

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA

**Hormigón polimérico con reemplazo de harina de roca calcárea
para aplicaciones viables en la construcción.**

AUTORES

**Cedeño Pincay, Jonathan Jair
Toala Peña, Patricio Rafael**

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

TUTOR

Ing. Martínez Rehpani, Colón Gilberto M.Sc.

Guayaquil, Ecuador

12 de septiembre del 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Cedeño Pincay, Jonathan Jair y Toala Peña, Patricio Rafael**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniería civil**.

TUTOR

f. _____

Ing. Martínez Rehpani Colón Gilberto M.Sc.



DIRECTORA DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Alcívar Bastidas Stefany Esther M.Sc.

Guayaquil, a los 12 del mes de septiembre del año 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Cedeño Pincay, Jonathan Jair**
Toala Peña, Patricio Rafael

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación, **Hormigón polimérico con reemplazo de harina de roca calcárea para aplicaciones viables en la construcción**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

f. _____
Cedeño Pincay, Jonathan Jair

f. _____
Toala Peña, Patricio Rafael

Guayaquil, a los 12 días del mes de septiembre del año 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Cedeño Pincay, Jonathan Jair**
Toala Peña, Patricio Rafael

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Hormigón polimérico con reemplazo de harina de roca calcárea para aplicaciones viables en la construcción**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 12 días del mes de septiembre del año 2023

LOS AUTORES:

f. _____
Cedeño Pincay, Jonathan Jair

f. _____
Toala Peña, Patricio Rafael

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a mis padres Julio Cedeño y Angela Pincay, por no dudar nunca de mis capacidades y apoyarme en todo aspecto en cada uno de mis sueños y metas a cumplir, me han demostrado que nada es imposible con dedicación y tenacidad.

A mis hermanos Willy y Julio, por todos los consejos y el apoyo brindado en esta etapa de mi vida, no tengo duda de que sin ellos no lo hubiese logrado, siempre han sido un ejemplo que seguir para mí.

Agradezco a mi pareja Alejandra Nieto, por acompañarme en los momentos complicados de mi carrera y siempre alentarme a seguir, ha sido un pilar importante para este logro.

Retribuyo el esfuerzo y dedicación empleada por mi amigo y docente tutor Gilberto Martínez, quien me enseñó mucho acerca de la ingeniería y de la vida, es un ejemplo que seguir, lo respeto y estimo mucho. Agradezco su confianza en mí como persona y profesional para realizar el presente trabajo investigativo.

Finalmente agradezco a todos mis compañeros y amigos de la universidad quienes celebraban todos mis logros y también me acompañaban en las dificultades de la carrera, esencialmente a Patricio Toala, Jordan Herrera, Joel Anda, Roddy Espinales, Ariana Paredes y Meylyn Loor, sin ustedes la carrera no hubiese sido tan divertida.

Jonathan Jair Cedeño Pincay

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a mi abuelo José Cedeño que siempre me motivó a estudiar, trabajar y ser una persona con valores, estoy seguro de que se siente orgulloso por completar mi carrera universitaria tal y como se lo prometí.

También a mi tío Víctor Cedeño que me mostró que no hay mejor forma de vivir el día a día que con alegría, valorando a nuestros seres queridos y haciendo deporte.

Le dedico mi logro a mi familia y amigos de toda la vida quienes nunca han dudado de mí y lo que soy capaz.

Jonathan Jair Cedeño Pincay

AGRADECIMIENTO

El desarrollo de este trabajo de titulación y la finalización de mi carrera universitaria se lo agradezco totalmente a Dios y a mi querida familia, mis padres Hector Rafael Toala Constante y Mónica Patricia Peña Bravo, mis hermanos Francisco y Javier, y mis abuelos Francisco Peña y Margarita Constante.

También, agradezco a todas las personas importantes en mi vida que han dejado una huella muy grande en el transcurso de mi carrera universitaria, como mis amigos.

Patricio Rafael Toala Peña

DEDICATORIA

Se la dedico a mi querida familia, en especial a mis abuelos Ing. Jorge Toala y María Bravo, por cuidar de mí desde el cielo y nunca abandonarme, que sepan que los extraño mucho y sé que en algún momento los volveré a ver.

Patricio Rafael Toala Peña



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.

Ing. Federico von Buchwald de Janon PhD

DECANO

f.

Ing. Yépez Roca Luis Octavio M.Sc.

COORDINADOR DEL ÁREA

f.

Ing. Alcívar Bastidas Stefany Esther M.Sc.

OPONENTE

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	2
INTRODUCCIÓN	2
1.1 Antecedentes.....	3
1.1.1 Refugio científico con plástico reciclado para Galápagos	3
1.1.2 PlasticRoad en Holanda.....	5
1.1.3 GreenRoads en India	7
1.1.4 Puente Dawyck Estate.....	9
1.2 Planteamiento Del Problema.....	10
1.2.1 Hormigón en clima caluroso	10
1.2.2 Altos costos y ausencia de productos de acabados en el mercado local	12
1.2.3 Consumo del hormigón convencional	13
1.2.4 Problemas con pavimentos, altos costos y poca durabilidad..	14
1.2.5 Demolición y desechos.....	17
1.2.6 Déficit y Altos Costos de Viviendas Sostenibles en Ecuador	19
1.2.7 Contaminación del Entorno Humano Con Plástico.....	24
1.3 Justificación	25
1.4 Objetivos De La Investigación.....	26
1.4.1 Objetivo general	26
1.4.2 Objetivos específicos	26
CAPÍTULO II	28
2.1 Marco Legal	28

2.1.1	Constitución Nacional de la República del Ecuador	28
2.1.2	Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva	29
2.1.3	Ley Orgánica de Educación Superior (LOES)	30
2.1.4	Estatuto de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil 31	
2.1.5	Perfil del Egresado de la carrera de Ingeniería Civil de la UCSG 32	
2.2	Marco Teórico	32
2.2.1	Agenda 2030	32
2.2.2	Objetivos de Desarrollo Sostenibles	33
2.3	Contaminación con Basura Plástica	34
2.3.1	Islas Galápagos	34
2.3.2	Cuenca Baja del Río Guayas	35
2.4	Polímeros	38
2.4.1	Definición	38
2.4.2	Clasificación de los polímeros	39
2.4.3	Proceso de reciclaje de polímeros	40
2.5	Hormigón convencional	43
2.5.1	Agregados	43
2.5.2	Cemento	45
2.5.3	Agua para mezcla	46
2.5.4	Aditivo	46
2.6	Hormigón Arquitectónico	47

2.7	Madera Plástica	48
2.8	Hormigón Estampado	49
2.9	Prefabricados.....	50
2.10	Construcción mecanizada.....	52
2.11	Geología regional	53
2.11.1	Cordillera Chongon Colonche	53
2.11.2	Formación San Eduardo	55
2.11.3	Formación Guayaquil	56
2.11.4	Formación Piñón	56
2.11.5	Formación Macuchi	57
2.11.6	Formación Cayo	57
2.12	Extracción de caliza.....	57
2.12.1	Procesos de extracción	58
2.12.2	Perforación y voladura	60
2.12.3	Trituración	61
CAPÍTULO III.....		66
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....		66
3.1	Polietileno (PET).....	66
3.1.1	Conceptos generales	66
3.1.2	Polietileno de baja densidad	68
3.1.2.1	Propiedades	68
3.1.2.2	Aplicaciones en la industria	69
3.1.3	Polietileno de alta densidad	69
3.1.3.1	Propiedades	70

3.1.3.2	Aplicaciones en la industria	71
3.1.4	Comportamiento curva esfuerzo-deformación	72
3.1.5	Uso en la construcción civil	73
3.2	Caliza	74
3.2.1	Conceptos generales	74
3.2.2	Clasificación	75
3.2.3	Usos	76
3.2.4	Derivados.....	78
3.3	Productos de acabados.....	78
3.3.1	Producción de elementos.....	79
3.3.2	Adoquines.....	80
3.3.2.1	Clasificación.....	83
3.3.2.2	Características generales.....	84
3.3.2.3	Normas de calidad.....	87
3.3.2.4	Propiedades físicas y mecánicas	87
3.3.2.5	Aspectos Visuales	87
3.3.3	Baldosas.....	88
3.3.4	Tejas Planas	92
3.3.5	Fachaletas	97
CAPÍTULO IV.....		102
PROPUESTA METODOLÓGICA.....		102
4.1	Tipo de investigación	102
4.2	Metodología del proceso.....	103
4.2.1	Obtención de materias primas	103
4.2.2	Elaboración de probetas de ensayo.....	106

4.2.3	Ensayos realizados.....	111
4.2.3.1	Granulometría	111
4.2.3.2	Densidades de la muestra	112
4.2.3.3	Ensayo de Resistencia a la Compresión Simple	113
4.2.3.4	Ensayo de permeabilidad	117
4.3	Diseño de elementos de acabados.....	119
4.3.1	Moldes de diseño	119
4.3.2	Proceso de elaboración	119
4.3.3	Propuesta de adoquines	120
4.3.4	Propuesta de Baldosas	122
4.3.5	Propuesta de Fachaletas.....	123
4.3.6	Propuesta de Tejas	125
4.3.7	Presupuesto.....	128
4.4	Resultados y discusión	129
4.4.1	Plástico de reciclaje	129
4.4.2	Harina de roca calcárea	129
4.4.3	Árido de roca caliza	130
4.4.4	Resistencia a la Compresión Simple de las mezclas	130
4.4.5	Fabricación de mezclas para elementos prefabricados.....	130
4.4.6	Elementos constructivos prefabricados	131
4.4.7	Presupuesto y sostenibilidad ambiental.....	131
	CONCLUSIONES	133
	RECOMENDACIONES	134
	REFERENCIAS.....	135

RESUMEN

La presente investigación evalúa la viabilidad del hormigón polimérico con remplazo de harina de roca calcárea en aplicaciones factibles en los prefabricados de la construcción civil, para ello, se realiza una recopilación bibliográfica global de estudios y trabajos con hormigón polimérico adaptados a soluciones ingenieriles en otros países, con el objetivo de proponer un diseño sustentable, eficiente y económico caracterizado con ensayos de laboratorio, para la elaboración de prefabricados con base en la normativa pertinente, con el fin de adaptar la metodología de desarrollo experimental al proceso ejecutivo de elementos de construcción masiva. Finalmente, se elaboran tejas planas, adoquines peatonales, baldosas y fachaletas que, por sus características físicas, permiten la eliminación de rubros como enlucidos, impermeabilizantes y referentes de pinturas, lo que resulta en una solución factible para la reducción de costos en la construcción local.

