimadas para concretos que no contienen más aire del porcentaje que se indica en la tabla # 2.

-Para una relación w/c constante. Se reduce la resistencia del concreto conforme se incrementa el contenido de aire.

-La resistencia se toma en cilindros de 15 x 30 cm. Curados con humedad a los 28 días, a 23 +/-1.7 °C.

-Cuando se use (comento + puzolana), como cementante, se tomará en cuenta la relación: w / (c+p)

Fuente: A.C.I, 2002.

Tabla 10

Relaciones agua / cemento máximas permisibles para concretos sujetos a condiciones severas, en atención a su durabilidad en el tiempo de servicio.

Tipo de estructura	Estructura continua o frecuentemente expuesta a:	
	Humedad (mojada) y A congelación y deshielo (*)	Agua de mar o a sulfatos
Secciones esbeltas (barandas, bordillos, durmientes, obras ornamentales) y secciones con menos de 3 cm. de recubrimiento al acero de refuerzo	0.45	0.40**
Demás estructuras	0.50	0.45**

Notas : (*) El concreto también debe tener aire incluido

(**) Si se emplea cemento tipo II o tipo V (de la Norma ASTM C150) la relación w/c permisible, debe incrementarse en 0.05

Fuente: A.C.I, 2002.

Paso 5: Determinación del contenido de agregado grueso.

"Para agregados de un tamaño máximo y gradación determinados, se obtendrá un concreto de trabajabilidad adecuada para un determinado volumen de agregado grueso, compactado y secado en horno, por unidad de volumen de concreto." (ACI, 2002, p. 21)

Tabla 11

Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto (volumen = 1.00)

Tamaño máximo del agregado grueso		Volumen de agregado grueso (*) varillado en seco, por volumen unitario de concreto, para diferentes Módulos de Fineza de la arena			
(mm.)	(pulg.)	2.4	2.6	2.8	3.0
10	3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	½"	0.59	0.57	0.55	0.53
20	¾"	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 ½"	0.77	0.73	0.71	0.69
50	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
75	3"	0.81	0.80	0.78	0.76

Notas : (*) Los volúmenes pueden incrementarse en 10 % para concretos menos trabajables (pavimentos) o disminuirse para concretos bombeables y concretos densamente armados. Se debe garantizar el revenimiento, la relación w/c y la resistencia.

Fuente: A.C.I, 2002.

Paso 6: correcciones por humedad de los agregados.

Paso 7: ajustes por tandas de prueba.

Por último, se debe rediseñar la mezcla para mantener la relación agua/cemento con el peso modificado de agua.

2.1.9 Centros de acopio

Cuando se habla de acopio, se entiende como una acumulación o almacenamiento de cualquier cosa, y un centro de acopio es justamente un lugar o un punto en el cual hay un almacén de alguna cosa en específico o varias de ellas.

Específicamente los centros de acopio de residuos se enfocan en recibir todo tipo de materiales o elementos a los que las personas les han dejado de dar un uso, para posteriormente tratarlos según sea necesario.

Según menciona Martínez (2021):

> Los artículos que reciben los centros de acopio son entregados a las recicladoras, quienes se encargan de procesarlos y realizar su correcta disposición. En ocasiones, los centros hacen entrega de los artículos a un comercializador -no confundir con reciclador- por lo que existe la opción de que no sean reciclados de forma correcta, este acto lo realizan con el fin de ser sostenibles.
>
> Gracias a los centros de acopio se facilita la entrega de diversos residuos por la cercanía a la población dentro de la ciudad, colaborado con el cuidado del medio ambiente y la educación ambiental. (párr. 6-7)

Las recicladoras por su parte se encargan de tomar algunos desechos como papel, metal, plástico o vidrio, para llegar a un material base que posteriormente se pueda utilizar en nuevos artículos.

2.1.9.1 Importancia del reciclaje de aparatos electrónicos

Los aparatos electrónicos se definen como cualquier dispositivo que necesite alimentarse de una fuente eléctrica para su correcta función, estos aparatos, normalmente contienen materiales como metales, plásticos y vidrios, que en el proceso de reciclaje se extraen para ser utilizados nuevamente como una materia prima, evitando o disminuyendo la extracción las

materias primas, reduciendo la contaminación del suelo, aire y agua, además de cuidar los recursos naturales. Además, recordar el daño que puede crear este tipo de desechos en los ecosistemas o directamente a los animales.

Figura 7

Ave afectada por el plástico que hay en los mares.



Fuente: Hazte Eco, 2016.

Para poder fungir como una recicladora se debe contar con los permisos pertinentes para el tipo de residuo en el que se quiere especializar, esto permite que se pueda: recolectar, acopiar y a diferencia de un centro de acopio, tratar un residuo bajo una autorización de nivel federal, estatal y municipal.

Reciclar es un proceso de transformación de los materiales que ya cumplieron su vida útil, haciendo que este se alargue por más tiempo evitando que terminen en rellenos sanitarios, ya que el material se reincorpora a la cadena productiva para la creación de nuevos productos.

El reciclaje es una acción amigable con el medioambiente, si tienes cosas que ya no usas y piensas tirar, mejor dales una segunda oportunidad, tu contribución es una gran ayuda al planeta. (Martínez, 2021, párr. 9-11)

Si bien el reducir el consumismo se ha planteado siempre como una buena opción, aunque esto sucediera, se seguirían produciendo igualmente miles de deseños en el planeta, por lo que la mejor solución está en el correcto reciclaje de estos residuos, e implementar esta cultura de reciclaje en las personas.

2.1.10 Adoquines

Los adoquines son elementos creados con base en el concreto, como menciona López (2017):

> Los adoquines son piezas prefabricadas de hormigón en masa, normalmente bicapa, que pueden tener multitud de tamaños y formatos. La definición de adoquín según la Norma Europea de producto, indica que cualquier sección transversal a una distancia de 50 mm de cualquiera de los bordes del adoquín, no tendrá una dimensión horizontal inferior a 50 mm. Además, la longitud total dividida por el espesor será menor o igual que cuatro. (párr. 1)

Los espacios con adoquines pueden llegar a verse bastante bonitos, pueden dar un acabado estéticamente mejor, son muy usados en la parte de pavimentos, para la creación de aceras, y creación o decoración de patios y jardines.

Figura 8

Adoquines de concreto



Fuente: Concrepal, s.f.

2.1.10.1 Tipos de adoquines

López (2017) menciona sobre los adoquines lo siguiente:

> La gama de adoquines presentes en el mercado es muy extensa, contando con una variedad enorme de acabados obtenidos a partir de diferentes texturas (pulidas, con relieves, ranuras); colores (uso muy extendido de los pigmentos), degradados para obras de rehabilitación en zonas antiguas que se pretenda simular las piezas antiguas (piedra) o destonificados (distintos tonos dentro de la misma pieza); geometrías, combinaciones de distintos formatos, etc. consiguiendo así lograr distintos efectos estéticos que le permiten al proyectista explotar al máximo su libertad creativa. La tipología más básica es la del adoquín rectangular de borde liso, pero podemos encontrarnos elementos cuadrados, poligonales, con bordes especiales (redondeados, biselados), etc. (párr. 3)

Como los adoquines son utilizados para adornar o dar un acabado muy estético a los pavimentos, aceras, jardines y demás, existe gran variedad de ellos en muchos aspectos como colores, texturas, formas y tamaños.

Además, se puede considerar diferentes materiales para la creación de estos, a pesar de que el concreto es el más común, se usa también arcilla, piedra caliza, arenisca, caolín, granito, basalto, grava, y otros más.

En Costa Rica, el mercado tiene una gran variedad, existen diferentes tamaños para los adoquines rectangulares (holandés), como lo son 6x10x20, 40x60x5,5 y 8x10x20 centímetros, existen también circulares de 30x5 centímetros, y cuadrados (romanos) de 30x30x5 cm. Cada uno de estos puede variar en color gris, amarillo, rojo u otros.

También existen en el mercado del país diferentes formas, como los “zacate block”, que tienen formas cuadradas libres para que sobresalga la zona verde, y los “aqua bricloc” que tienen formas bastante particulares.

Existen en el mercado, los adoquines alemán y lisboa que tienen formas diseñadas para lograr entrelazar las piezas entre sí, los adoquines greco y toledo se enfocan en dar un acabado tipo tejido.

Figura 9

Tipos de adoquines



Fuente: La Cantera, 2019.

2.1.10.2 Fabricación de un adoquín

Los adoquines son elementos normalmente prefabricados de concreto, su creación conlleva el siguiente procedimiento.

Lo primero que se debe hacer, es realizar la mezcla de concreto para los adoquines, esta normalmente se compone de cemento, arena, piedra de tamaño pequeño, agua y algunos aditivos opcionales para curar, reducir la eflorescencia y desmoldar.

Lo ideal es mezclar los agregados primero, incluso con algún pigmento si se desea dar color al adoquín, seguido de esto, el polvo de cemento y, por último, el agua, la cual lleva los aditivos que se desee agregar, una cantidad de agua pequeña en comparación con las demás proporciones, ya que la mezcla no debe ser tan fluida.

Se elige el tamaño de molde a utilizar, y se llena el molde con la mezcla, utilizando vibración para una distribución uniforme de la mezcla, luego se comprime mediante una máquina, y se desmolda normalmente en una tabla de madera, la cual debe estar curada para evitar que el adoquín se pegue a ésta.

Una vez desmoldado en la tabla de madera, se lleva al lugar de secado, el cual puede ser un patio, donde estará algunos días para que fragüe, luego puede ser movido a un almacén donde estará terminando su proceso de fraguado y curado para su posterior transporte y uso.

Figura 10

Fabricación de adoquines



Fuente: Sin ruta al campo, 2019.

2.1.10.3 Usos del adoquín

Los adoquines “holandés” o “romanos”, son de los más comunes, por su forma simple y útil, tiene una resistencia y durabilidad alta. Su forma hace posible una gran variedad de

combinaciones a la hora de instalarlo. Puede utilizarse de forma peatonal, para tránsito vehicular, parqueo, acceso residencial, ciclovías y parques.

Los adoquines “alemán” y “lisboa”, con un diseño para lograr un entrelazado fuerte entre piezas, lo hace ideal para instalaciones en zonas de alto tránsito vehicular, zonas industriales, patios de maniobras de vehículos pesados y zonas de almacenamiento de contenedores.

Los adoquines “greco” y “toledo” tienen un acabado tipo tejido, adecuado para calles, patios, plazas, ciclovías y senderos.

En adoquines como el “zacate block” su propio diseño abierto permite que la infiltración del agua seda al terreno y estos espacios puedan contener zacate o piedra decorativa.

Su uso en las construcciones tiene varias ventajas, algunas de ellas son:

- En comparación con un pavimento de asfalto, por ejemplo, es más fácil que el agua o la lluvia pueda pasar al suelo y capas inferiores, evitando el escurrimiento o las inundaciones.
- La calidad de los adoquines debe llevar siempre a que resistan bastante, por lo que pueden parecer intactos hasta por más de 25 años. Si existiera algún defecto es mucho más sencillo reemplazar la pieza defectuosa por una nueva.
- Por el material (concreto) son menos calientes que los pavimentos asfálticos, además de ser más respetuosos con el medio ambiente, ya que no se utilizan sustancias provenientes del petróleo para su preparación, como es el caso del asfalto.

Figura 11

Piso de exteriores en adoquín



Fuente: Sodimac, s.f.

2.1.10.4 Especificación de resistencia de adoquín de Costa Rica

Los adoquines deben cumplir con los siguientes parámetros de resistencia a compresión mínima y absorción máxima.

Actualmente, en Costa Rica existe la norma INTE C129, esta norma tiene como objetivo establecer las características y especificaciones que deben cumplir los adoquines de concreto, específicamente de cemento hidráulico.

Figura 12

Propiedades de resistencia según INTE C129

Tipo	Resistencia a compresión mínima (MPa)		Absorción máxima (%)		Ejemplos típicos de aplicación	Ejes Equivalentes
	Promedio 3 especímenes	Individual	Promedio 3 especímenes	Individual		
Tipo A-21	21	19	7	9	Parques, aceras, espacios públicos, ciclo vías	No aplica
Tipo A-30	30	27	7	9	Tránsito liviano, calles secundarias, condominios, parqueos y comercial liviano	Menor que 10.000.00
Tipo A-40	40	36	7	9	Calles principales, zonas Industriales	Mayor que 10.000.00
Tipo A-55	55	50	5	7	Tránsito pesado, aeropuertos y puertos	Mayor que 10.000.00

Fuente: INTECO, 2020.

2.1.10.5 Propiedades físico – mecánicas de un adoquín.

Las propiedades físico - mecánicas de un material permite conocer las características de tal forma que el diseño que se emplee resista una deformación o no sea tan excesiva, además evitar que se produzca una rotura.

Según Arango (2006).

Para obtener un buen resultado de las características físico - mecánico de un material es necesario tener un buen control de calidad sobre estos que están especificados en las normas, ya que en estas se especifican de forma clara los valores y los rangos en que se deben encontrar las propiedades analizadas, con la finalidad de que los datos obtenidos sean confiables y sean conformes a los productos o materiales utilizados. (p. 123)

Las propiedades físico - mecánicas de un material, es necesario analizarlas porque ayudará en el diseño y la calidad de este.

Los adoquines deben de cumplir los requisitos físicos estipulados según INTE C129

2.1.10.5.1 Propiedades físicas

Las propiedades físicas son aquellas que se pueden medir sin que afecte la composición del material.

Tabla 12

Dimensiones de los adoquines a realizar

Dimensiones del adoquín	
Longitud	20
Ancho	10
Espesor	6

Fuente: Elaboración propia,

2.1.10.5.2 Propiedades mecánicas

Son propiedades del material relacionadas con su capacidad de transmitir y resistir fuerzas o deformaciones.

Módulo de rotura (tracción por flexión).

El módulo de rotura consiste en aplicar cargas al adoquín y los resultados se obtienen mediante el ensayo de flexión o también llamado ensayo de rotura.

Para calcular el módulo de rotura del adoquín se realizará con la fórmula:

$$MR: \frac{3W\left(\frac{L}{2}-x\right)}{bd^2}$$

Donde:

MR: Módulo de rotura

W: Fuerza máxima aplicada por la máquina de prueba

L: Distancia entre los soportes (medida de centro a centro)

b: Ancho neto (distancia de cara a cara) de la muestra en el plano de falla

d: Profundidad (distancia desde la cara superior hasta el plano de apoyo) de la muestra en el plano de falla.

x: Distancia en dirección de la línea central a la superficie sometida a tensión.

- **Análisis esfuerzo - deformación**

Según Molina, Vizcaíno y Ramírez (2007). "Las mismas muestras que se utilizan en los ensayos de rotura se pueden calcular la deformación de la muestra, sin necesidad de hacer otro tipo de ensayo, esta propiedad tiene una relación directa lo que es carga y deformación". (p. 17)

El adoquín debe de estar en una buena posición, ya que la fuerza que se aplicará simulará la carga que debe de soportar.

La fórmula a utilizar para obtener la resistencia a la compresión de cada espécimen es:

$$RC: \frac{W}{A}$$

Donde:

RC: Resistencia a la compresión, en kgf/cm^2

W: Fuerza máxima de rotura, en kgf o a la indicada por la máquina de ensayo

A: Promedio de las áreas de las superficies superior e inferior del espécimen, en cm^2

Tabla 13

Propiedades de resistencia según INTE C129

Tipo	Resistencia a compresión mínima (MPa)		Absorción máxima (%)		Ejemplos típicos de aplicación	Ejes Equivalentes
	Promedio 3 especímenes	Individual	Promedio 3 especímenes	Individual		
Tipo A-21	21	19	7	9	Parques, aceras, espacios públicos, ciclo vías	No aplica
Tipo A-30	30	27	7	9	Tránsito liviano, calles secundarias, condominios, parqueos y comercial liviano	Menor que 10.000.00
Tipo A-40	40	36	7	9	Calles principales, zonas Industriales	Mayor que 10.000.00
Tipo A-55	55	50	5	7	Tránsito pesado, aeropuertos y puertos	Mayor que 10.000.00

Fuente: INTECO, 2020.

2.1.10.5.3 Trabajabilidad y consistencia

La trabajabilidad consta que el concreto puede ser mezclado, colocado, compactado y acabado, el cual va de la mano con la consistencia y está definida por el porcentaje de humedad que la mezcla pueda tener.

2.1.10.5.4 Permeabilidad

Según Vélez (2010).

La permeabilidad en el concreto se refiere a la cantidad de migración de agua u otras sustancias liquidas por los poros del material en un determinado tiempo, y así ser el resultado de la composición de la porosidad en la pasta de concreto, la hidratación o la asociación con la liberación de calor o calor de hidratación y evaporación del agua de mezcla, la temperatura del concreto, y la formación de cavidades y grietas por contracción plástica en el concreto durante el tiempo de fraguado. (p. 173)

Absorción de agua

Según Plazas y Gamba (2015)

La absorción que ocurre principalmente por la difusión de vapor de agua es una de las propiedades importantes de estos elementos porosos. La cantidad real de absorción afecta la sequedad del material y también a los defectos que puedan surgir del agua con o sin agentes extraños. Un gran número de diferentes factores influyen en la cantidad de agua que puede ser absorbida; primero el número de poros de cara a la fuente de agua, a mayor número, mayor será la absorción; segundo, el tamaño y la interconexión de los poros, cuanto menores sean y mayor sea la interconexión por medios de los canales muy finos, mayor será el grado de absorción. Finalmente, la propia naturaleza absorbente de los agregados, tanto finos con gruesos, que componen al adoquín. (p. 33)

Para calcular el porcentaje de agua que contiene la muestra se utiliza la siguiente fórmula.

$$\%a: \left(\frac{Psss - Ps}{Ps}\right) x100$$

Psss: Peso saturado superficial seco

Ps: Peso seco

Tabla 14

Absorción del adoquín

Tipo de adoquín	Absorción máxima (%)	
A-21	Porcentaje de absorción promedio	Porcentaje de absorción individual
	7%	9%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

2.1.10.6 Colocación de los adoquines

La instalación de los adoquines requiere algunos pasos para lograr una adecuada colocación.

Excavación

Para empezar a pavimentar con los adoquines, se debe marcar el contorno del terreno que se desea pavimentar. La profundidad de excavación dependerá de si la zona ha sido pavimentada previamente o si es la primera vez que realiza. Si es la primera vez, conviene cavar el suelo a 15 a 20 cm de profundidad, porque antes es necesario aplicar una capa de revestimiento y nivelar el suelo. (Amagard, 2018, párr.2)

Capa base

Si ya tiene una capa base o capa de cobertura, puede pasar al siguiente paso de pavimentación, que es la nivelación. Si aún no tiene una capa de cobertura, puede usar una mezcla granular o tierra estabilizada como base. El suelo estabilizado es una mezcla ligeramente húmeda de tierra y cemento. Aplicar esta mezcla sobre la base en un espesor de 20 a 30 cm. Extiéndela uniformemente y compáctala con un rodillo de mano. Recuerda que durante este proceso el terreno debe tener una ligera pendiente para que el agua pueda fluir durante la lluvia. Se recomienda una pendiente del 2%, lo que supone un desnivel de al menos 1 a 2 centímetros por metro de altura pavimentada. (Amagard, 2018, párr.3)

Nivelación

La siguiente etapa de la pavimentación es nivelar el terreno. Esto se hace con una capa de arena fina de apróx. 5 cm de espesor. Preste atención y mantenga la pendiente de la capa base. Para nivelar esta capa, coloque dos tablas de madera de la misma altura en el suelo y, con la ayuda de un nivel, muévalas en zigzag y distribuya uniformemente la arena entre las tablas. El mortero nivelador eliminará el exceso de arena y nivelará la capa niveladora. Retire las

lamas y rellene las ranuras posteriores a las lamas con arena hasta la misma altura. Ahora puede empezar a colocar los adoquines, teniendo cuidado de no pisar la superficie recién colocada. (Amagard, 2018, párr.4)

Pavimentación

¿Cuál es la forma más sencilla de colocar adoquines? Trabajar de arriba hacia abajo evitando pisar el suelo asfáltico. Coloque la primera fila de adoquines. Con la ayuda de un martillo de goma, se inserta el adoquín. Como los adoquines están a diferentes alturas, colóca-los de manera que queden todos a la misma altura. Es importante alinearlos y lo más cerca posible para que no se doblen. Una vez en su lugar, instale bordes, como bordes de piedra, para mayor estabilidad. Para compactar adecuadamente los adoquines, utilice un rodillo manual con base de goma para evitar dañar los adoquines. (Amagard, 2018, párr.5)

Rellenar

La última etapa de la colocación de adoquines es el relleno de sus juntas. Puedes utilizar pequeños guijarros o arena para ello. Coloca la arena sobre los adoquines y extiéndela por las juntas con una escoba hasta llenar.

La colocación de adoquines puede llevarse a cabo siguiendo diferentes estructuras. Al-gunas son:

Trabado: coloque los adoquines de manera paralela con las juntas alternadas.

Trabado en curva: coloque los adoquines de manera contigua creando una pequeña curva.

Abanico: coloque en cada línea un adoquín más que en la línea anterior y creando una curva para crear la forma de un abanico. (Amagard, 2018, párr. 6)

2.2 Estado de la cuestión

En este apartado se podrá conocer un poco sobre el panorama histórico del tema de investigación y como ha estado presente en la sociedad.

Historia del concreto

El concreto es una de las materias primas de la construcción más popular y hoy en día más indispensable y durante la historia de la civilización ha jugado un papel clave, su uso se puede ver desde la antigüedad.

Según el Dr. Navarro (2010).

> La historia del concreto inicia con los etruscos en el año 700 a.C, utilizaban mezclas de puzolana y cal para hacer un mortero, se podía decir que es la primera reminiscencia del cemento. Los romanos utilizaron con profusión un cemento fabricado a partir de tierra volcánica, la puzolana, muy abundante cerca de Roma, mezclada con cal calcinada, fue el primer cemento resistente al agua o mortero hidráulico; este cemento es conocido como opus caementicium (obra cementicia), se mezclaba con ladrillo y piedra o cemento, para formar hormigón al que se le confería la forma deseada mediante encofrados realizados en madera, una técnica que aún subsiste. Este material resistente al fuego y que fraguaba incluso bajo el agua, aligeraba las contracciones por lo que permitía la realización de grandes cúpulas y bóvedas de hormigón. (p.1)

El desarrollo de la humanidad es paralelo al uso del cemento en sus construcciones.

Según lo expone Ciment Catalá (S.f)

> En el año 6000 aC la mezcla de cemento con agua, arena y áridos dio como resultado un nuevo material que se podía modelar fácilmente y que cuando endurecía adquiría características de solidez, resistencia y durabilidad notable. Este nuevo material fue el origen del hormigón.

En el 5600 aC la construcción más antigua realizada en hormigón es el suelo de una cabaña en Lepensky Vir en Serbia.

En el 2600 aC el pueblo egipcio ya utilizaba un mortero o mezcla de arena con materia cementoso para unir bloques de piedra y levantar sus prodigiosas construcciones, parte de una de las pirámides de Gizeh fue levantada con hormigón

Figura 13

Pirámide de Giza



Fuente: Ciment Catalá

En 1950 aC en el mural de Tebas se conservan escenas de hombres fabricando hormigón y aplicándolo en una obra.

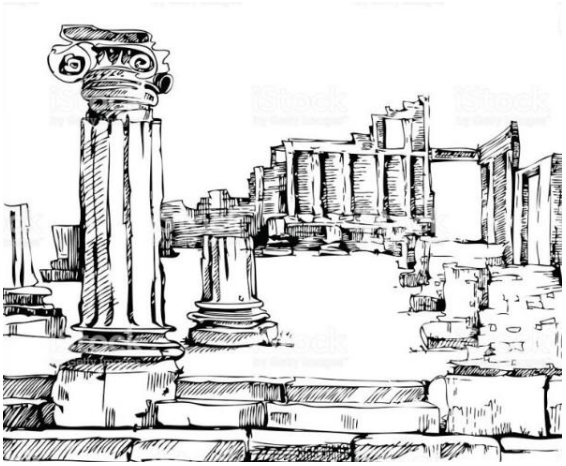
En 450 aC los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertos materiales procedentes de depósitos volcánicos, mezclados con caliza, arena, y agua, producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua dulce y salada.

En el 100 aC la civilización romana utilizaba el hormigón en la construcción de grandes edificios y también en la red de agua potable y en la evacuación de aguas residuales.