Palabras Clave: hormigón polimérico, prefabricados, construcción masiva, fachaletas, baldosas, tejas, adoquines, harina de roca calcárea

ABSTRACT

The present research evaluates the feasibility of polymer concrete with calcareous rock flour replacement in feasible applications in prefabricated civil construction. For this, a global bibliographic compilation of studies and works with polymer concrete adapted to engineering solutions in other countries is made, with the objective of proposing a sustainable, efficient and economic design, which is characterized with laboratory tests and will be used specifically in the elaboration of prefabricated elements based on the pertinent regulations in order to adapt the methodology of experimental development to the executive process of massive construction elements. Finally, flat roof tiles, pedestrian pavers, tiles and facades were elaborated, which due to their physical characteristics allow the elimination of items such as plaster, waterproofing and paint referents, thus resulting in a feasible solution for the reduction of costs in local construction.

Keywords: Polymer concrete, prefabricated, massive construction, facades, tiles, roof tiles, pavers, calcareous rock flour

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El incremento exponencial del uso y la contaminación del plástico a nivel mundial es una problemática ambiental, económica y social, con afectaciones adversas por su impacto en la vida terrestre y marina, lo que facilita su propagación gracias a la gran cantidad de formas en las que se pueden presentar.

A partir de esta problemática, diferentes autores han propuesto nuevas formas de reutilizar el plástico como un material innovativo y de beneficio sostenible en las distintas industrias, principalmente, en la constructiva, donde siempre ha generado impacto ambiental en todos sus ámbitos, incluyendo el consumo excesivo de energía y de recursos naturales, la emisión de gases contaminantes, residuos constructivos y afectaciones a la salud humana.

Así, el plástico reciclado se puede presentar como parte de los elementos de construcción convencionales, lo que disminuye el porcentaje de los materiales de mayor impacto ambiental y económico, así, mediante experimentación, se obtienen propiedades físicas, químicas y mecánicas eficientes y aceptables para el uso que se le va a designar. Por lo tanto, es posible incrementar su consumo en la construcción sostenible, para reducir el consumo de aquellos materiales comunes y con poder adquisitivo, a partir de la tecnología e innovación de su uso con beneficios económicos y sostenibles, con el fin de que sea una nueva variante a la producción común y, en ciertos casos, competentes al sistema de producción monolítica.

De este modo, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) presentó 17 Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) en el año 2015, donde se ostentan soluciones y alternativas a problemas relacionados con la pobreza, el cambio climático, la desigualdad y la degradación ambiental, lo que se espera que el mundo cumpla para el año 2030.

Por ello, esta investigación se alinea con el objetivo 12: garantizar pautas de consumo y producción sostenible, debido a que el material propuesto como materia prima es reciclado, con lo que se mejorará en el medio local la eficiencia de los recursos, la reducción de los residuos y se da paso a una economía circular, asimismo,

se contribuirá con la reducción de la pérdida de la biodiversidad y contaminación al ser un material basado en modelos sostenibles de producción.

De acuerdo con lo anterior, el estudio tiene como finalidad recopilar las investigaciones globales relacionadas con la implementación de hormigón polimérico en la construcción civil y proponer un diseño con la adición de harina de roca calcárea, para caracterizarlo mediante pruebas de laboratorio, con el propósito de implementarlo en la elaboración masiva de elementos prefabricados y buscar la eliminación de rubros constructivos de la etapa de acabados.

1.1 Antecedentes

Los estudios del hormigón con plástico para la construcción empezaron en los años cincuenta, de este modo, en un principio, el plástico estaba destinando a ser una fibra de reforzamiento. Así, Rebeiz (1996) verificó que se pueden alcanzar buenos resultados de resistencias a la flexión con hormigón reforzado con polímeros, tales como resinas de poliéster insaturadas provenientes del tereftalato de polietileno (PET) reciclado.

En 2002, se construyó un kilómetro de carretera de plástico usando bloques con un porcentaje de piedra de 60 %, y el otro 40 % con una mezcla entre bitumen y plástico patentada por el Dr. Rajagopalan Vasudevan de la Facultad de Ingeniería de Thiagarajar en India.

En concordancia con Pesic *et al.* (2016), los recientes avances en la tecnología del hormigón y la demanda de proyectos de construcción más ecológicos y sostenibles han dado lugar a la idea de utilizar polímeros de desecho postconsumo en el hormigón estructural, en el que el hormigón se emplea como medio para la eliminación de residuos de polímeros. A continuación, se exponen los avances tecnológicos y las aplicaciones del hormigón polimérico en varias áreas de la ingeniería:

1.1.1 Refugio científico con plástico reciclado para Galápagos

El plástico reciclado ha sido estudiado en los últimos años, con la finalidad de mitigar el impacto ambiental y la solución de problemas socioambientales enfocados en preservar el ecosistema. Una de las maneras que se han encontrado es aprovechar

las propiedades del plástico e implementarlas en la construcción, como materiales nuevos o aditivos, pese a ello, las posibilidades siguen en investigación.

Por su parte, Mejía (2020) demostró que existe una amplia gama de nuevos materiales de construcción que se podrían lograr a partir de la combinación de la matriz plástica con adiciones sólidas naturales compatibles. El autor realizó probetas de matriz plástica con adiciones de basalto (

Figura 1); **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y, mediante ensayos de laboratorio, obtuvo resultados por encima de los materiales convencionales, 320 kg/cm² de compresión simple, 68,6 kg/cm² en tracción indirecta y 194 kg/cm² en módulo de rotura. Estos ensayos se realizaron en el Laboratorio del Centro de Investigaciones en Ingeniería Estructural Sismo Resistente (CEINVES) en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG), para establecer un prototipo de refugio y vivienda social económica y sustentable. Con elementos prefabricados como tablonces de 290 cm de longitud, 20 cm de ancho y 4 cm de espesor, emperrados entre sí a columnas de 15x15cm, se realizó un prototipo resistente de cerca de \$ 7 000 y 36 m².

Figura 1

Probeta de plástico reciclado propuesta para refugio científico



Nota. Tomado de *Materiales constructivos transformando basura plástica arrastrada por corrientes oceánicas*, por Mejía, 2020, (<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/14372>)

Figura 2

Vista 3D del refugio científico con hormigón polimérico



Nota. Tomado de Materiales constructivos transformando basura plástica arrastrada por corrientes oceánicas, por Mejía, 2020, (<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/14372>)

1.1.2 PlasticRoad en Holanda

Los países de primer mundo han tomado la iniciativa en el reciclaje de polímeros y desperdicios, en este sentido, en Países Bajos se desarrollaron carreteras modulares de plástico reciclado que, de no ser reutilizado, habría sido quemado o arrojado a un relleno sanitario, como señaló Giasson (2020) en su reportaje:

Cada componente de la carretera de plástico está diseñado para que la aplicación sea totalmente circular, con el objetivo principal de utilizar plásticos reciclados en la medida de lo posible. La carretera de plástico piloto que se construyó en Zwolle utiliza un 70% de plástico reciclado. Sin embargo, el objetivo para futuras carreteras es utilizar el 100% de plásticos reciclados.

Aparte de reducir los desechos de polímeros, este tipo de carreteras tiene ventajas ante los pavimentos convencionales, en cuanto a construcción y de mantenimiento.

De acuerdo con KWS (2019), el diseño de PlasticRoad está alineado con iniciativas como *Cradle to Cradle* y *Ocean Cleanup*, para mantener los mares libres de plásticos, por lo tanto, en la Figura 3 se puede apreciar que la sección presenta un espacio "hueco para cables, tuberías y agua de lluvia.

Figura 3

Modelo 3D de PlasticRoads implementadas en Holanda



Nota. Tomado de PlasticRoads, por VollkerWessels, 2015, (<https://www.vollkerwessels.com/en/projects/plasticroad>)

Así, KWS (2019) asegura que no se ve afectado por la corrosión ni las inclemencias del tiempo, debido a que la estructura de la carretera soporta temperaturas de hasta -40 grados y 80 grados Celsius con facilidad, igualmente, es mucho más resistente a la corrosión química. Se calcula que la vida útil de las carreteras se triplicará, lo que significa menos mantenimiento de las carreteras y menos atascos y desvíos, pues su diseño sencillo y ligero permite la construcción modular,

porque las secciones son prefabricadas, lo que da paso a que las carreteras se construyan en semanas y no en meses.

Figura 4

Colocación de sección de PlasticRoad empleando una grúa en una vía



Nota. Tomado de PlasticRoads, por VollkerWessels, 2015, <https://www.volkerwessels.com/en/projects/plasticroad>

1.1.3 GreenRoads en India

Según National Productivity Council of India (2020), existen cerca de 360 000 000 de toneladas de plástico producido globalmente.

Por otro lado, en un reporte de Diario Dow To Earth (2019), se estima que India consume alrededor de 16,5 millones de toneladas de plástico, donde el 43 % del plástico se utiliza como material de envasado; en su mayoría, son plásticos de un solo uso, pues el 80 % del plástico usado era descartado (Nirmal, 2016).

Según el Indian Road Congress (2013), algunos estudios han revelado que los residuos plásticos tienen un gran potencial para su uso en construcción bituminosa, puesto que su adición de alrededor del 5 %-10% del peso del betún mejora las propiedades de la mezcla bituminosa; en la Figura 5, **¡Error! No se encuentra el**

origen de la referencia. se puede apreciar parte del proceso constructivo de las *GreenRoads*.