En el 75 aC se construyó el anfiteatro de Pompeya, que muestra anillos de hormigón en su perímetro

Figura 14

Anfiteatro de Pompeya



Fuente: Ciment Catalá

En el 82 dC los cimientos, muros interiores y la estructura del Coliseo romano se construyeron con hormigón.

En el 127 dC la construcción del Panteón de Roma se utilizó un hormigón aligerado para construir la cúpula.

En 1200 dC se construyó la Catedral de Salisbury en Inglaterra, cuyos cimientos está hechos de hormigón.

Figura 15

Catedral de Salisbury en Inglaterra



Fuente: Ciment Catalá

En 1759 dC el ingeniero John Smeaton desarrolló un nuevo mortero para unir los bloques de piedra del faro de Eddystone, al cabo de pocos años el reverendo James Parker creó un nuevo cemento de manera accidental al quemar unas piedras calizas. Este nuevo cemento denominado cemento romano porque se pensaba que era el que se había utilizado en la época romana, se patentó y se empezó a utilizar en diversas obras en el Reino Unido.

En el año 1824 dC James Parker y Josep Aspdin patentaron un nuevo cemento hidráulico artificial, fabricado por la combustión conjunta de caliza y carbón, que denominaron Portland Cement por su color oscuro, similar a la piedra de la isla de Portland; en sus inicios este material no fue demasiado empleado, a causa de su complejo procedimiento de fabrica que encarecía su producción.

En 1890 dC el proceso de la industrialización y la introducción de hornos rotatorios proporcionaron la extensión de su uso para todo tipo de aplicaciones.

> En el año 1980 dC a pesar de todas las mejoras técnicas introducidas, el cemento Portland continúa siendo en esencia muy similar al primero que se patentó, aunque su impacto y presentaciones han mejorado muy significativamente. (p.1-3)

Hoy en día los hormigones fabricados con cemento portland admiten múltiples posibilidades de aplicación, la diversidad de características pone al alcance de la sociedad un amplio abanico de modalidades para escoger, todas las modalidades de hormigones han demostrado a lo largo del tiempo sus excelentes propiedades y su elevado grado de durabilidad y resistencia, lo que se puede constatar en las grandes edificaciones, las obras públicas o los conjuntos artísticos como las esculturas.

2.2.1 La revolución industrial y la construcción

Como a firma Calderón y Robles (2022).

> Al incorporar materiales de hierro y vidrio, la revolución industrial revolucionó el campo de la construcción y el futuro de la historia de la construcción. Los sistemas prefabricados agilizaron los tiempos de construcción, dando lugar a grandes obras que satisfacían las necesidades de las sociedades industrializadas, particularmente en Europa y Estados Unidos. Las nuevas construcciones, incluidos puentes, mercados, bibliotecas y estaciones, aprovecharon la capacidad de cubrir espacios amplios, lo que representó un salto adelante no visto en siglos. **(**p. 3546)

Durante la Revolución Industrial nacieron nuevas técnicas de construcción y refuerzo de hormigón, con los métodos de encofrado y refuerzo a la vanguardia. Esto permitió la construcción de estructuras más robustas y de mayor tamaño.

2.2.2 Origen y evolución del uso del plástico

Según a la organización española Naeco (2023). “Los orígenes del plástico se sitúan en Estados Unidos, en el año 1860, durante esta época se produjo un descenso importante en la reserva de marfil, un material muy utilizado en aquel entonces” (párr. 4)

8000 millones es el número de plástico que cada año acaban en el ecosistema, un objeto que de forma cotidiana se utiliza ocasiona riesgo a largo plazo para la humanidad, en la segunda mitad del siglo XX el plástico se convirtió en un material innovador que permitió dar un salto a la tecnológico.

2.2.2.1 ¿Cómo ha evolucionado el uso del plástico?

Según Naeco (2023).

> Desde la aparición de estos primeros plásticos la innovación ha perimido crear soluciones más eficientes y eficaces, en los años 60 este material comenzó a utilizarse en sustitución de otros más caros, como la madera o el vidrio para los embalajes, una década después en los 70, los plásticos también comenzaron a sustituir algunos metales de aleaciones ligeras, ya en los años 80 su producción se intensificó, convirtiéndose en una de las industrias más relevantes a nivel mundial (párr. 9)

A lo largo del tiempo el plástico ha ido evolucionando en los distintos usos que se le da, en la era digital se utiliza para la producción de artículos electrónicos, como teléfonos, computadoras, tabletas, etc. Se han desarrollado nuevos tipos de plásticos biodegradables y reciclables, lo que ha mejorado su impacto ambiental, en la línea del tiempo en la que se ha dado la evolución del plástico, muestra como este material se ha convertido en un componente clave de la vida moderna, sin embargo, también evidencia la importancia de encontrar soluciones sostenibles y amigables con el ecosistema, para su producción y disposición.

Figura 16

Selección de basura en Filipinas



Fuente: Randy Olson, National Geographic.

2.2.3 Centros de acopio

Según la Real Academia Española (s.f) “El verbo acopiar significa juntar, reunir en cantidad algo y más comúnmente granos o provisiones” (párr. 2)

Los centros de acopio son fundamentalmente para una sociedad sustentable, la crisis ecológica actual nos obliga a separar los desechos con el fin de reutilizar sus materias primas, o producir energía con estos materiales.

Figura 17

Envases plásticos recuperados por FIFCO



Fuente: Diario al día

2.2.4 Reciclaje de aparatos electrónicos

Según Siles (2022).

> Seis de cada diez personas en Costa Rica han mandado al vertedero, al menos una vez en la vida aparatos electrónicos como, televisores, monitores, computadoras, baterías de celular o laptops, celulares routers, módems o radios, estos considerados por muchos como desperdicios, sin evaluar los riesgos de algunos de sus componentes en perjuicio del ambiente. (párr. 1)

Figura 18

Accesorios, celulares, tabletas, monitores y otros artefactos electrónicos



Fuente: Periódico La República

El reciclaje de equipos electrónicos, al igual que otras formas de reciclaje, tiene como objetivo devolver los materiales usados a la cadena de producción, aunque preparar los desechos electrónicos para su reutilización no es tan simple como reciclar papel o aluminio. Los residuos electrónicos son muy complejos: además de los metales, se mezclan plásticos y otros tipos de polímeros en los dispositivos.

Figura 19

Basurero comunitario en Ciudad de Guatemala



Fuente: Lynn Johnson, National Geographic

2.2.5 Plástico reciclado en la industria de la construcción

El uso de plástico reciclado en la industria de la construcción se ha convertido en una práctica cada vez más común debido a sus múltiples beneficios ambientales y económicos, el plástico reciclado puede ser reutilizado en la fabricación de diversos materiales de construcción, como los ladrillos, tubos, paneles, aislantes y techos, con esta técnica se reduce la cantidad de residuos de plásticos que terminan en vertederos, disminuyendo así el impacto ambiental y contribuyendo a la economía circular.

2.3 Marco legal

En este apartado se mencionarán las referencias asociadas con aspectos jurídicos y/o legales relacionados con el tema de investigación.

2.3.1 Tratamiento de desechos electrónicos en Costa Rica

Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos Electrónicos N.º 35933-S, publicado en LA GACETA Nº 86 DEL 5 DE MAYO DEL 2010.

Este reglamento sigue ciertas consideraciones, entre ellas:

Según establece la Ley General de Salud, todos los residuos sólidos que provengan de las actividades corrientes y de operaciones como industriales o comerciales, deberán ser separados, recolectados, acumulados, utilizados cuando proceda y sujetos a tratamiento o dispuestos finalmente, por las personas responsables a fin de evitar o disminuir en lo posible la contaminación del aire, del suelo o de las aguas.

Según lo establece la Ley Orgánica del Ambiente, en el manejo y aprovechamiento de los suelos, debe controlarse la disposición de los residuos que constituyan fuente de contaminación. Las actividades productivas evitarán descargas, depósitos o infiltración de sustancias o materiales contaminantes en el suelo. Cuando corresponda,

> el Estado, las municipalidades y la empresa privada promoverán la recuperación y el tratamiento adecuado de los desechos para obtener otros productos o subproductos.
>
> La disposición de residuos electrónicos en sitios no autorizados provoca problemas de contaminación a la atmósfera, al suelo y al agua, causando perjuicio a la salud pública y al ambiente. (p. 1-2)

En cuanto al ámbito de aplicación, el Ministerio de Salud aún podrá consultar con el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones respecto de todos los equipos y dispositivos de desecho importados, recolectados o producidos en la nación enumerados en el Anexo 1 de este reglamento (teléfonos celulares, computadoras portátiles o de escritorio, impresoras, cargadores, calculadoras y demás), y el departamento en cuestión podrá, en el futuro, añadir dispositivos electrónicos adicionales a la lista por razones técnicas.

Entre los objetos del reglamento, se encuentran los siguientes:

- Reducir la contaminación ambiental provocada por una gestión inadecuada de los residuos electrónicos y el impacto en la salud humana.
- Establecer responsabilidad por la gestión de dichos residuos hacia sus productores y otros actores de la cadena, incluidos los consumidores finales.
- Promover el establecimiento de unidades de cumplimiento como herramienta de gestión de residuos electrónicos.
- Minimizar la cantidad de residuos electrónicos generados, tanto en peso como en volumen, así como su potencial de contaminación, mediante la recogida selectiva, la recuperación, la reutilización y el reciclaje de materiales residuales.
- Promover la gestión integral de los residuos electrónicos en la sociedad para crear una cultura de protección del medio ambiente y consumo sostenible.

También se ejerce responsabilidades y obligaciones en el Ministerio de Salud, Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, los productores, consumidores y gestores de los residuos electrónicos, para velar por que se cumplan los procesos establecidos, para un correcto manejo de estos residuos. Menciona cómo debe llevarse a cabo un manejo, separación y donación de equipos, y establece ciertas prohibiciones que, en caso de incumplimiento, se puede aplicar una sanción.

Capítulo 3: Marco metodológico

3.1. Tipo de investigación

En el presente capitulo se describen las características y metodologías utilizadas en el desarrollo de la presente investigación, así como las técnicas e instrumentos aplicados en la recopilación de datos e información.

3.1.1 Naturaleza de la investigación: cualitativa, cuantitativa o mixta

Según la Real Academia Española (s.f). "Investigación tiene por fin ampliar el conocimiento científico, sin perseguir en principio ninguna aplicación práctica" (párr. 2)

La investigación está sustentada dentro de los paradigmas mixto.

Según Tashakkori y Teddlie (2003). "El enfoque mixto puede ser comprendido como un proceso que recolecta, analiza y vierte datos cuantitativos y cualitativos, en un mismo estudio". (p.100).

El enfoque mixto de una investigación se da cuando se combina tanto el método cuantitativo como el cualitativo. Este enfoque lo que permite a los investigadores es obtener una compresión más completa y profunda del fenómeno que se está estudiando al utilizar tanto datos numéricos como información basada en la experiencia. En un enfoque de investigación mixto, el investigador puede comenzar con una fase cuantitativa para recopilar datos numéricos y estadísticas, y luego utilizar una fase cualitativa para obtener una comprensión más completa de la experiencia humana detrás de los datos.

3.1.1.1 Ventajas del enfoque mixto

Según Ortega (s.f).

I. Al utilizar ambos tipos de investigación, las fortalezas de cada enfoque pueden compensar los puntos débiles del otro

II. Proporciona una comprensión más completa y exhaustiva del problema de investigación que al hacerlo por separado.
III. Proporciona un mejor enfoque al desarrollar mejores instrumentos y más específicos de acuerdo al contexto de la investigación.
IV. Ayuda a explicar los hallazgos o cómo funcionan los procesos causales.

3.1.1.2 Desventajas del enfoque mixto

Según Ortega (s.f).

I. El diseño de la investigación puede ser muy complejo.
II. Se requiere mucho más tiempo y recursos para planificar e implementar este tipo de investigación.
III. Puede ser difícil planificar y aplicar un método utilizando los resultados de otro.
IV. Puede ser poco clara la forma de resolver las discrepancias que surjan en la interpretación de los resultados.

3.1.2 Carácter de la investigación: descriptivo, explicativo, inferencial u otros

En la definición del diseño de estudio de la investigación se considera de tres tipos, exploratorio, explicativo y descriptivo.

Según Fernández y Baptista (2014).

> Los estudios exploratorios sirven para familiarizarse con fenómenos relativamente desconocidos, obtener información sobre la posibilidad de llevar a cabo una investigación más completa respecto de un contexto particular, indagar nuevos problemas, identificar conceptos o variables promisorias, establecer prioridades para investigaciones futuras o sugerir afirmaciones y postulados (p.91).

En pocas palabras, la finalidad de los estudios exploratorios es ayudar a obtener, con relativa rapidez ideas y conocimientos en una situación. Es un tipo de investigación muy útil

como paso inicial en los procesos de investigación. El objetivo principal de esta investigación de carácter exploratorio es la base de esta investigación, el cual es el diseño de una mezcla de concreto hidráulico con plástico triturado de residuos electrónicos, para elaborar un adoquín de 8x10x20 centímetros, de este objetivo parte la pregunta del problema y la investigación completa.

Según Fernández y Baptista (2014). “Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis” (p. 92).

En la investigación se presentan dos objetivos de carácter descriptivo, estos siendo el análisis de resultados que arroje el informe de laboratorio realizado a cada probeta; el segundo objetivo de carácter descriptivo es la realización de un espécimen del adoquín con la mezcla de concreto hidráulico que falle de mejor forma en el laboratorio.

Según Fernández y Baptista (2014). “El estudio explicativo va más allá de la descripción de conceptos, es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales” (p.95).

En la investigación se presenta un objetivo de carácter explicativo, que lo que pretende es determinar los beneficios ambientales al usar residuos de plástico de aparatos electrónicos como un aditivo en el concretos.

3.2 Sujetos y fuentes de información

En este apartado del marco metodológico se describen las características y metodologías utilizadas para la recolección de datos.

3.2.1 Sujetos de información

Según Arias (2012). “Las técnicas de investigación es el procedimiento o forma particular de obtener datos o información. Las técnicas son particulares y específicas de

una disciplina, por lo que sirve de complemento de investigación con propósitos específicos y esenciales" (p.67)

La observación directa es el sujeto de información utilizado. Esta técnica permite recopilar datos que se registran en los laboratorios, para el ensayo realizado se tendrá que evaluar el comportamiento mecánico – dinámico de los adoquines a base de plástico de artefactos electrónicos.

3.2.2 Fuentes de información: primaria, secundaria o terciaria

3.2.2.1 Fuente de información primaria

Según Hernández y Mendoza (2018).

En todas las áreas de conocimiento, las fuentes primarias más consultadas y utilizadas para elaborar marcos teóricos son libros, artículos de revistas científicas y ponencias o trabajos presentados en congresos, simposios y eventos similares, entre otras razones, porque estas fuentes son las que sistematizan en mayor medida la información, profundizan más en el tema que desarrollan y son altamente especializadas, además de que se puede tener acceso a ellas por internet (p. 65)

Para el caso la presente investigación, las fuentes primarias son los resultados obtenidos en el laboratorio.

3.2.2.2 Fuente de información secundaria

Según Salas (2020). "Hace referencia a cuando una institución empresa o persona, utiliza para su estudio datos estadísticos no recogidos por ella, sino provenientes de una fuente primaria y luego las publica o difunde, esa nueva publicación será una fuente secundaria". (párr. 6)

3.2.2.3 Fuente de información terciaria

Según Monje (2018). “Las define como la descripción del estudio por una persona que no participó en la investigación o diferentes al investigador original, se obtiene información de otra persona, libro o material” (p.76)

Con este tipo de fuente se logra sintetizar la información de las fuentes primarias y secundarias, para facilitar y maximizar el acceso a los contenidos de ambas.

En la presente investigación se hizo uso de artículos de revistas de alto prestigio a nivel mundial, artículos realizados por la Universidad de Costa Rica, distintos trabajos de investigación realizados en universidades a nivel mundial, libros relacionados a la construcción, el manual de residuos electrónicos en Costa Rica elaborado por el micitt

3.3 Muestra y población

Este apartado comprende el tipo de muestras, la descripción de la muestra a utilizar y la descripción estadística de la población de estudio.

3.3.1 Tipo de muestra

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014). “La muestra no probabilística, también llamadas muestras dirigidas, suponen un procedimiento de selección orientado por las características de la investigación, más que por un criterio estadístico de generalización” (p. 189)

En la investigación se determinó que el tipo de muestreo a utilizar es no probabilístico. El muestreo intencional se basa en la elección por conveniencia del investigador, esto para estudiar los elementos muestrales que estén al alcance.

3.3.2 Descripción de la muestra

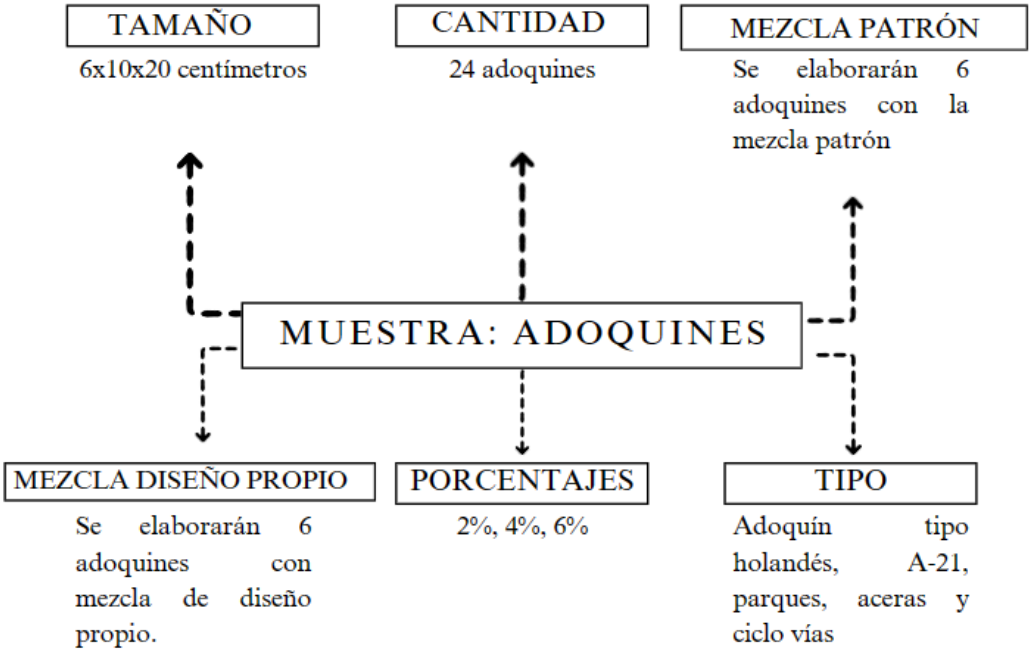
Según Ortega (s.f).

El muestreo por conveniencia es una técnica de muestreo no probabilístico donde las muestras de la población se seleccionan solo porque están convenientemente disponibles para

el investigador. Estas muestras se seleccionan solo porque son fáciles de reclutar y porque el investigador no consideró seleccionar una muestra que represente a toda la población. (párr. 6).

Tabla 15

Descripción de los adoquines a realizar



Fuente: Elaboración propia, 2023.

3.3.3 Descripción estadística de la población en estudio

Según Tamayo (2003). "La población es la totalidad de un fenómeno de estudio, incluye la totalidad de unidades de análisis o entidades de población que integran dicho fenómeno y que debe cuantificarse para un determinado estudio integrando un conjunto N de entidades que participan de una determinada característica" (p. 176)

El tamaño de la muestra se experimentará con la fabricación de 24 adoquines tipo holandés, añadiendo plástico de residuos electrónicos, de acuerdo a INTE C129, son de tipo A-21, que

son típicos para parques, aceras y ciclo vías, es decir se trabajará con el 100% en relación al universo proporcional, donde se analizarán las propiedades físicas y mecánicas del adoquín.

3.4 Instrumentos y técnicas de recolección de datos

En este apartado se describe en instrumento y se explica la técnica de recolección de datos.

3.4.1 Diseño de instrumentos

Según Sabino (1992). "Un instrumento de recolección de datos es en un principio cualquier recurso en el que se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información". (p.108)

En la presente investigación se realizarán ensayos para terminar u obtener resultados de las variables de investigación, por lo cual se elaboró una ficha de recolección de información y datos, en la cual se desglosa cada variable y la medición a través de sus respectivos indicadores con la finalidad de que la investigación tenga credibilidad.

3.4.2 Aplicación de instrumentos

3.4.2.1 Ensayo de compresión

El espécimen debe ser pesado inmediatamente después de que se reciben y se marcan, se toman las dimensiones de longitud, altura ancho y espesores, se ensayan a compresión tres especímenes que deben ser coronados, se debe alinear el espécimen en la máquina de ensayo de manera que su centroide coincida con el punto de aplicación de la carga, el espécimen se debe de ensayar con dos placas que estén en contacto con el espécimen y permitan la distribución uniforme de la carga; se registra la carga máxima alcanzada por el espécimen, la resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima entre el área neta.

Según el LANAMME (s.f). “Mediante este método se obtiene la resistencia a la compresión de unidades de mampostería, importante para el diseño de estructuras de mampostería, los resultados pueden servir para aceptación de resistencia y cumplimiento con especificaciones”. (párr. 2)

3.5 Estrategia de análisis de datos

En el siguiente apartado, se desarrolla la descripción de la presentación y análisis de datos, además de un cronograma.

3.5.1 Presentación y análisis de los datos

En este apartado, se definen los métodos a utilizar para la presentación de la información referente a los resultados.

En el área cuantitativa, la información recolectada de los resultados, se manejará mediante el programa Microsoft Excel, donde se realizará el respectivo análisis estadístico y se representará con gráficos.

En la parte cualitativa de, se tienen como opciones el programa CmapTools o el uso de SmartArt en Word para la representación de la información, estos se realizan a manera de esquema, resumiendo la información y haciendo que ésta sea más clara, concisa y fácil de entender.

3.5.2 Cronograma

En este apartado, se realiza un estimado de la distribución del tiempo junto a las actividades realizadas mediante la siguiente tabla:

Tabla 16

Cronograma de actividades

Descripción de la actividad	**Septiembre**				**Octubre**				**Noviembre**				**Diciembre**				**Enero**			
Semana	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**	**4**
Realización del capítulo 1																				
Realización del capítulo 2																				
Realización del capítulo 3																				
Realización de los adoquines																				
Recolección de datos																				
Realización del capítulo 4																				
Finalización del capítulo 5																				

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Capítulo 4: Análisis e interpretación de los resultados

En este apartado, se desarrollan los procedimientos (ensayos o datos adquiridos) utilizados para la obtención del diseño de mezcla, creación de los adoquines y posteriores ensayos para obtención y análisis de datos.

4.1 Diseño de mezcla de los adoquines

4.1.1 Datos de los agregados

Los datos de los agregados utilizados corresponden a los de la empresa Pedregal, en San Carlos, los cuales son extraídos del Río San Carlos.

Datos de la arena

Agregado Arena Fina de Río, con TMA 9.5 mm (3/8”).

MÉTODOS UTILIZADOS

- INTE 06-01-02-09 (ASTM C33): Agregados para Concreto (Requisitos).
- INTE 06-02-32-09 (ASTM D75): Práctica para la toma de muestras de agregados.
- INTE 06-02-12-08 (ASTM C117): Método para determinar por lavado el material que pasa el tamiz Nº200.
- INTE 06-02-09-07 (ASTM C136): Método de ensayo para el análisis granulométrico en mallas de agregado fino y grueso.
- INTE 06-02-33-09 (ASTM C127): Método de ensayo para determinar la densidad de agregado fino.
- INTE 06-02-21-08 (ASTM C29-97): Método de ensayo para determinar la densidad bruta.
- AASHTO T176: Equivalente de Arena
- ASTM C88: Pérdida por Sanidad

- AASHTO T210: Índice de Durabilidad de Finos
- ASTM C142: Determinación de Partículas Friables

Figura 20

Humedad y granulometría de la arena.

ENSAYOS REALIZADOS A LOS AGREGADOS

1. Humedad evaporable y pérdida por lavado

% Humedad Evaporable	8,59%
% de Pérdida por lavado	3,12%

2. Ensayo granulométrico

Abertura Malla		Retenido individual (%)	Retenido Acumulado (%)	Total Pasando (%)	Retenido Individual (g)
(in)	(mm)				
3/8"	9,5	0	0	100	0
1/4"	6,35	0	0	100	0
4	4,76	3,34	3,34	97	19,10
8	2,38	14,71	18,05	82	84,20
16	1,19	16,34	34,39	66	93,50
30	0,59	19,61	53,99	46	112,20
50	0,29	19,59	73,58	26	112,10
100	0,15	13,45	87,03	13	77,00
200	0,075	6,83	93,87	6,1	39,10
cha	0,00	6,13	100	0	35,10
		MF	3,61		572,30

Fuente: Pedregal, 2014.