Figura 5

Construcción de pavimento flexible compuesta con plástico reciclado en Guwahati, India



Nota. Tomado de Road from plastic waste, por TheIndianExpress, 2019, (<https://indianexpress.com/article/north-east-india/assam/guwahati-army-thinks-green-lays-1km-road-from-plastic-waste-6143222/>)

Así, Heriawan (2020) mencionó que, en comparación con los materiales convencionales, las carreteras que implementan plástico reciclado presentan las siguientes ventajas:

- Reduce el coste de toda la vida útil.
- Prolonga la vida útil.
- Preserva los recursos naturales.
- Reduce los residuos plásticos en los vertederos. (p. 17)

Asimismo, la Figura 6 expone los costos involucrados en la construcción de las carreteras usando plástico reciclado en India, así, con estos materiales y metodología de trabajo, se ahorran \$ 670 por kilómetro de carretera.

Figura 6

Costos de carreteras usando plástico reciclado en India

Cost of Bitumen*	~\$670/ton
Cost of Waste Plastic*	~\$230/ton
Cost of Shredding Machine and other equipment	~\$955
Optimum amount of waste plastic in the mix	~11%
Cost saved by using waste plastic in road construction (per km)*	~\$670/km

Nota. Tomado de Using waste plastics in road construction, por Sasidharan, Eskandari y Burow, 2019, K4D

1.1.4 Puente Dawyck Estate

El puente se ubica en la ciudad de Peebleshire, Escocia, y fue construido en 2011 con material totalmente reciclable, por lo tanto, “este no requirió de revestimientos y tampoco necesitó de un mantenimiento regular” (Martins, 2011). En la Figura 7 se observa la parte final del proceso constructivo del puente, el que tiene una longitud de 27 m y una masa de 50 toneladas. Para su elaboración, se utilizó polietileno de alta densidad (PEAD) y propileno obtenido de residuos plásticos de la industria automotriz (Martins, 2011).

Según William Mainwaring, director de Vertech Composites y encargado del proyecto, “nuestra misión es ofrecer materiales de ingeniería de alta calidad con bajo costo, tanto ambiental como financiero” (Martins, 2011). De igual modo, Fernández (2012) concluyó que este tipo de construcción a base de plástico reciclado es una alternativa sostenible de larga duración y sin degradación, como se comprueba en los materiales más comunes.

Figura 7

Proceso de construcción del puente Dawyck Estate en Peebleshire, Escocia



Nota. Tomado de Puente Dawyck Estate, por Plasencia, 2012, Puentemania (<http://www.puentemania.com/2296>)

1.2 Planteamiento Del Problema

1.2.1 Hormigón en clima caluroso

La Cordillera de los Andes afecta en la humedad del Ecuador, pues provoca un enfriamiento y ascenso del aire que originan las regiones Costa y Oriente, lo que suscita recurrentes lluvias y sequías. Esta diferencia de factores meteorológicos se debe a las grandes disimilitudes de alturas, empezando desde el nivel del mar y alcanzando una altitud máxima de 6263,47 msnm.

Conforme con Ignacio (2014), en la Costa varía mucho la humedad, debido a la influencia de las corrientes marinas del Niño que duran de enero a abril y se caracterizan por aire caliente, humedad y temperaturas altas de 30°C, así como la corriente de Humboldt que moviliza el aire frío en el resto del periodo.

La Costa ecuatoriana posee un clima tropical, con temperaturas medias anuales de 23°C a 26°C y la tendencia va en aumento, condición que representa una complicación para la construcción local y se denomina “calor de hidratación”, como indicó Portland Cement Association (1997).

Cuando el cemento portland se mezcla con agua, se libera calor. Este calor se denomina calor de hidratación, es el resultado de la reacción química exotérmica entre el cemento y el agua. El calor generado por la hidratación del cemento eleva la temperatura del hormigón.

Durante una construcción normal del hormigón, el calor se disipa en el suelo o el aire y los cambios de temperatura resultantes dentro de la estructura no son significativos. (p.1)

En concordancia con *ACI-305 American Concrete Institute (2020)*, se sostiene lo siguiente:

Los principales problemas de la elaboración de hormigón en climas cálidos pueden diferenciar en el estado en el que se encuentra el hormigón. En estado fresco, las problemáticas se refieren a la alta demanda de agua, incremento en la pérdida de asentamiento y mayor velocidad de fraguado, incremento de la tendencia de fisuramiento por contracción plástica, mientras que para el hormigón en estado endurecido se presentan dificultades como: disminución de la resistencia a los 28 días, tendencia mayor a contracción por secado y al fisuramiento por diferenciales de temperatura en la sección transversal o la estructura en conjunto, mayor variabilidad de la apariencia superficial, incremento potencial de corrosión del acero de refuerzo e incremento de permeabilidad.

El 16 de abril de 2016, un sismo de magnitud de 7,8 en la escala de Richter afectó la Costa ecuatoriana, puesto que su epicentro se localizó en el Cantón Pedernales de la provincia de Manabí. Este siniestro sísmico afectó al sector de viviendas y edificaciones de la región, según el comité Shelter Cluster de Ecuador (2016), así, 13 962 casas fueron perjudicadas en áreas urbanas y otras 15 710 en áreas rurales.

En el reporte emitido por la Secretaría de Gestión de Riesgos del Ecuador (2016) a un mes después del terremoto, se contabilizaron alrededor de 18 633 edificaciones afectadas, 808 instituciones educativas y un total de 661 personas fallecidas. Por ello, es evidente la vulnerabilidad de las construcciones locales, dado que el calor de hidratación es uno de los principales factores actuantes para magnificar los efectos producidos por los movimientos sísmicos, pese a ello, se ignora este comportamiento en los elementos estructurales

Para evitar dicho problema, la normativa ACI 305 menciona cuatro métodos para disminuir la temperatura durante la elaboración de hormigón en climas cálidos: el uso de hielo como parte del agua de la mezcla, el enfriamiento del agua o de los agregados, emplear cemento de bajo calor de hidratación (Hormigón LH) o mantener un consumo mínimo de cemento.

1.2.2 Altos costos y ausencia de productos de acabados en el mercado local

Ecuador presenta un crecimiento en la actividad constructora para el año 2023, de acuerdo con el Banco Central del Ecuador (2022), por lo que este sector presentará una recuperación a 3,5% y mantendrá su aporte al Producto Interno Bruto (PIB) total en 6,1 %.

De acuerdo con El Diario (2022), “los altos costos de las importaciones fueron una de las principales causas del alza de los precios al inicio de la pandemia y los costos se han mantenido. Se menciona que los precios por metro cuadrado pueden superar los \$500 por los acabados”.

Asimismo, Guerrero y Cornejo (2020) indicaron lo siguiente:

La información emitida por la Cámara de la Construcción del Ecuador indica que el promedio del metro cuadrado de costos directos para las construcciones incluyendo los acabados de primera línea oscilan entre los \$590 y \$1500 por metro cuadrado, mientras que el costo de una vivienda de clase media con acabados está alrededor de los \$365.

Si bien es cierto que el mayor porcentaje del presupuesto de una obra está destinado a los materiales y mano de obra, de acuerdo con Guerrero y Cornejo (2020),

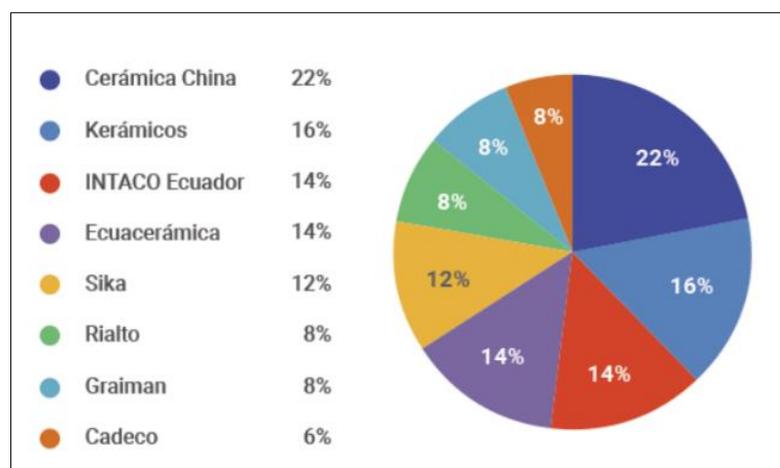
los acabados contemplan el 30 % y el 40 %, entre revestimientos, piezas sanitarias, cubiertas, adoquines, tubos, accesorios, entre otros.

Así, Revistas Fierros (2023) indicó que “es importante destacar que las exportaciones e importaciones del Ecuador se mantienen creciendo 30% y 36% respectivamente, lo cual indica la mejora del comercio de los artículos de construcción y ferreterías”.

En este sentido, el costo de los materiales de acabado se eleva por la cadena de producción y el proceso que conlleva, así, la Figura 8 muestra cómo la mayor cuota del mercado de los acabados está dominada por una empresa extranjera china, dado que, al ser una producción masiva y exportada, los costos finales incrementan, por ello, se establece un alto costo y aumento del precio final de las construcciones en el medio local.

Figura 8

Marcas de materiales o productos para acabados



Nota. Tomado de Productos para acabados más vendidos, 2019, El Oficial (<https://www.eloficial.ec/encuesta-materiales-y-productos-preferidos-para-acabados-en-pisos-y-paredes/>)

1.2.3 Consumo del hormigón convencional

El hormigón convencional requiere de un conjunto de etapas constructivas que presentan deficiencias energéticas y uso significativo de recursos naturales fundamentales que podrían ser usados, eficazmente, en otros ámbitos sociales.

El uso del hormigón demanda de un proceso de fraguado para endurecerse y alcanzar las resistencias más óptimas, para comenzar a montar el resto de los elementos estructurales; cabe añadir que es de fácil exposición ambiental y propenso a agrietaciones iniciales si no se emplea una adecuada mano de obra.

En 2019, la Federación Interamericana del Cemento (FICEM) realizó un informe estadístico, donde se registró una producción de aproximadamente 6 270 miles de toneladas de cemento en Ecuador, por esto, es el segundo país de Latinoamérica con mayor consumo per cápita igual a 347 kg/hab, ocupando el primer puesto República Dominicana con 428 kg/hab (FICEM, 2019).

De igual manera, según la Encuesta Nacional de Edificaciones (ENED) emitida por el Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC] (2020), se resalta lo siguiente:

El principal material utilizado para la construcción de edificaciones a nivel nacional fue el hormigón armado, en pisos (49%), cimientos (96%), estructura (86%) y cubierta (48%). Para las paredes el principal material fue el bloque representando el 70%, siendo el resto madera, ladrillo, adobe, caña y yeso.

A pesar de que el cemento tiene una baja representación monetaria sobre los costos de construcción, al ser un insumo indispensable fabricado por pocas empresas, el operador económico con posición de dominio tiene la posibilidad de obstruir la libre competencia y sana concurrencia en el mercado.

1.2.4 Problemas con pavimentos, altos costos y poca durabilidad

Los pavimentos son la estructura principal del sistema de comunicación terrestre, la que se conforma por una o varias capas de distintos materiales, con la finalidad de permitir el paso de vehículos. En el país, la mayor parte de carreteras principales y secundarias son pavimentos flexibles construidos con asfalto local.

El asfalto es un material termoplástico compuesto por una mezcla de hidrocarburos color café oscuro a negro, lo que funciona como aglomerante y puede encontrarse en estado natural o ser destilado del petróleo (Galviz, 2016). En el país, el pavimento flexible se desarrolla con asfalto producido en la refinería de Esmeraldas,

según Vila-Romaní y Jaramillo-Briceño (2018), así, este asfalto, por su grado de viscosidad, clasifica como AC-30, sin embargo, luego de haber sido envejecido en el horno *Rolling Thin Film Oven Equipment* (RTFO), no cumple con la normativa de la American Society for Testing and Materials (ASTM).

El hecho de que este asfalto no cumpla con las exigencias de la normativa implica un comportamiento inadecuado en la obra luego del mezclado, el transporte y la compactación (Figura 9).

Figura 9

Falla en pavimento flexible en la provincia de Manabí



Fuente: Los autores

Igualmente, es común observar, dentro de ciudades como Guayaquil, la presencia de pavimento rígido, el que se caracteriza por su estructura con hormigón y refuerzos de acero en forma de barras, además, presenta mayor tiempo de vida útil que un pavimento flexible y mayores resistencias, aunque su costo también es elevado.

En la Figura 10, se expone una de las fallas que este pavimento puede presentar, así, las más frecuentes son el hundimiento y las fisuraciones debido a la retracción de los materiales, fallas estructurales o ejecución en obra deficiente.

Figura 10

Falla de hundimiento en pavimento rígido en Guayaquil



Nota. Tomado de Reparar tramo de vía deteriorada en La Garzota, 2019, El Universo (<https://www.eluniverso.com/guayaquil/2019/06/23/nota/7389870/reparan-tramo-deteriorada-norte/>)

La cantidad de pavimento articulado que se implementa en el país es limitada, mayormente, a urbanizaciones y ciertas calles específicas en las grandes ciudades, como es el caso de la Avenida 9 de Octubre en Guayaquil (Figura 11). El pavimento articulado está estructurado por varias capas de material resistente y su capa de rodadura se conforma por una serie de adoquines de cemento, con la capacidad suficiente para permitir el paso vehicular, además, su proceso constructivo y su mantenimiento son sencillos y económicos.

Entre los principales problemas de los pavimentos articulados, se encuentran las depresiones ocasionadas por la infiltración del agua, el fisuramiento debido a la poca durabilidad del adoquín, el desgaste superficial y la erosión ocasionada por los agentes externos.

Figura 11

Pavimento articulado en la Av. 9 de Octubre, Guayaquil



Nota. Adaptado por Google Maps, 2015

1.2.5 Demolición y desechos

La construcción de obras públicas y privadas es una de las actividades económicas más rentables y generadoras del desarrollo, por lo tanto, es inevitable presenciar la generación de escombros o residuos (Erica y Giraldo, 2013), principalmente, de naturaleza inerte en obras de excavación, nueva construcción, reparación, remodelación, rehabilitación o demolición (María y José, 2022).

En 2021, según la información declarada por los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM), un habitante de la zona urbana produce, en promedio, 0,9 kg de residuos sólidos al día, lo que equivale a un total 13 652,50 toneladas diarias en el país (INEC, 2021).

En tal marco, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia sostiene que los residuos de construcción y demolición (RCD) corresponden con el 40 % de residuos sólidos, por ende, cerca de 15 000 000 de toneladas al año equivalen con 2 000 kg/hab/día (Trujillo y Quintero, 2021).

Por su parte, Sora (2016) estableció lo siguiente:

En las ciudades de Latinoamérica se ha conllevado la generación de grandes cantidades de RCD gracias a los procesos de renovación urbana. Sin embargo, debido a la falta de planificación y a la inexistencia de instalaciones de tratamiento o disposición controlada, se han depositado en vertederos de residuos urbanos o bien de forma inadecuada.

“En Ecuador existe un escaso registro de datos reales referentes a la producción de escombros, debido a la poca información estadística emitida por los profesionales en la mayoría de sus obras” (Carrasco, 2018). La Figura 12 (INEC, 2019) expone que solo un 54% de las empresas grandes y medianas del Ecuador conoce la cantidad generada de RCD, obteniendo un total 703,52 miles de toneladas métricas en el 2019.

Figura 12

Empresas que generaron residuos no peligrosos en 2019

Residuos no peligrosos	Empresas	Empresas que conocen la cantidad generada	Residuos generados (Miles de tm)	Porcentaje
Plástico	4.946	2.140	20.035,51	92,92%
■ Escombros de construcción	650	355	703,52	3,26%
Orgánicos	2.214	1.172	528,03	2,45%
Chatarra Liviana	1.600	1.368	78,35	0,36%
Otros residuos no peligrosos	13.713	5.788	216,96	1,01%

Nota. Tomado de Módulo de información económica ambiental en empresas, por INEC, 2019, (https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Encuestas_Ambientales/EMPRESAS/Empresas_2019/PRES_MOD_AMB_EMP_2019_08.pdf)

Como objeto de estudio, se señala lo acontecido con el edificio del Ministerio de Agricultura (MAGAP) que fue construido en 1978 y demolido en 2014 (Figura 13); este se ubicaba en las Avenidas Quito y Machala, ciudad de Guayaquil, y contaba con una altura de 93 m y un área de 20,70 m² (Inmobiliar, 2013)

En un estudio estructural elaborado por la consultora nacional Julián Peña S.A., se obtuvieron resultados desfavorables que recomendaron desalojar el edificio por problemas estructurales, lo que resultó en la demolición con un costo de, aproximadamente, \$ 3 900 000 y una duración de ocho meses (Inmobiliar, 2013).

Figura 13

Etapas de demolición del edificio MAGAP



Nota. Tomado de Demolición del edificio ex – MAGAP “La licuadora” en su etapa final, por Inmobiliar, 2013, (<https://www.inmobiliar.gob.ec/demolicion-del-edificio-ex-magap-la-licuadora-en-su-etapa-final/>)

Posteriormente, se decidió reutilizar los escombros como material de relleno y compactación de un nuevo parque construido en aquel sitio, pese a ello, los materiales que forman parte de los RCD y fueron puestos en el espacio que comprendía los dos pisos de sótanos de la anterior estructura se desaprovecharon.

1.2.6 Déficit y Altos Costos de Viviendas Sostenibles en Ecuador

En diciembre 2022, la Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo indicó los siguiente mediante indicadores de pobreza y desigualdad (Figura 14*Nota.*):

La pobreza por necesidades básicas insatisfechas fue de 31,4% a nivel nacional; 21,3% en el área urbana, y 53,3% en el sector rural. Una persona es pobre por necesidades básicas insatisfechas si pertenece a un hogar que presenta carencias en la satisfacción de al menos una de sus necesidades

básicas: calidad de la vivienda, hacinamiento, acceso a servicios básicos, acceso a educación y capacidad económica (ENEMDU, 2022).

Figura 14

Indicadores de pobreza multidimensional



Nota. Tomado de Indicadores de Pobreza y Desigualdad, por ENEMDU, 2022, (https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/POBREZA/2022/Diciembre_2022/202212_PobrezayDesigualdad.pdf)

En julio de 2022, el presidente del Ecuador, Guillermo Lasso, presentó el primer prototipo de vivienda de caña guadua en el Cantón Olmedo, provincia de Manabí (Figura 15; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), enmarcado en los ODS. La finalidad es reactivar la economía local, pues, según el mandatario, la actividad del bambú representa casi el 12 % del empleo agrícola (Gobierno del Ecuador, 2022).

Cada vivienda está valorada en \$ 18 700 dólares estadounidenses que serán financiados por el Gobierno del Ecuador, además, cuentan con una superficie de 56 m², con dos o tres dormitorios, comedor, sala y cocina (Gobierno del Ecuador, 2022). En tal marco, el ODS 11 pretende conseguir ciudades y comunidades sostenibles, mediante el acceso de toda la población a viviendas, servicios básicos y medios de transporte adecuados, asequibles y seguros, principalmente, para las personas en situación de vulnerabilidad, lo que fomente un urbanismo sostenible para mejorar la calidad de vida en los barrios marginales (ONU, 2020).