Figura 21

Peso unitario, gravedad específica, índice de durabilidad, partículas friables, equivalente de arena y pérdida por sanidad de la arena.

3. Peso Unitario

Peso Unitario Compactado	1565
Peso Unitario Suelto	1660

4. Gravedad Específica

Gravedad Específica Bruta	2496
Gravedad Específica SSS	2628
Porcentaje de Absorción	5,3

5. Índice de Durabilidad de Finos

Durabilidad	77

6. Partículas Friables

Partículas Friables (%)	0,33

7. Equivalente de Arena

Equivalente de Arena (%)	88

8. Pérdida por Sanidad

Pérdida por Sanidad (%)	8,74

Fuente: Pedregal, 2014.

Datos de la piedra

Agregado Piedra Cuarta, con TMA 25.4 mm (1”), que se obtiene a partir de un proceso de extracción, trituración y cribado de material de río en el quebrador secundario.

MÉTODOS UTILIZADOS

- INTE 06-01-02-09 (ASTM C33): Agregados para Concreto (Requisitos).
- INTE 06-02-32-09 (ASTM D75): Práctica para la toma de muestras de agregados.

- INTE 06-02-12-08 (ASTM C117): Método para determinar por lavado el material que pasa el tamiz Nº200.
- INTE 06-02-09-07 (ASTM C136): Método de ensayo para el análisis granulométrico en mallas de agregado fino y grueso.
- INTE 06-02-33-09 (ASTM C127): Método de ensayo para determinar la densidad de agregado grueso.
- INTE 06-02-21-08 (ASTM C29-97): Método de ensayo para determinar la densidad bruta.
- ASTM C131: Pérdida por abrasión.
- ASTM C88: Pérdida por sanidad.
- ASTM D4791: Determinación de partículas planas y elongadas.
- ASTM D5821: Determinación de porcentaje de caras facturadas
- AASHTO T120: Índice de durabilidad de gruesos
- ASTM C142: Partículas Friables

Figura 22

Humedad y granulometría de la piedra

ENSAYOS REALIZADOS A LOS AGREGADOS

1. Humedad evaporable y pérdida por lavado

% Humedad Evaporable	2,58%
% de Pérdida por lavado	0,44%

2. Ensayo granulométrico

Abertura Malla		Retenido individual (%)	Retenido Acumulado (%)	Total Pasando (%)	Retenido Individual (g)
(in)	(mm)				
1"	25,40	0	0	100	0
3/4"	19	11,58	11,58	86	259,50
1/2"	12,5	44,65	56,23	43	1000,5
3/8"	9,5	31,62	87,85	12	708,60
4	4,75	10,53	98,38	1	236,00
8	2,36	0,36	98,74	1	8,00
200	0,075	0,54	99,28	0,3	12,20
cha	0	0,28	99,56	0	6,30
		MF	5,52		2240,90

Fuente: Pedregal, 2014.

Figura 23

Peso unitario, gravedad específica, índice de durabilidad, partículas friables, pérdida por sanidad y abrasión, porcentaje de partículas con caras fracturadas, y partículas planas y elongadas.

3. Gravedad Específica y Absorción de Agregados Gruesos - ASTM C 129

Gravedad Específica Bruta	2642
Gravedad Específica de SSS	2692
Porcentaje de Absorción %	1,90

4. Peso Unitario

Peso Unitario Compactado	1596
Peso Unitario Suelto	1440

5. Determinación del porcentaje de partículas con caras fracturadas en agregado grueso

Distribución de partículas	%
Una o más caras fracturadas	92,11%
Especificación CR-2010 Mínimo una cara fracturada	50%

6. Partículas Planas y Elongadas

Planas y Elongadas (%)	0

7. Índice de Durabilidad de Gruesos

Durabilidad	92

8. Partículas Friables

Partículas Friables (%)	0,07

9. Pérdida por Abrasión

Pérdida por Abrasión (%)	91,1

10. Pérdida por Sanidad

Pérdida por Sanidad (%)	2,58

Fuente: Pedregal, 2014.

Datos del cemento

Según menciona Holcim (s.f) en su ficha técnica:

El Cemento Holcim INDUSTRIAL cumple con el Reglamento Técnico de Costa Rica RTCR 479:2015 (decreto 39414-MEIC-S del 4 de enero 2016) como cemento tipo MP/A-28 / ASTM C595 IP (HS).

El Cemento Holcim INDUSTRIAL es obtenido por la molienda conjunta y uniforme de Clinker tipo Portland y Puzolana, esta última en proporciones que van del 6% al 21% en peso del cemento.

El Cemento Holcim INDUSTRIAL es el recomendado para construcciones industriales de mayor resistencia y durabilidad Su contenido controlado de C3A menor al 8% provee un moderado calor de hidratación lo cual favorece la disminución de agrietamiento superficial por contracción plástica, cuando se controlan adecuadamente los parámetros de curado. (p. 2)

Figura 24

Análisis químicos del cemento Holcim industrial

	CEMENTO HOLCIM INDUSTRIAL	RTCR 479: 2015	ASTM 95 IP
% Óxido de magnesio (M_g0), max%	≤ 6,0	≤ 6,0	≤ 6
% Trióxido de azufre (SO_3) max%	≤ 2,95*	≤ 4,0	≤ 4
Aluminato Tricálcico (C3A), máx %	≤ 8,0**	-	-

Fuente: Holcim, s.f.

Figura 25

Componentes principales del cemento Holcim industrial (% en masa)

COMPONENTES	CEMENTO HOLCIM INDUSTRIAL	RTCR 479: 2015
Clinker	80-89	80-94
Minerales Puzolánicos	6-21	6-21
Otros	0-5	0-5

Fuente: Holcim, s.f.

Figura 26

Requerimientos físicos del cemento Holcim industrial

		CEMENTO HOLCIM INDUSTRIAL	RTCR 479: 2015	ASTM C595 IP (HS)
Superficie específica ASTM C204	Min, m²/kg	330	-	-
	Min, cm²/kg	3300	-	-
Finura retenido en tamiz 0.045mm INTE 06-11-10 (max. %)	Pasante (min,%)	97,5	-	-
	Retenido (max,%)	3,5	-	-
Cambio en longitud autoclave INTE 06-11-03	Expansión (max%)	0,2	0,8	0,8
	Contracción (max,%)			0,2
Tiempo de Fragua,minutos	Inicial (min,minutos) INTE 06-11-05	45	45	45
	Final (max,minutos) INTE 06-11-05	420	420	420
Contenido de aire del mortero INTE 06-11-04 (max. %)		12	12	12
Resistencia mínima a la compresión INTE 06-02-20	1 día	-	-	-
	3 días	13	13	11,0
	7 días	20	20	18,0
	28 días	28	28	25,0
Calor de hidratación ASTM C 186 (max,kl/kg)	7 días	-	-	290
	28 días	-	-	330
Expansión en barras de mortero 14 días, % máximo ASTM C 1038	14 días	0,02	0,02	0,02
	56 días	-	-	0,06
Falso fraguado, % mínimo ASTM C451		50	50	-
Expansión por sulfatos ASTM C 1012 (max,%)	6 meses	-	-	0,05
	1 año	-	-	0,10

Fuente: Holcim, s.f.

Figura 27

Requisitos de los componentes minerales (puzolana)

CARACTERISTICAS	PUZOLANA HOLCIM TIPO N	REQUISITOS SEGÚN ASTM C618
Contenido de minerales reactivos (SIO_2+Al_2+Fe_2O_3) (min.%)	80.0	70.0
% Trióxido de azufre (SO_3) max%	4.0	4.0
Contenido de humedad (máx.)%	3.0	3.0
Pérdida a la ignición(máx.)%	10.0	10.0
Índice de actividad con cemento tipo I-28 a 7 o 28 días (min.)%	75	75

Fuente: Holcim, s.f.

4.1.2 Diseño de mezcla ACI 211

Cemento Industrial Holcim Tipo MP/A-28: F´c: 28Mpa / 228 kg/cm2

Método ACI 211

Tabla 17

Cuando no hay registro de resistencia de probetas correspondientes a obras anteriores

F´c	**F´cr**
Menos de 210	F´c + 70
210-350	F´c + 84

>350	F´c + 98

F´cr: 228 kg/cm2 + 84 = 312kg/cm2

Tabla 18

Datos necesarios para el diseño

	P.E seco kg/m3	**P. unitario compac-tado Kg/m3**	**P. unita-rio suelto Kg/m3**	**Módulo de fineza**	**% absor-ción**	**% hume-dad**
Arena	2 628	1 565	1 660	3,61	5,3	8,59
Piedra	2 692	1 596	1 440	5,52	1,9	2,58
Cemento	3.15 gr/cm3 (prome-dio)					
Agua	1000					

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Paso 1: Elección del asentamiento

Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción

Tipos de construcción	Revenimientos (cm)	
	Máx. (*)	Mín.
Muros y zapatas de cimentación de concreto reforzado	8	2
Zapatas de concreto simple, cajones y muros de subestruc-turas sencillos	8	2
Vigas, columnas y muros reforzados para edificios	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Concreto masivo	5	2

Paso 2: Elección del tamaño máximo del agregado.

Arena tamiz N4

Piedra tamaño 3/8” o 9,51mm

Para 3/8”, el aire atrapado corresponde a 3%

Paso 3: Estimación del agua de mezclado y del contenido de aire.

Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos del agregado

Revenimiento (cm)	Agua en kg/m3 de concreto para los tamaños máximos nominales en mm						
	10	12.5	20	25	40	50*	75*
Concreto sin aire incluido							
3 a 5	205	200	185	180	160	155	145
8 a 10	225	215	200	195	175	170	160
15 a 18	240	230	210	205	185	180	170
	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3
Concreto con aire incluido							
3 a 5	180	175	165	160	145	140	135
8 a 10	200	190	180	175	160	155	150
15 a 18	215	205	190	185	170	165	160
Promedio recomendado de contenido total de aire (%)							
Exposición:							
Ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5**
Moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5**
Severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5**

Agua: 205 kg/m3

Paso 4: Elección de la relación agua/cemento

Correspondencia entre la relación agua/cemento, en peso (w/c) y la resistencia a la compresión simple del concreto.

Resistencia a compresión a los 28 días (kg/cm2) (*)	Relación agua/cemento, por peso (w/c)	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450	0.38	-

400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Interpolar

$$\frac{350-312}{0.48-x}=\frac{350-300}{0.48-0.54}$$

Relación a/c= 0.52

Contenido en peso del cemento

205/0.52= 394,23 kg

Factor cemento

394,23 kg/50 kg = 7,88 sacos de cemento

Paso 5: Determinación del contenido de agregado grueso.

Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto (volumen = 1.00)

Tamaño máximo del agregado grueso		Volumen de agregado grueso (*) varillado en seco, por volumen unitario de concreto, para diferentes Módulos de Fineza de la arena			
(mm.)	(pulg.)	2.4	2.6	2.8	3.0
10	3/8”	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	½"	0.59	0.57	0.55	0.53
20	¾"	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1”	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 ½"	0.77	0.73	0.71	0.69
50	2”	0.78	0.76	0.74	0.72
75	3”	0.81	0.80	0.78	0.76

Peso del agregado grueso

$$0.44\ m3\ x1\ 596\ \frac{kg}{m3} = 702\ kg$$

Volumen absoluto

$$Cemento = \frac{394{,}23\ kg}{3.15\ \frac{gr}{cm3}\ x\ 1000} = 0{,}125\ m3$$

$$Agua = \frac{205\ kg}{1000\ kg/m3} = 0{,}205\ m3$$

$$Agregado\ grueso = \frac{702\ kg}{2\ 692\ kg/m3} = 0{,}26\ m3$$

$$Aire = \frac{3}{100} = 0{,}03\ m3$$

Sumatoria: 0,620 m3

$$Vol.ag\ fino = 1\ m3 - 0{,}620\ m3 = 0{,}38\ m3$$

Peso del agregado fino:

0,38 m3 x 2 628 kg/m3= 998,6 kg

Paso 6: correcciones por humedad de los agregados.

$$Agregado\ fino: 998{,}6\ kg\ \times \left(\frac{8{,}59}{100} + 1\right) = 1084{,}37\ kg$$

$$Agregado\ grueso: 702\ kg\ \times \left(\frac{2{,}58}{100} + 1\right) = 720{,}1\ kg$$

Paso 7: ajustes por tandas de prueba.