Figura 15

Prototipo 3D de vivienda sostenible propuesta por el Gobierno del Ecuador



Nota. Adaptado por El Universo, 2022, (<https://www.eluniverso.com/noticias/economia/por-que-las-viviendas-que-entregara-el-gobierno-en-manabi-seran-de-bambu-y-costaran-18700-nota/>)

En Guayaquil, existe una organización sin fines de lucro llamada “Hogar de Cristo”, la que destina sus servicios para las personas más vulnerables, debido a que se adapta a sus requerimientos o necesidades, entre ellos, la construcción de viviendas económicas y sustentables (Hogar de Cristo, 2021).

En la Figura 16, *Nota* se observa uno de sus modelos de vivienda denominado “Jezabel”, con 74,83 m² de área de construcción y un precio de \$ 5 717,00. Es una estructura de madera con gran porcentaje de caña guadua, bloques de hormigón para mampostería, un techo de zinc, puntales, ventanas y puertas de madera, asimismo, cuenta con una sala de estar, tres dormitorios, una cocina y un baño (Hogar de Cristo, 2021).

Figura 16

Modelo de vivienda sostenible propuesto por la Organización Hogar de Cristo



Nota. Tomado de Catálogo de viviendas, por Hogar de Cristo, 2021, (https://hogardecristo.org.ec/wp-content/uploads/catalogo_viviendas_hc2021.pdf)

A pesar de que existan este tipo de viviendas sustentables, es posible estudiar muchos más sistemas de construcción sostenibles, con nuevos elementos de construcción. Por otro lado, Ecuador es un país con diversos problemas demográficos y sociales, por ende, el déficit de viviendas es uno de los más destacados y preocupantes de Latinoamérica. En la

Figura 17, se muestra el primer diagnóstico elaborado por parte del Banco Internacional de Desarrollo en el año 2020, con el fin de evaluar en cifras la cantidad de familias que no tienen viviendas.

Figura 17

Déficit habitacional nacional de Ecuador según el Gobierno del Encuentro



Nota. Tomado de Gobierno del encuentro, por Banco Interamericano de Desarrollo, 2020, <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/deficit-habitacional-nacional/>

De este modo, es un total de 2 744 125 viviendas que no existen en el país y son necesarias para cubrir dicho déficit, de estas, alrededor del 60 % pertenece al sector urbano y el 40% al sector rural, tal como se indica en la Figura 18. Así, el 75 % del total de viviendas necesita un mejoramiento para considerarse dignas y las restantes son irrecuperables en su totalidad.

Figura 18

Déficit habitacional urbano y rural del Ecuador según el Gobierno del Encuentro

▶ Déficit habitacional urbano y rural

■ Urbano ■ Rural



Nota. Tomado de Gobierno del encuentro, por Banco Interandino de Desarrollo, 2020, <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/deficit-habitacional-nacional/>

1.2.7 Contaminación del Entorno Humano Con Plástico

En 2017 se produjeron cerca de 8.300 millones de toneladas de plásticos vírgenes en todo el mundo, de los cuales solo se recicló el 9% y se incineró el 12%, dejando la friolera del 79% en el medio natural, incluyendo, entre otros, los vertederos, esparcidos en condiciones de hábitat, contaminando las profundidades del océano y el espacio. (Dewan, 2022)

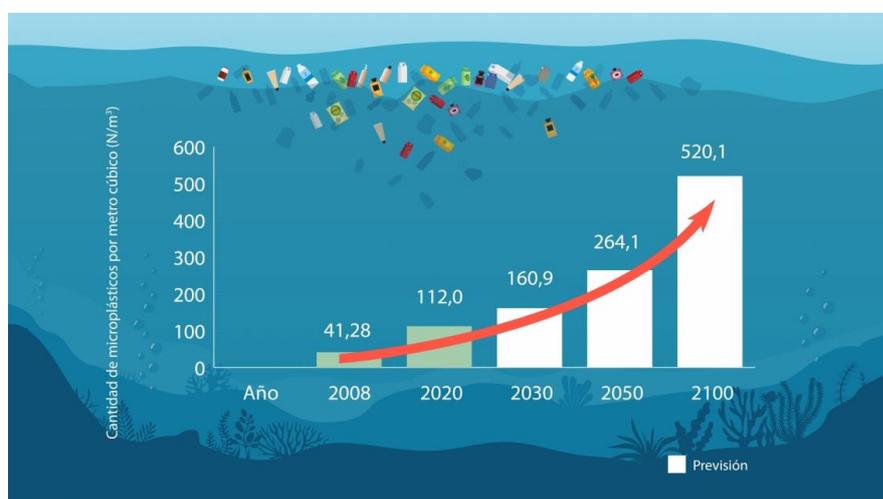
Otro de los derivados de la contaminación de plástico a nivel global son las formaciones de microplásticos, partículas de menos de 5 milímetros de diámetro productos de la degradación de plásticos más grandes, las que son ingeridas por los organismos marinos y se incluyen en la cadena alimentaria.

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA, 2020) expuso lo siguiente (Figura 19):

En el año 2020 hubo cerca de 112 microplásticos por metro cúbico (N/m³) en las aguas ecuatorianas, tres veces mayor que los 41,28 registrados en 2008. Por consiguiente, se espera que el año 2030 aumente a 160,9. En 2050, se habrá duplicado, y para 2100 será 10 veces mayor a la registrada a inicios del siglo, a menos que se adopten medidas para cambiar la situación.

Figura 19

Cantidad de microplásticos en el Pacífico Tropical Oriental



Nota. Tomado de Departamento de Ciencias y Aplicaciones Nucleares, por IAEA, 2020, (<https://www.iaea.org/es/newscenter/news/ecuador-estudio-microplasticos-pacifico-oriental>)

De conformidad con la Asociación Americana de Química (2019), el consumo estimado de los estadounidenses de microplásticos oscila entre 74 000 y 121 000 partículas por año, lo que depende de la edad y el sexo. Cabe añadir que las personas que beben solo agua embotellada podrían consumir 90 000 microplásticos adicionales anualmente en comparación con las que beben solo agua del grifo.

1.3 Justificación

Con el propósito de proponer una alternativa sustentable y económica, se desarrolló la investigación y experimentación de un hormigón polimérico con adición

de harina de roca calcárea, para mitigar los problemas mencionados y aportar con la reducción de los desechos de plástico en el ecosistema.

Este diseño innovador emplea plástico reciclado como matriz para los agregados, en este sentido, debido a los materiales que componen al hormigón polimérico, los elementos prefabricados permiten abaratar costos en rubros de alta incidencia presupuestaria durante la construcción. Además, lo anterior contribuye con múltiples beneficios como altas resistencias, impermeabilidad, bajo consumo de agua durante fabricación, eliminación de tiempo de fraguado, producción en masa de prefabricados, reducción de desechos y vida útil prolongada. Por lo tanto, los plazos de construcción disminuirán, al igual que los costos de producción e instalación de los elementos prefabricados de hormigón polimérico.

1.4 Objetivos De La Investigación

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar una propuesta piloto de hormigón polimérico, de bajo costo local, en la que se utilice un diseño experimental que aproveche la harina de roca calcárea, como árido de remplazo que pueda ser utilizado para aplicaciones factibles en los prefabricados de la construcción civil.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar, globalmente, las investigaciones relacionadas con el uso de hormigones poliméricos aplicados en la construcción civil, para definir la perspectiva teórica desde la que se aborda la presente investigación.
- Definir, con ensayos de laboratorio, la resistencia a la compresión simple de los diseños propuestos, con los parámetros aplicables a la dosificación de hormigones poliméricos que se utilizarán en prefabricados de posible aplicación en la construcción civil, de acuerdo con la normativa pertinente recomendada, con el objetivo de adaptar la metodología de dosificación experimental al proceso ejecutivo de elementos de construcción masiva.
- Prefabricar elementos constructivos mediante el uso del diseño de hormigón polimérico, donde se buscará aplicabilidad de estos elementos en la

construcción civil, así como la eliminación de rubros constructivos como enlucidos, impermeabilizaciones y los referentes a pintura.

CAPÍTULO II

2.1 Marco Legal

En este apartado, se expone el conjunto de leyes, normas y reglamentos de mayor importancia que le brindan soporte y fundamento al estudio. En materia ambiental, se menciona leyes relacionadas con los derechos de la naturaleza, la construcción sostenible y las medidas de mitigación del cambio climático a través de la reutilización de recursos.

Respecto con la materia académica, se citan las normas legales en las que se denota la necesidad de la formación de profesionales responsables social y ambientalmente, con valores morales y éticos que, con la innovación científica y tecnológica, aporten con soluciones a los problemas que acontecen en el medio.

2.1.1 Constitución Nacional de la República del Ecuador

De acuerdo con la Asamblea Nacional (2008) y los lineamientos ambientales establecidos en la Constitución Nacional de la República del Ecuador, se citan los siguientes artículos en relación con la libertad, los deberes y los derechos de las comunidades con el ambiente:

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (p.13).

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua. Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos, y las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados

perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional (p.13).

Así, los Artículos 14 y 15 reconocen, como materia constitucional, el derecho a vivir en un ambiente sano y libre de contaminantes, sostenible y autosustentable, el que las comunidades deben preservar y asegurar la biodiversidad y los ecosistemas, además de la reparación de aquellos que se encuentran deteriorados; para dicha práctica, el Estado promueve el uso de tecnologías limpias y de mínimo impacto.

Art. 30.- las personas tienen derecho a un hábitat seguro y saludable, y a una vivienda adecuada y digna, con independencia de su situación social y económica (p.17).

En la sección sexta, se señala el derecho a la vivienda adecuada y digna de las familias ecuatorianas, donde se explicita el déficit de viviendas en el país, donde las alternativas de materiales sustentables y económicos resultan una posibilidad para la disminución de esta problemática.

Art. 66.- Se reconoce y garantizará a las personas:

27. El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza (p.31).

En el capítulo sexto, derechos de libertad, el Artículo 66 indica las garantías que el Estado ofrece a las personas, entre ellas, se enfatiza el numeral 27 en el que se refuerza lo establecido en el Artículo 14, garantizando a la comunidad un ambiente sano, equilibrado y libre de contaminación.

2.1.2 Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva

Conforme con la Asamblea Nacional (2021) en el Artículo 3 de la Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva, los siguientes fines son fundamentales:

- a) Jerarquía en el manejo de residuos: Implica la prioridad de tratamiento que debe recibir un residuo, por el siguiente orden: ecodiseño, reutilizar, reparar, restaurar, remanufacturar, reducir, re-proponer, reciclar y recuperar energía, y finalmente considerar su eliminación ambientalmente adecuada.

- b) Eficiencia: Consiste en la aplicación de las mejores prácticas de producción, comercio y estrategias de desarrollo sostenible en el uso y aprovechamiento de materiales, recursos, bienes y servicios.
- c) Reducir impactos: Disminuir las consecuencias asociadas a la extracción de materia prima, considerando el uso de energía no renovable y recuperación y re inserción de residuos como materia prima en ciclos productivos.
- d) Valorización de residuos: Los residuos de todas las actividades productivas, de comercio, servicios y consumo constituyen un potencial recurso económico; se priorizará su revalorización en todo el ciclo del producto.
- e) Industrialización de residuos: Promover, favorecer e implementar iniciativas que permitan incrementar, el reciclaje, aprovechamiento, valorización e industrialización de residuos dentro de las cadenas productivas, a fin de reducir el uso de recursos naturales y materias primas, siempre y cuando se garantice la protección del ambiente, la salud de las personas, y la calidad de los productos.

2.1.3 Ley Orgánica de Educación Superior (LOES)

La Asamblea Nacional (2018), en el Artículo 8 de la Ley Orgánica de Educación Superior, indica que la Educación Superior tiene los siguientes propósitos:

- a) Aportar al desarrollo del pensamiento universal, al despliegue de la producción científica, de las artes y de la cultura y a la promoción de las transferencias e innovaciones tecnológicas;
- b) Formar académicos y profesionales responsables, en todos los campos del conocimiento, con conciencia ética y solidaria, capaces de contribuir al desarrollo de las instituciones de la República [...]
- c) Fomentar y ejecutar programas de investigación de carácter científico, tecnológico y pedagógico que coadyuven al mejoramiento y protección del ambiente y promuevan el desarrollo sustentable [...]
- d) Contribuir en el desarrollo local y nacional de manera permanente, a través del trabajo comunitario o vinculación con la sociedad;

- e) Impulsar la generación de programas, proyectos y mecanismos para fortalecer la innovación, producción y transferencia científica y tecnológica en todos los ámbitos del conocimiento (p.10).

Art. 13.- Funciones del Sistema de Educación Superior. - Son funciones del Sistema de Educación Superior:

- a) Promover la creación, desarrollo, transmisión y difusión de la ciencia, la técnica, la tecnología y la cultura;
- b) Formar académicos, científicos y profesionales responsables, éticos y solidarios, comprometidos con la sociedad [...]
- c) Promover el respeto de los derechos de la naturaleza, la preservación de un ambiente sano y una educación y cultura ecológica (p.11-12).

2.1.4 Estatuto de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil

De acuerdo con el Consejo Universitario de la UCSG (2019), en el Estatuto de la UCSG se establecen los siguientes criterios y fines:

Art. 2.- Misión y Visión. - La UCSG tiene como MISIÓN: generar, promover, difundir y preservar la ciencia, la tecnología, el arte y la cultura, formando personas competentes y profesionales socialmente responsables para el desarrollo sustentable del país, inspirados en la fe cristiana de la Iglesia Católica (p.2).

Art. 3.- Responsabilidades sustantivas. - Las responsabilidades sustantivas de la UCSG las siguientes:

- a. La producción del conocimiento científico y tecnológico;
- b. La formación de la persona y del talento profesional, humano y ciudadano a través de la generación de condiciones y oportunidades para el desarrollo de sus capacidades (p.2).

Art. 6.- Fines. - La UCSG se orientará a la consecución de los siguientes fines:

- a. Formar, en todos los niveles, profesionales de excelencia con sólidos valores éticos y morales, conciencia reflexiva, responsabilidad social y ambiental [...]

- b. Fortalecer, preservar y contribuir al desarrollo de la educación, los saberes ancestrales y la cultura nacional;
- f. Generar producción científica, humanística y tecnológica, desplegando el diálogo entre el conocimiento y los saberes disciplinares, profesionales y culturales, a través de la investigación [...]
- g. Debatir, orientar y plantear alternativas de solución a los problemas del desarrollo nacional, regional, local y sectorial [...]
- h. Permanecer atenta al proceso de transformación e integración de las sociedades latinoamericana y mundial, colaborando con la defensa y protección ecológica y el desarrollo sostenible [...] (p.3).

2.1.5 Perfil del Egresado de la carrera de Ingeniería Civil de la UCSG

Respecto con el perfil del egresado de la carrera de ingeniería civil de la UCSG, se presentan los principales criterios relacionados con el desarrollo de soluciones a problemas ambientales y de construcción: desarrolla investigación y estudios experimentales con la aplicación de los fundamentos teóricos de las ciencias básicas de la ingeniería y el uso de la tecnología, asimismo, considera, en la realización de investigaciones y trabajos experimentales, las normativas ambientales nacionales aplicables, con el fin de mantener un ambiente sustentable (*Ingeniería Civil – UCSG*, 2018).

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Agenda 2030

La Asamblea General de la ONU adoptó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, un plan de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad, que también tiene la intención de fortalecer la paz universal y el acceso a la justicia. Los Estados miembros de la Naciones Unidas aprobaron una resolución en la que reconocen que el mayor desafío del mundo actual es la erradicación de la pobreza y afirman que sin lograrla no puede haber desarrollo sostenible. (ONU, 2015)

La Agenda plantea 17 Objetivos con 169 metas de carácter integrado e indivisible que abarcan las esferas económica, social y ambiental.

2.2.2 Objetivos de Desarrollo Sostenibles

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible son el plan maestro para conseguir un futuro sostenible para todos. Se interrelacionan entre sí e incorporan los desafíos globales a los que nos enfrentamos día a día, como la pobreza, la desigualdad, el clima, la degradación ambiental, la prosperidad, la paz y la justicia. Para no dejar a nadie atrás, es importante que logremos cumplir con cada uno de estos objetivos para 2030. Si quieres saber más sobre algún tema u objetivo en especial, pincha sobre el objetivo que te interese. (ONU, 2015)

En esta línea de ideas, los objetivos presentados por la ONU que se vinculan con este estudio son los ODS 9, 11, 13 y 14 descritos a continuación:

Industria, innovación e infraestructura (Objetivo 9): La industrialización inclusiva y sostenible, junto con la innovación y la infraestructura, pueden dar rienda suelta a las fuerzas económicas dinámicas y competitivas que generan el empleo y los ingresos. Estas desempeñan un papel clave a la hora de introducir y promover nuevas tecnologías, facilitar el comercio internacional y permitir el uso eficiente de los recursos.

Ciudades y comunidades sostenibles (Objetivo 11): El mundo cada vez está más urbanizado. Desde 2007, más de la mitad de la población mundial ha estado viviendo en ciudades, y se espera que dicha cantidad aumente hasta el 60 % para 2030. Las ciudades y las áreas metropolitanas son centros neurálgicos del crecimiento económico, ya que contribuyen al 60 % aproximadamente del PIB mundial. Sin embargo, también representan alrededor del 70 % de las emisiones de carbono mundiales y más del 60 % del uso de recursos.

Acción por el clima (Objetivo 13): El cambio climático está afectando a todos los países de todos los continentes. Está alterando las economías nacionales y afectando a distintas vidas. Los sistemas meteorológicos están cambiando, los niveles

del mar están subiendo y los fenómenos meteorológicos son cada vez más extremos. El 2019 fue el segundo año más caluroso de todos los tiempos y marcó el final de la década más calurosa (2010-2019) que se haya registrado jamás.

Vida submarina (Objetivo 14): El océano impulsa los sistemas mundiales que hacen de la Tierra un lugar habitable para el ser humano. Nuestra lluvia, el agua potable, el tiempo, el clima, los litorales, gran parte de nuestra comida e incluso el oxígeno del aire que respiramos los proporciona y regula el mar. Una gestión cuidadosa de este recurso mundial esencial es una característica clave de un futuro sostenible. No obstante, en la actualidad, existe un deterioro continuo de las aguas costeras debido a la contaminación y a la acidificación de los océanos que está teniendo un efecto adverso sobre el funcionamiento de los ecosistemas y la biodiversidad.(ONU, 2015)

2.3 Contaminación con Basura Plástica

2.3.1 Islas Galápagos

La conservación de un ecosistema único en el mundo, como las islas Galápagos, se ha visto perjudicada, debido a que residuos provenientes de América Central, del Sur y Asia se han acumulado en el Archipiélago a causa de las corrientes marinas, por ende, toneladas de plástico son empujados por estas trayectorias oceánicas hasta ser ingeridos por la fauna de las islas (Diario La Vanguardia, 2018).

Según la ONU (2018), anualmente, se vierten en los mares del mundo hasta 13 000 000 de toneladas de plástico, de ellas, la mitad corresponde con plásticos desechables como bolsas y sorbetes, los que pueden permanecer en el medio ambiente hasta por 500 años.

De acuerdo con Mejía (2020), “el 15% de los desechos marinos flota en la superficie del mar, otro 15% está en la columna de agua y el 70% permanece en el fondo marino. Según otro estudio, 5.25 millones de partículas de plástico con una masa total de 268,940 toneladas flotan en los océanos”.