Por último, se debe rediseñar la mezcla para mantener la relación agua/cemento con el peso modificado de agua.

$$Agregado\ fino: \frac{(8{,}59 - 5{,}3) \times 1084{,}37\ kg}{100} = 35{,}67\ lt$$

$$Agregado\ grueso: \frac{(2{,}58 - 1{,}9) \times 720{,}1\ kg}{100} = 4{,}89\ lt$$

Suma: 40,56 lt

Agua efectiva

$$205\ lt - (40{,}56\ lt) = \ 164{,}44\ lt$$

Proporcionamiento del diseño

Cemento	**A. Fino**	**A. Grueso**	**Agua**
394,23 kg/m3	1084,37 kg/m3	720,1 kg/m3	164,44 lt/m3
Proporciones del diseño			
$\frac{394{,}23\ \ kg}{394{,}23\ \ kg} = 1$	$\frac{1084{,}37\ kg}{394{,}23\ \ kg} = 2{,}75$	$\frac{720{,}1\ kg}{394{,}23\ \ kg} = 1{,}82$	$\frac{164{,}44\ lt}{7{,}88}$ $= 20{,}86\ lt$

Se modifican las cantidades, para utilizar únicamente agregado fino

Cemento	**Agua**	**Agregado fino**
382 kg/m3	194 lt/m3	852 kg/m3

Por adoquín

Volumen del adoquín: $8cm \times 10cm \times 20cm = 1\ 600\ cm3 = 0{,}0016\ m3$

Se estima un uso de 6 adoquines por tratamiento

Volumen total: $0{,}0016\ m3\ \times 6\ adoquines = 0{,}0096\ m3$

Ya que el procedimiento de creación de los adoquines es mediante compresión, se estima el doble.

Volumen total: $0,0096\ m3\ \times 2 = 0,0192\ m3$

Proporción de mezcla patrón

Cemento	Agua	Agregado (polvo de piedra)
7,33 kg	2,5 lt*	16,36 kg

*Se estima 2,5 litros de agua, para evitar que la mezcla sea muy fluida.

El plástico triturado reemplazará parte del agregado fino.

Proporción de mezcla 2%

Cemento	Agua	Polvo de piedra	Plástico
7,33 kg	2,5 lt	16,04 kg	0,32 kg

Proporción de mezcla 4%

Cemento	Agua	Polvo de piedra	Plástico
7,33 kg	2,5 lt	15,70 kg	0,66 kg

Proporción de mezcla 6%

Cemento	Agua	Polvo de piedra	Plástico
7,33 kg	2,5 lt	15,38 kg	0,98 kg

4.1.3 Creación de los adoquines

Para la creación de los adoquines se utilizó una máquina bloquera, la cual es especial para la fabricación de los adoquines.

Figura 28

Máquina para la elaboración de adoquines



Fuente: Propia, 2023.

Figura 29

Adoquines de mezcla patrón



Fuente: Propia, 2023

Figura 30

Adoquines con 2% de plástico triturado de aparatos electrónicos



Fuente: Propia, 2023

Figura 31

Adoquines con 4% de plástico triturado de aparatos electrónicos



Fuente: Propia, 2023

Figura 32

Adoquines con 6% de plástico triturado de aparatos electrónicos



Fuente: Propia, 2023

Figura 33

Plástico utilizado para los adoquines

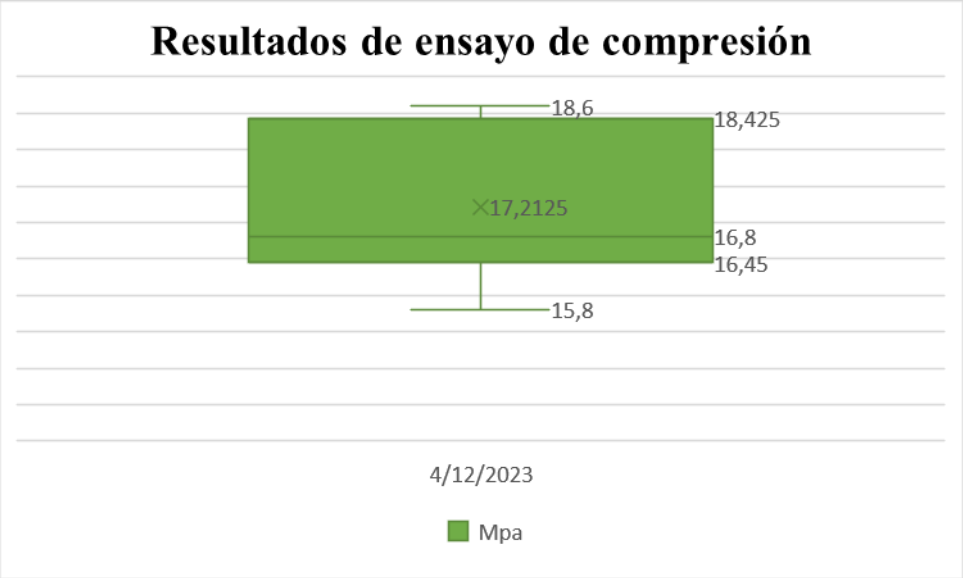


Fuente: Propia, 2023

4.2 Presentación de los resultados para las variables o categorías de análisis

Se elaboraron 24 adoquines con distintos porcentajes de plástico de aparatos electrónicos triturados, se realizar el primer ensayo a compresión a los 7 días de haber realizado los adoquines, el segundo ensayo se realizó a los 14 días y el tercer ensayo se realizó a los 28 días de secado, se fallaron en cada fecha un total de ocho adoquines, distribuyéndose de la siguiente manera, dos adoquines hechos con una mezcla patrón, dos con el diseño de mezcla agregando 2% de plástico, dos con 4% y dos con 6% de plástico.

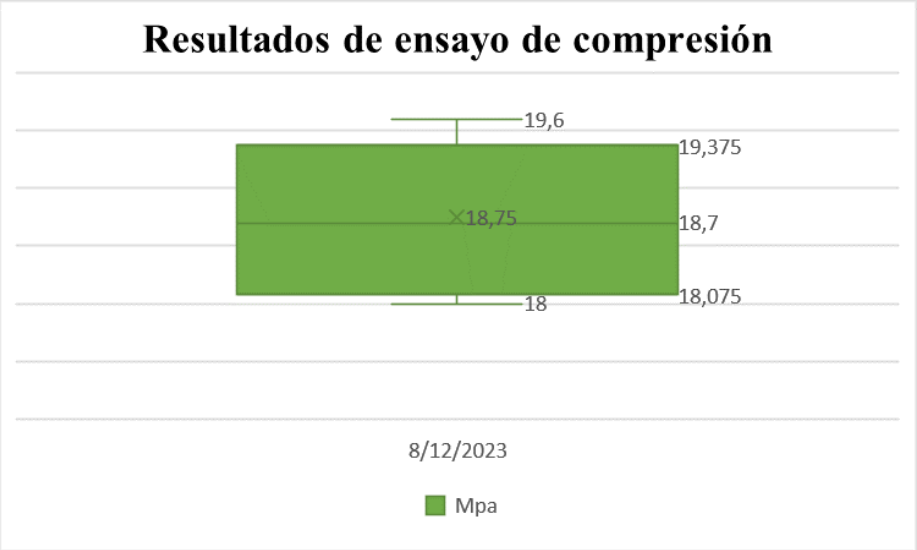
a) Resultados del primer ensayo a compresión realizado al instrumento 1



El grafico N°01 representa el ensayo realizado a los 7 días de secado de los adoquines.

Se refleja que 15,8 es el valor mínimo en Mpa, esto siendo el resultado que arrojó el ensayo del adoquín con 4% de plástico, se pasó a comprobar con el programa Excel que ese fuera el mínimo del conjunto de datos obtenidos. El recuadro sombreado representa la variabilidad de del conjunto de los datos donde la línea inferior representa el cuartil uno, y la línea superior representa el cuartil tres, por lo que la amplitud representa el rango intercuartílico, la línea dentro de la caja representa el cuartil dos, o la mediana de los datos, en el bigote superior se representa el valor máximo en Mpa que arrojó el ensayo en la falla del adoquín con 6% de plástico, se comprobó con el programa Excel que ese valor es el máximo entre el conjunto de datos obtenidos el día del ensayo. El punto graficado en equis representa la media aritmética.

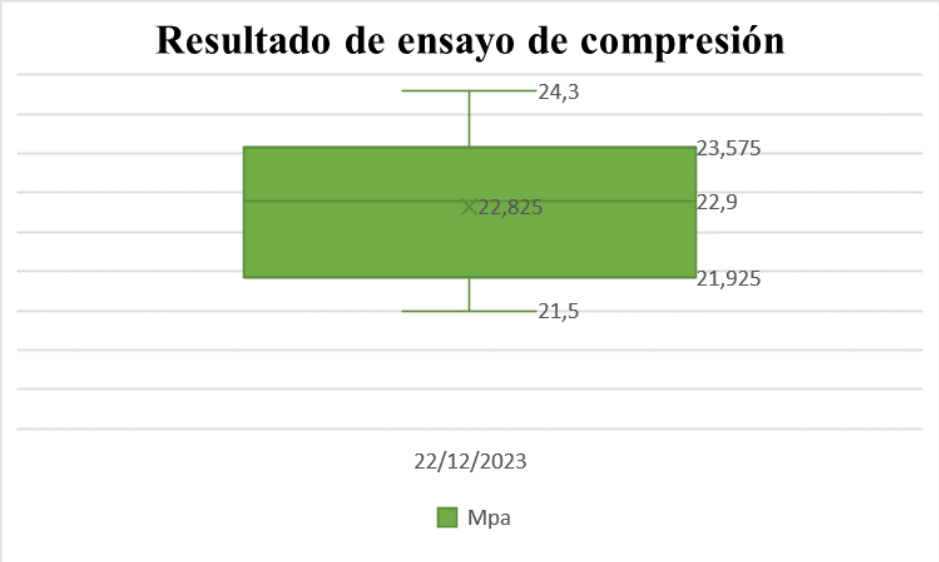
b) Resultados del segundo ensayo a compresión realizado al instrumento 2



El grafico N°02 representa el ensayo realizado a los 14 días de secado de los adoquines.

Se refleja que 18 es el valor mínimo en Mpa, esto siendo el resultado que arrojó el ensayo del adoquín con 6% de plástico, se pasó a comprobar con el programa Excel que ese fuera el mínimo del conjunto de datos obtenidos. El recuadro sombreado representa la variabilidad del conjunto de los datos donde la línea inferior representa el cuartil uno, y la línea superior representa el cuartil tres, por lo que la amplitud representa el rango intercuartílico, la línea dentro de la caja representa el cuartil dos, o la mediana de los datos, en el bigote superior se representa el valor máximo en Mpa que arrojó el ensayo en la falla del adoquín con 4% de plástico, se comprobó con el programa Excel que ese valor es el máximo entre el conjunto de datos obtenidos el día del ensayo. El punto graficado en equis representa la media aritmética

c) Resultado del tercer ensayo a compresión realizado al instrumento 3



El grafico N°03 representa el ensayo realizado a los 28 días de secado de los adoquines Se refleja que 21,5 es el valor mínimo en Mpa, esto siendo el resultado que arrojó el ensayo del adoquín con 2% de plástico, se pasó a comprobar con el programa Excel que ese fuera el mínimo del conjunto de datos obtenidos. El recuadro sombreado representa la variabilidad del conjunto de los datos donde la línea inferior representa el cuartil uno, y la línea superior representa el cuartil tres, por lo que la amplitud representa el rango intercuartílico, la línea dentro de la caja representa el cuartil dos, o la mediana de los datos, en el bigote superior se representa el valor máximo en Mpa que arrojó el ensayo en la falla del adoquín con 4% de plástico, se comprobó con el programa Excel que ese valor es el máximo entre el conjunto de datos obtenidos el día del ensayo. El punto graficado en equis representa la media aritmética

4.3 Análisis y discusión de los resultados para las variables o categorías de análisis

Los 24 adoquines fueron sometidos a un ensayo a compresión, en tres distintas fechas, se realizó una distribución de ocho adoquines por fecha, dos de cada porcentaje de plástico y dos de una mezcla patrón, en el estudio realizado se hicieron distintos procedimientos antes de proceder al ensayo final donde se iba a conocer la resistencia a compresión mínima de forma

individual, según las propiedades de resistencia de INTE C129, la resistencia para un adoquín de tipo A-21, es de 19 Mpa.

Los resultados arrojados a los 7 días de secado de los adoquines no corresponden a la resistencia mínima requerida según la norma INTE C129, la resistencia máxima en esa falla fue de 18,6 Mpa y fue por parte de la mezcla con 6% de plástico.

Figura 34

Tabla de resultados del ensayo a compresión

Porcentaje de plástico	Fecha ensayo	Fecha moldeo	Largo	Ancho	Alto	Peso	Carga en KN	Área neta (cm^2	Mpa
Mezcla patrón	4/12/2023	25/11/2023	198,8	98,6	61,1	2,6	318,4	194,4	16,4
Mezcla patrón	4/12/2023	25/11/2023	199,8	98,7	60,8	2,5	324,6	194,4	16,7
2%	4/12/2023	25/11/2023	199,6	98,5	60,3	2,3	307,8	194,4	18,2
2%	4/12/2023	25/11/2023	199,3	98,3	59,8	2,4	313,1	194,4	18,5
4%	4/12/2023	25/11/2023	1992	98,6	60,2	2,5	306,7	194,4	15,8
4%	4/12/2023	25/11/2023	199	98,6	60,3	2,5	327,8	194,4	16,9
6%	4/12/2023	25/11/2023	198,9	99,5	60,7	2,3	322,4	194,4	16,6
6%	4/12/2023	25/11/2023	198,3	99,7	60,5	2,7	361,2	194,4	18,6

Fuente: Propia, 2023

Los resultados arrojados a los 14 días de secado de los adoquines si corresponden a la resistencia mínima requerida según la norma INTE C129, la resistencia máxima obtenida fue de 19,6 Mpa y corresponde a la mezcla con 4% de plástico.

Figura 35

Tabla de resultados del ensayo a compresión

Porcentaje de plástico	Fecha ensayo	Fecha moldeo	Largo	Ancho	Alto	Peso	Carga en KN	Área neta (cm^2	Mpa
Mezcla patrón	8/12/2023	25/11/2023	200,1	98,2	61,2	2,5	377,4	194,4	19,4
Mezcla patrón	8/12/2023	25/11/2023	199,5	99,1	61,8	2,6	348,9	194,4	18,2
2%	8/12/2023	25/11/2023	199,3	98,3	60,3	2,3	356,2	194,4	18,3
2%	8/12/2023	25/11/2023	198,9	98	60,9	2,4	360,9	194,4	18,6
4%	8/12/2023	25/11/2023	199,5	99,1	60,7	2,7	386,1	194,4	19,6
4%	8/12/2023	25/11/2023	198,9	99,2	59,9	2,6	374,5	194,4	19,3
6%	8/12/2023	25/11/2023	198,6	98,6	59,8	2,5	349,8	194,4	18
6%	8/12/2023	25/11/2023	198,4	98,7	59,6	2,5	365,9	194,4	18,8

Fuente: Propia, 2023

Los resultados arrojados a los 28 días de secado de los adoquines si corresponden a la resistencia mínima requerida según la norma INTE C129, la resistencia máxima obtenida fue de 24,3 Mpa y corresponde a la mezcla con 4% de plástico.

Figura 36

Tabla de resultados del ensayo a compresión

Porcentaje de plástico	Fecha ensayo	Fecha moldeo	Largo	Ancho	Alto	Peso	Carga en KN	Área neta (cm^2	Mpa
Mezcla patrón	22/12/2023	25/11/2023	198,2	98,2	60,4	2,4	426,8	194,4	22
Mezcla patrón	22/12/2023	25/11/2023	199,5	98,5	61,2	2,6	458,9	194,4	23,6
2%	22/12/2023	25/11/2023	199,3	98,9	60,5	2,4	417,6	194,4	21,5
2%	22/12/2023	25/11/2023	199,8	99,6	60,3	2,5	426,3	194,4	21,9
4%	22/12/2023	25/11/2023	199,9	98,6	59,7	2,4	456,9	194,4	23,5
4%	22/12/2023	25/11/2023	198,9	99,2	59,3	2,8	472,6	194,4	24,3
6%	22/12/2023	25/11/2023	199,5	99	60,4	2,6	448,7	194,4	23,1
6%	22/12/2023	25/11/2023	199,2	99,3	60,7	2,6	441,2	194,4	22,7

Fuente: Propia, 2023

4.3.1 Análisis de varianza

Para la obtención de los resultados estadísticos se hizo uso del análisis de varianza, que es una técnica estadística que se utiliza para comparar la media de tres o más grupos y determinar si existen diferencias significativas entre ellas. En otras palabras, ANOVA ayuda a saber si hay una diferencia significativa en la media entre los grupos que se están comparando o si cualquier diferencia que se haya observado se debe simplemente al azar.

Se elaboró el análisis de varianza en el programa Excel, donde se obtiene que F calculado < F crítico, por lo que no se puede rechazar la hipótesis, esto dando por entendido que el tratamiento no tuvo efecto en el experimento, por lo tanto, la nula se ve favorecida sobre la alternativa.

Figura 37

Análisis de varianza (ANOVA)

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
Mezcla patron	6	116,1	19,4	8,5
Mezcla con 2% de plástico	6	117	19,5	2,9
Mezcla con 4% de plástico	6	119,4	19,9	11,7
Mezcla con 6% de plástico	6	117,8	19,6	7,0

ANOVA

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F calculado*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	1,0	3	0,3	0,04	1,0	3
Within Groups	151	20	8			
	152	23				

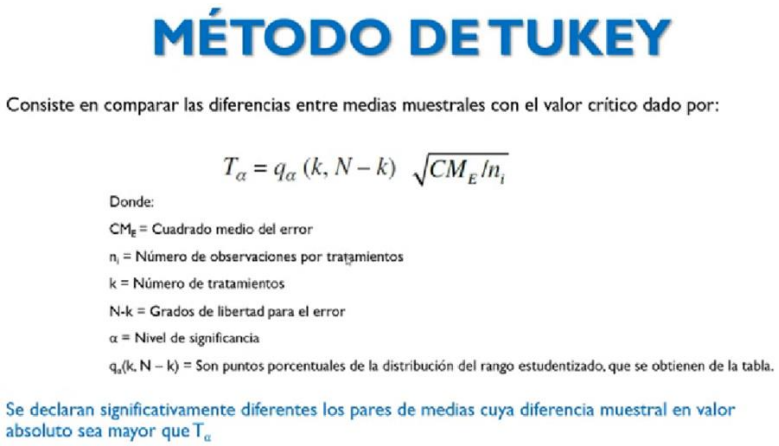
Fuente: Excel, 2023

4.3.2 Método Tukey

La prueba de Tukey es un método que tiene como fin comparar las medias individuales provenientes de un análisis de varianza de varias muestras sometidas a tratamientos distintos. En los experimentos donde se compara entre tres o más tratamientos diferentes aplicados a igual número de muestras, se requiere discernir si los resultados son significativamente distintos o no.

Figura 3

Método de Tukey



Fuente: YouTube, El Tío Estadístico, 2021

Método de Tukey	
k	4
N-k	20
CMt	223
ni	6
q(kN-k)	4,5
T	27

Se elaboró una tabla para realizar la comparación de diferencias muestrales. La T_α calculada mediante el método Tukey debe de ser mayor a la diferencia muestral para que haya una diferencia significativa, en el caso de la investigación no se presentó diferencia significativa entre las muestras comparadas de los adoquines con distintos porcentajes de plástico.

Diferencia de resistencia	Diferencia muestral	Decisión
MP-2%	0,12	No significativa
MP-4%	0,52	No significativa
MP-6%	0,25	No significativa
2%-4%	0,40	No significativa
2%-6%	0,13	No significativa
4%-6%	0,27	No significativa

4.4 Aceptación o rechazo de la hipótesis

Cuando la hipótesis nula no se rechaza mediante el análisis de varianza, implica que no existe diferencia significativa entre los grupos en términos de la variable medida, por este resultado se procedió a aplicar el método de Tukey que se utiliza para identificar las diferencias significativas entre las medias de múltiples grupos. El método de Tukey se basa en la comparación de los valores críticos de la diferencia mínima significativa entre las medias de cada para de grupos. Si la diferencia entre dos medidas es mayor que el valor crítico entonces se considera que es significativamente diferente. De esta manera, el método de Tukey ayuda a controlar el error tipo 1, que es el de la probabilidad de cometer un falso positivo, cuando se realizan múltiples comparaciones entre grupos.

Se rechaza la hipótesis después de realizar el análisis estadístico de varianza, y aplicando el método Tukey, para la comparación de diferencia muestral, se presenta que no hay diferencia entre la mezcla patrón y las mezclas con distintos porcentajes de plástico triturado de aparatos electrónicos. Este resultado hace que nazca una nueva pregunta de investigación, la cual sería la dimensión del plástico utilizado, siendo esto el posible causante de que no haya una diferencia significativa entre la mezcla patrón y las mezclas con distintos porcentajes de plástico.

El plástico de aparatos electrónicos utilizado en dicha investigación fue triturado, por lo tanto, los tamaños varían entre cada pieza, algunas de éstas podían ser de más de 3 cm de largo, algo que estéticamente no se ve bien en el acabado final del adoquín, pero, ¿puede el tamaño del plástico influir en la resistencia a compresión de los adoquines?

Es una pregunta que puede llevar a una nueva investigación, donde se procese el plástico de una forma diferente, de tal manera que este tenga un tamaño más uniforme y más pequeño.

Capítulo 5: Limitaciones, conclusiones y recomendaciones

5.1 Limitaciones de la investigación

1. Carencia de instrumentos para lograr realizar los adoquines
2. Escasos trabajos de investigación en los que se haga uso de los materiales propuestos por esta investigación.
3. Falta de laboratorio de materiales en la universidad para la realización de los distintos ensayos.
4. Dificultad al momento de conseguir la empresa que tritura el material utilizado en los adoquines.

5.2. Conclusiones

1. No se obtiene el resultado esperado en la resistencia de los adoquines, esto porque no hay una diferencia significativa entre la mezcla patrón y las mezclas con distintos porcentajes de plástico.
2. La investigación evidencia el grave problema que representa la basura tecnológica tanto para Costa Rica como para el mundo.
3. En Costa Rica hace falta incentivar la realización de campañas de reciclaje de aparatos electrónicos
4. En la industria de la construcción el uso de plástico reciclado se ha convertido en una práctica cada vez más común debido a sus múltiples beneficios ambientales y económicos.

5.3 Recomendaciones

1. Realizar campañas para que las personas comprendan el daño que puede causar la basura tecnológica que no es desechada de una forma correcta
2. Crear alianzas municipales con los comerciantes locales para lograr un buen trato de la basura tecnológica.

3. Que en la industria de la construcción se logre trabajar de una forma más consiente con el medio ambiente.
4. Se recomienda el uso del diseño de mezcla de concreto hidráulico con 4% de plástico, ya que da muy buenos resultados en cuanto a resistencia a compresión, sin embargo, se recomienda utilizar plástico en el cual las piezas tengan un tamaño más uniforme y pequeño, preferiblemente que sea de tamaño similar al agregado.