Figura 20

Toneladas de plástico acumulado en las costas de las Islas Galápagos



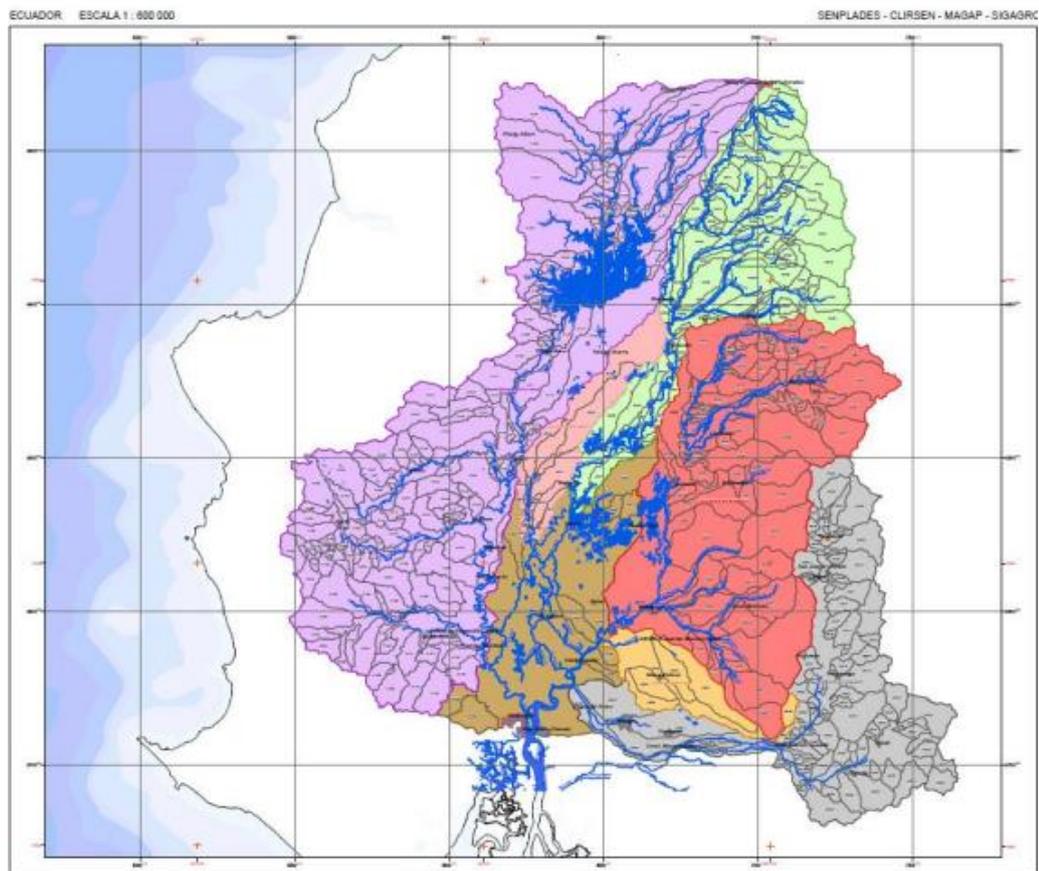
Nota. Tomado de Waste Management, por Alarcón y Alvarado, 2022, (<https://es.mongabay.com/>)

2.3.2 Cuenca Baja del Río Guayas

La Cuenca Baja del Guayas es una de las zonas más fértiles del Ecuador y está ubicada entre las provincias más importantes del país (Figura 21): Manabí, Santo Domingo, Cañar, Chimborazo, Cotopaxi, Los Ríos, Bolívar y Guayas. De igual modo, posee un área de 34.500 km² equivalentes al 12,57 % del territorio nacional; cabe añadir que estas provincias registran una población total de 5 592 025 habitantes, lo que representa un 39,37 % de la población del país (Secretaría Nacional del Agua, 2009).

Figura 21

Mapa de división geográfica de la Cuenca Baja del Río Guayas.



Nota. Tomado de Diseño del sistema de recuperación de basura flotante para ríos que contaminan la Isla Puná, por Naranjo Vélez, 2022 (<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/19918>)

Aproximadamente, los desechos de 6 000 000 de habitantes del país se depositan en los afluentes y las subcuencas de la Cuenca Baja del Río Guayas, por ende, son transportados desde Manabí, Santo Domingo y Cotopaxi hasta la provincia del Guayas que desemboca en el Golfo de Guayaquil.

Figura 22

Desechos plásticos acumulados en el Golfo de Guayaquil



Nota. Tomado de Diario El Universo, 2019, (<https://www.eluniverso.com/guayaquil/2019/09/19/nota/7524613/basura-oceanica-desespera-playa-isla-puna/>)

En medio del Golfo de Guayaquil, se ubica un área declarada, desde el 2009, como protegida, puesto que contiene una variedad de ecosistemas como manglares, playas y bosques secos; esta zona de 919 km² es conocida como Isla Puná.

Por su parte, el Diario "El Comercio" (2019) afirmó que el principal impacto de la basura oceánica ocurre en las comunas Cauchiche, Bellavista, Estero de Boca y Subida Alta, donde se encuentra un acopio de envases de productos plásticos, restos de insumos médicos y animales en descomposición que han sido perjudicados por microplásticos o basura, así, son 15 km de playa cubiertas por estos desechos transportados por la Cuenca Baja del Guayas. Para mitigar este impacto, se han realizado mingas, en las que voluntariados y personal de limpieza ayudan a la recolección de los residuos; cabe añadir que, aproximadamente, se recogen 400 sacos de desperdicio por cada jornada completada.

Figura 23

Basura depositada en las playas de la Isla Puná



Nota. Tomado de Diario El Comercio, 2019 por Mario Faustos (<https://www.elcomercio.com/tendencias/ambiente/mingas-limpieza-impacto-basura-puna.html>)

2.4 Polímeros

2.4.1 Definición

Conforme con Billmeyer (1984), un “polímero” es una molécula grande (macromolécula) construida a partir de unidades químicas simples llamadas monómeros, las que se repiten a lo largo de la molécula como una cadena lineal, ramificada o interconectada que forma redes tridimensionales, como lo manifestó Suárez (2018):

La importancia de los polímeros radica en la gran diversidad de propiedades que presentan. Algunos polímeros son rígidos, otros flexibles y pueden moldearse. Otros son estables a altas temperaturas.

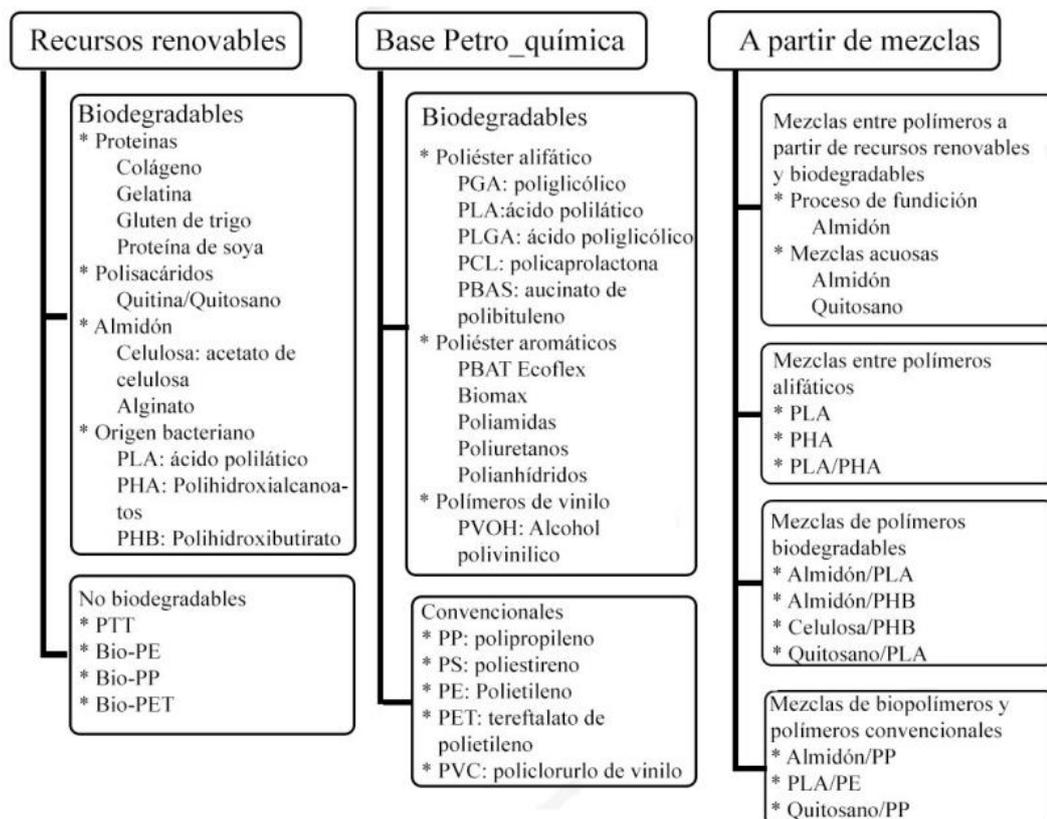
Existen materiales que presentan propiedades hidrofóbicas, por lo que se usan como impermeables. De tal forma que se pueden sintetizar materiales para una gran variedad y cantidad de usos prácticos. Así pues, no es difícil explicarse la enorme importancia tecnológica de estos materiales y porqué los polímeros ocupan un lugar, por el momento insustituible, en la vida diaria de todo ser humano.

2.4.2 Clasificación de los polímeros

Rodríguez y Orrego (2016) señalaron que los polímeros se clasifican según su método de producción, biodegradabilidad y la mezcla de ambos (Figura 24).

Figura 24

Clasificación de los polímeros según su método de producción, biodegradabilidad y mezclas



Nota. Tomado de Aplicaciones de mezclas de biopolímeros y polímeros sintéticos, por L. Rodríguez y C. Orrego, 2016, Revista Científica, 25, 252-264

En este sentido, la biodegradabilidad es la capacidad del polímero de degradarse en el ambiente en sustancias más simples, lo que sucede con el tiempo, con el fin de reducir su impacto ambiental; algunos polímeros sintéticos de base petroquímica pueden ser biodegradables, por su parte, los que se componen de materia prima renovable pueden llegar a no serlo, debido a que su composición química puede ser alterada en su fabricación.