Referencias bibliográficas

Amagard. (2018). *¿Cómo colocar adoquines? Paso a paso.* Obtenido de Amagard: https://www.amagard.com/es/inspiracion-informacion/como-colocar-adoquines

American Concrete Institute ACI. (2002). *Diseño de Mezclas - Método ACI 211.* Obtenido de Scribd: https://es.scribd.com/document/416234302/17-Diseno-de-Mezclas-Metodo-ACI-1

CABALLERO MEZA, B., & FLOREZ LENGUA, O. (2016). *ELABORACIÓN DE BLOQUES EN CEMENTO REUTILIZANDO EL PLÁSTICO POLIETILEN-TEREFTALATO (PET) COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA CONSTRUCCIÓN.* Obtenido de Repositorio: https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/4404/documento%20final%20tesis%20de%20grado.pdf?bitstreamId=ccb9cd04-c4bd-40bb-93a4-43a141c2b110&locale-attribute=es

Castillo Torres, P. I. (2018). *INSTRUCTIVO DE LA PRODUCCIÓN, COLOCACIÓN Y MANEJO DEL CONCRETO ELABORADO EN OBRA.* Obtenido de Repositorio: https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/14212/CastilloTorresPaulaIsabel201;jsessionid=1A93FEC302ED9D6A7C7A41F9BCFBBBC1?sequence=2

Cementos Inka. (s.f.). *¿Que es el Clinker? Componentes basicos sobre el cemento.* Obtenido de Cementos Inka: https://www.cementosinka.com.pe/blog/que-es-el-clinker-componentes-basicos-sobre-el-cemento/

Chan Yam, J. L., Solís Carcaño, R., & Moreno, E. I. (2003). *Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto.* Obtenido de Redalyc: https://www.redalyc.org/pdf/467/46770203.pdf

CONCREPAL. (s.f.). *ADOQUINES.* Obtenido de CONCREPAL: https://www.concrepal.com/productos/adoquines-y-pisos-exteriores-2/

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA, LA MINISTRA DE SALUD Y EL MINISTRO DE AMBIENTE, ENERGÍA Y TELECOMUNICACIONES . (2010). *Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos Electrónicos de Costa Rica Decreto Nº 35993-S .* Obtenido de DIGECA: http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/reglamento_gestion_integral_residuos_electronicos_costa_rica_0.pdf

Fernandez, J. (2016). *El enfoque cuantitativo.* Obtenido de Jorgelfedez: https://jorgelfdez.wordpress.com/2016/07/12/el-enfoque-cuantitativo/

Giaccio, G., Zerbino, R., Tobes, J., López, A., Isaia, G., & Rodríguez de Sensale, G. (2006). *APROVECHAMIENTO DE LA CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ PARA LA ELABORACIÓN DE HORMIGONES.* Obtenido de https://host170.sedici.unlp.edu.ar/server/api/core/bitstreams/965730f8-d9c8-4bc4-8504-5af3fece8bde/content

González Gaitán, W. (2021). *Residuos eléctricos y electrónicos.* Obtenido de Prosic UCR: http://www.prosic.ucr.ac.cr/sites/default/files/recursos/capitulo_8_.pdf

Hazte Eco | EFE | Madrid. (2016). *Así afecta el plástico que tiras al mar a las aves.* Obtenido de Hazte Eco: https://compromiso.atresmedia.com/hazte-eco/noticias/asi-afecta-plastico-que-tiras-mar-aves_201611105943b3da0cf22592e317093b.html

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación.* México DF: Mc Graw Hill.

Hernández Sánchez, I. (2022). *Costa Rica se propone solucionar la contaminación por plásticos.* Obtenido de UNDP: https://www.undp.org/es/costa-rica/press-releases/costa-rica-se-propone-solucionar-la-contaminaci%C3%B3n-por-pl%C3%A1sticos

Holcim. (s.f.). *CEMENTO INDUSTRIAL FICHA TÉCNICA.* Obtenido de Holcim: https://www.holcim.cr/sites/costarica/files/2022-08/ficha_cemento_industrial.pdf

INTECO. (2020). *INTE C129:2020 Adoquines de concreto. Especificaciones.* Obtenido de INTECO: https://erp.inteco.org/en_US/shop/inte-c129-2020-adoquines-de-concreto-especificaciones-8780#attr=

Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto.* Obtenido de Issuu: https://issuu.com/gustavochonlongalcivar/docs/dise__o_y_control_de_mezclas_de_con

LANAMME. (s.f.). *Absorción y área neta de bloques, ladrillos y adoquines ASTM C140 INTE 06-02-13.* Obtenido de LANAMME UCR: https://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/ensayos/3-concreto/3.22.pdf

LANAMME. (s.f.). *Flexión de adoquines de concreto INTE 06-02-14.* Obtenido de LANAMME UCR: https://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/ensayos/3-concreto/3.26.pdf

LANAMME. (s.f.). *Resistencia a la compresión de bloques de concreto, adoquines y ladrillos ASTM C140 INTE 06-02-13.* Obtenido de LANAMME UCR: https://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/ensayos/3-concreto/3.21-25.pdf

Lanamme. (s.f.). *Resistencia a la compresión de cilindros de concreto ASTM C39.* Obtenido de Lanamme UCR: https://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/ensayos/3-concreto/3.10-11.pdf

López Vidal, A. (2017). *Adoquines de hormigón (sin dimensiones).* Obtenido de BIM Y CO: https://www.bimandco.com/es/objetos-bim/6070-adoquines-de-hormigon-sin-dimensiones/details

Martínez Pérez, A. (2021). *Diferencia entre centro de acopio y recicladora.* Obtenido de REMSA: https://www.reciclaelectronicos.com/blog/2021/05/diferencia-entre-centro-de-acopio-y-recicladora/

Mixto Listo. (s.f.). *¿Qué es el concreto y para qué sirve?* Obtenido de Mixto Listo: https://www.mixtolisto.com/que-es-el-concreto-y-para-que-sirve/

Muñoz Salinas, F., & Mendoza Escobedo, C. J. (2012). *La durabilidad en las estructuras de concreto reforzado desde la perspectiva de la norma española para estructuras de concreto.* Obtenido de Scielo: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112012000200004#:~:text=La%20durabilidad%20es%20la%20capacidad,previstas%20en%20su%20dise%C3%B1o%20estructural.

Naeco. (2023). *Historia del plástico: origen y evolución.* Obtenido de Naeco: https://naeco.com/es/actualidad/historia-del-plastico/

National Geographic. (2022). *¿Por qué el reciclaje de aparatos electrónicos es tan importante para el planeta?* Obtenido de National Geographic: https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2022/05/por-que-el-reciclaje-de-aparatos-electronicos-es-tan-importante-para-el-planeta

Norma Técnica Colombiana NTC. (2001). *NTC 3459 concretos.* Obtenido de Slideshare: https://es.slideshare.net/walterjavierafricanocepeda/ntc3459-concretos

Organización Mundial de la Salud OMS. (2017). *El mercurio y la salud.* Obtenido de Organización Mundial de la Salud OMS: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health

PEDREGAL. (s.f.). *ADOQUINES PEDREGAL.* Obtenido de PEDREGAL: https://pedregal.co.cr/web/wp-content/uploads/2021/01/CAT_ADOQUINES.pdf

Pellegrino, L. A., Chiozzi, L. J., Pinatti, A. B., & Ramírez, V. I. (2021). *Riesgos de la gestión ambientalmente inadecuada de RAEE. Definición y pasos para un tratamiento sustentable.* Obtenido de Brazilian Journal of Animal and Environmental Research: file:///C:/Users/valer/Downloads/admin,+ART+154+BJAER%20(3).pdf

Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero.* Obtenido de Google Books: https://books.google.com.co/books?id=EWq-QPJhsRAC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false

Siles Andrei. (2022). *Costa Rica genera 13 kilos de basura electrónica por habitante cada año.* Obtenido de La República: https://www.larepublica.net/noticia/costa-rica-genera-13-kilos-de-basura-electronica-por-habitante-cada-ano

Sistema de la Integración Centroamericana SICA. (s.f.). *¿Qué es el Convenio de Basilea?* Obtenido de SICA: https://www.sica.int/preguntas/que-es-el-convenio-de-basilea_1_43592.html

Statista Research Department. (15 de Octubre de 2023). *Volumen de generación de residuos electrónicos en Costa Rica de 2015 a 2021.* Obtenido de estatista.com: https://es.statista.com/estadisticas/1218722/generacion-residuos-electronicos-costa-rica/#:~:text=En%20Costa%20Rica%2C%20la%20generaci%C3%B3n,comparaci%C3%B3n%20con%20el%20a%C3%B1o%20anterior

Tobon, J. I. (2015). *PUZOLANAS EN LOS ALREDEDORES DE IRRA.* Obtenido de Research Gate: https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Tobon-4/publication/266883701_PUZOLANAS_EN_LOS_ALREDEDORES_DE_IRRA/links/55fa1d3908aeafc8ac3139f4/PUZOLANAS-EN-LOS-ALREDEDORES-DE-IRRA.pdf

Velásquez Vivas, J. E. (2021). *BLOQUES DE CONCRETO SUSTENTABLES A PARTIR DE LA UTILIZACIÓN DE MATERIAL DE RECICLAJE (PET).* Obtenido de Repositorio: https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/314984df-3ee2-471a-982c-f55608150341/content

Apéndices

Apéndice A

Porcentaje de plástico	Fecha ensayo	Fecha moldeo	Largo	Ancho	Alto	Peso	Carga en KN	Área neta (cm^2)	Mpa
Mezcla patrón	4/12/2023	25/11/2023	198,8	98,6	61,1	2,6	318,4	194,4	16,4
Mezcla patrón	4/12/2023	25/11/2023	199,8	98,7	60,8	2,5	324,6	194,4	16,7
2%	4/12/2023	25/11/2023	199,6	98,5	60,3	2,3	307,8	194,4	18,2
2%	4/12/2023	25/11/2023	199,3	98,3	59,8	2,4	313,1	194,4	18,5
4%	4/12/2023	25/11/2023	1992	98,6	60,2	2,5	306,7	194,4	15,8
4%	4/12/2023	25/11/2023	199	98,6	60,3	2,5	327,8	194,4	16,9
6%	4/12/2023	25/11/2023	198,9	99,5	60,7	2,3	322,4	194,4	16,6
6%	4/12/2023	25/11/2023	198,3	99,7	60,5	2,7	361,2	194,4	18,6

Tabla resumen de los ensayos a compresión realizados a los adoquines a los 7 días de secado, la tabla contiene las especificaciones necesarias que se deben de saber sobre el adoquín realizado.

Apéndice B

Porcentaje de plástico	Fecha ensayo	Fecha moldeo	Largo	Ancho	Alto	Peso	Carga en KN	Área neta (cm^2)	Mpa
Mezcla patrón	8/12/2023	25/11/2023	200,1	98,2	61,2	2,5	377,4	194,4	19,4
Mezcla patrón	8/12/2023	25/11/2023	199,5	99,1	61,8	2,6	348,9	194,4	18,2
2%	8/12/2023	25/11/2023	199,3	98,3	60,3	2,3	356,2	194,4	18,3
2%	8/12/2023	25/11/2023	198,9	98	60,9	2,4	360,9	194,4	18,6
4%	8/12/2023	25/11/2023	199,5	99,1	60,7	2,7	386,1	194,4	19,6
4%	8/12/2023	25/11/2023	198,9	99,2	59,9	2,6	374,5	194,4	19,3
6%	8/12/2023	25/11/2023	198,6	98,6	59,8	2,5	349,8	194,4	18
6%	8/12/2023	25/11/2023	198,4	98,7	59,6	2,5	365,9	194,4	18,8

Tabla resumen de los ensayos a compresión realizados a los adoquines a los 14 días de secado, la tabla contiene las especificaciones necesarias que se deben de saber sobre el adoquín realizado.

Apéndice C

Porcentaje de plástico	Fecha ensayo	Fecha moldeo	Largo	Ancho	Alto	Peso	Carga en KN	Área neta (cm^2)	Mpa
Mezcla patrón	22/12/2023	25/11/2023	198,2	98,2	60,4	2,4	426,8	194,4	22
Mezcla patrón	22/12/2023	25/11/2023	199,5	98,5	61,2	2,6	458,9	194,4	23,6
2%	22/12/2023	25/11/2023	199,3	98,9	60,5	2,4	417,6	194,4	21,5
2%	22/12/2023	25/11/2023	199,8	99,6	60,3	2,5	426,3	194,4	21,9
4%	22/12/2023	25/11/2023	199,9	98,6	59,7	2,4	456,9	194,4	23,5
4%	22/12/2023	25/11/2023	198,9	99,2	59,3	2,8	472,6	194,4	24,3
6%	22/12/2023	25/11/2023	199,5	99	60,4	2,6	448,7	194,4	23,1
6%	22/12/2023	25/11/2023	199,2	99,3	60,7	2,6	441,2	194,4	22,7

Tabla resumen de los ensayos a compresión realizados a los adoquines a los 28 días de secado, la tabla contiene las especificaciones necesarias que se deben de saber sobre el adoquín realizado.