Así, se pueden clasificar de acuerdo con su comportamiento térmico:

- **Termoplásticos:** generalmente insolubles y capaces de deformarse elásticamente, si perder su resistencia ni modificar su estructura.
- **Termoestables:** insolubles, rígidos y resistentes a altas temperaturas, por lo que son capaces de calentarse, descomponerse y moldearse por una sola vez.
- **Elastómeros:** son capaces de cambiar su composición física a partir de la variación de temperatura, es decir, flexibilizarse con calor y endurecerse en estado de transición vítrea.

Entre los polímeros más utilizados en la actualidad, se encuentra el polietileno de alta y baja densidad, ambos sintéticos, termoplásticos y de bajo costo de fabricación.

2.4.3 Proceso de reciclaje de polímeros

El reciclaje depende del tipo de plástico, por lo tanto, antes de empezar a reutilizar los materiales, primero es pertinente resolver su compatibilidad. La separación de plásticos tiene que llevarse a cabo al segregar varios materiales, lo que depende de la experiencia del personal (Tartakowski, 2010).

La mezcla de distintos tipos de polímeros conduce a la desmejora de propiedades esperadas del material reciclado, debido a la diferencia de temperaturas de fusión, por ejemplo, mezclar polipropileno (PP) con PEAD incrementa la fragilidad (J. Guerrero y Sánchez, 2020). En tal marco, dentro de los procesos de reciclaje, existen dos tipos: el mecánico y el químico, ambos brindan óptimos resultados (Auza Rodrigo, 2018).

Reciclaje mecánico: consiste en separar los plásticos por clase, lavarlos y triturarlos hasta convertirlos en pequeños trozos que se fundirán en moldes para generar nuevos productos (Auza Rodrigo, 2018).

Figura 25

Proceso de reciclaje mecánico de plásticos



Nota. Tomado de Aplicaciones de Reciclado de plásticos, por EcoPlas 2020, (<https://ecoplas.org.ar/reciclado-de-plasticos/>)

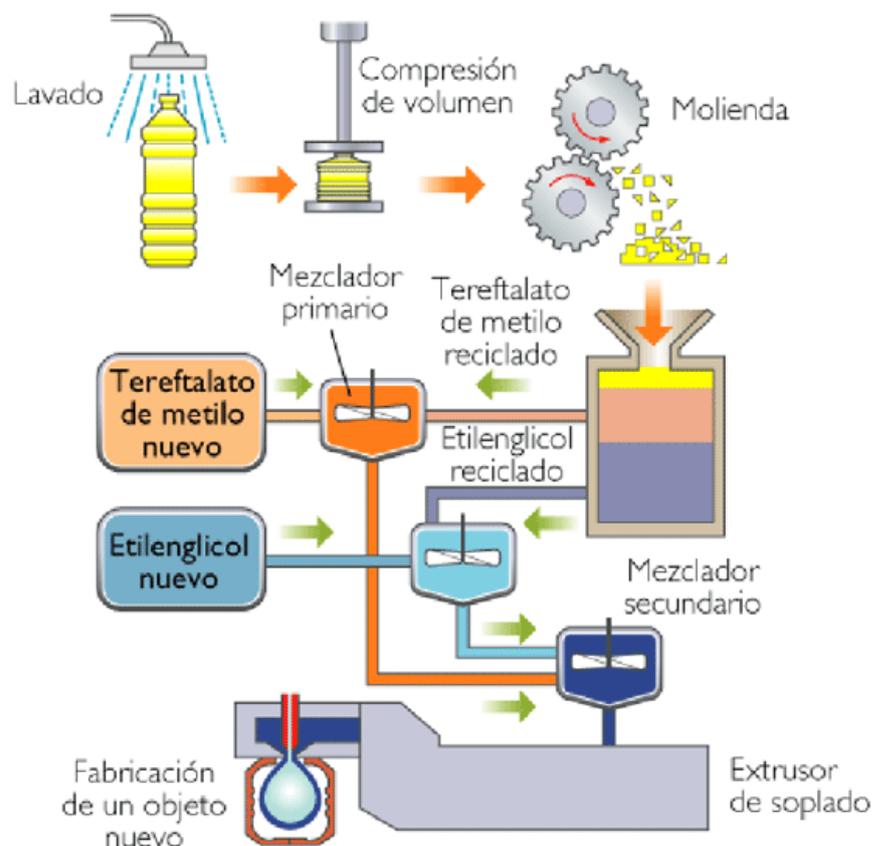
Reciclaje químico: consiste en la degradación del plástico mediante calor, lo que resulta en moléculas simples (Auza Rodrigo, 2018).

Asimismo, Arandes *et al.* (2004) indicaron el siguiente argumento:

El reciclado terciario, o "reciclado químico", persigue el aprovechamiento integral de los elementos constitutivos del plástico, por transformación de este en hidrocarburos, los cuales pueden ser materias primas integrables bien nuevamente en la ruta de obtención de plásticos o en otras rutas de la industria petroquímica. Los métodos pueden ser químicos o térmicos, dependiendo del tipo de polímero.

Figura 26

Proceso de reciclado químico de polímeros



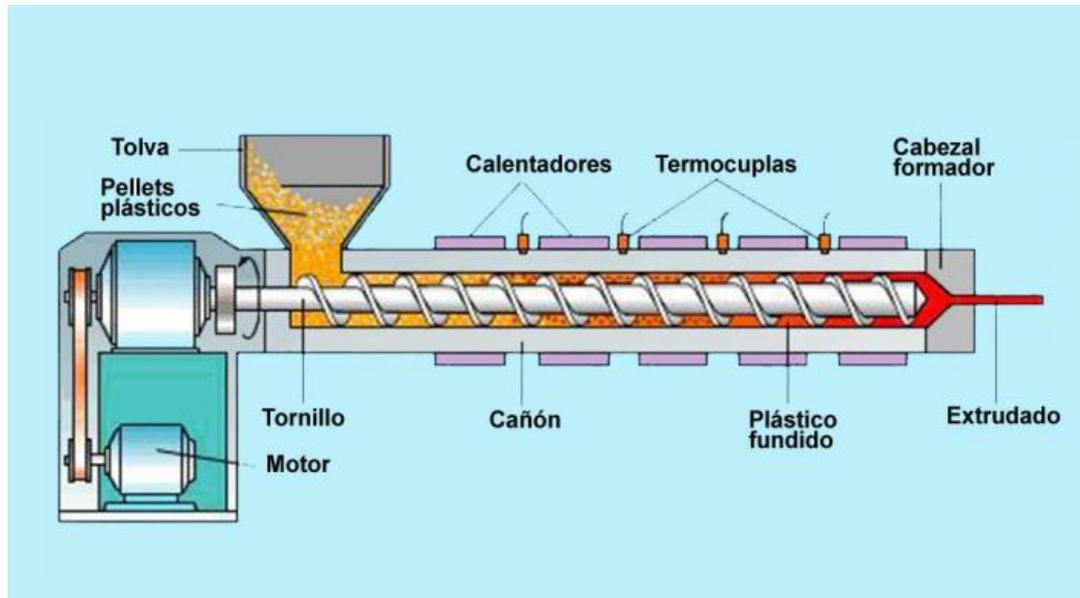
Nota. Adaptado de Proceso de fracción de plástico, por Rodrigo, 2018, (<https://www.scribd.com/document/393147976/Proceso-de-Fabricacion-de-Plasticos-pdf>)

Re-extrusión: es un reciclado de material de un solo tipo de polímero, de este modo, pueden ser puros al mantener propiedades cercanas al material virgen; este tipo de reciclaje se aplica en procesos donde las especificaciones de calidad son tan elevadas como las de los productos para los que fueron pensados originalmente (Faria e Ibarra, 2019).

Este tipo de reciclaje se conoce como reciclaje *in situ*, de ciclo cerrado o reprocesamiento, en vista de que se realiza al reintroducir los residuos, los recortes y rebabas (de origen postindustrial) generados durante la producción, al proceso de extrusión que se lleva a cabo en el mismo, con el propósito de fabricar productos de material similar (Morillas y Valdemar, 2020).

Figura 27

Esquema de proceso de re-extrusión de plásticos



Nota. Adatado de Gestión y técnicas de reciclaje polimérico: Estudio del escenario actual, aplicaciones y nuevas tendencias, por Ibarra y Faria, 2019, (https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/173625/Mem%C3%B2ria_NonesClaudio%20Ernesto.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

2.5 Hormigón convencional

Para Vera José (2009), el hormigón es un material clásico originado a finales de la República Romana, pese a ello, recientes investigaciones arqueológicas sitúan su origen en la época de las pirámides de Giza (3000- 2500 AC). El hormigón convencional es de uso general para todo tipo de construcciones que no demanden características especiales, por lo que se emplea en pisos, losas, muros, cimentaciones, banquetas, guarniciones, etc (Cueva, 2022).

2.5.1 Agregados

Los áridos o agregados son un conjunto de partículas de origen natural o artificial, asimismo, tienen forma granular fibrosa, con dimensiones varias, por lo que pueden ser tratados o elaborados, pues sus dimensiones están fijadas por las normas técnicas (Pillajo, 2012). Según Luaces César (2010), en función de la aplicación a la que están destinados, los áridos deben reunir ciertas particularidades:

- Propiedades geométricas: tamaño, forma de las partículas (por ejemplo, si son alargadas o no), caras de fractura, calidad de los finos, etc.
- Propiedades mecánicas y físicas: resistencia al desgaste (por ejemplo, para que los coches no se deslicen en las carreteras), a la fragmentación y al pulimento, densidad, porosidad, contenido en agua, etc.
- Propiedades térmicas y de alteración: resistencia a los ciclos de hielo y deshielo, etc.
- Propiedades químicas: contenido en azufre, cloruros, materia orgánica, contaminantes ligeros, reactividad potencial, etc.

Por otro lado, los agregados se clasifican de acuerdo con su tamaño, por ello, se dividen a través de la malla #4 (4.75 mm) de la serie de Taylor, en agregado fino y agregado grueso (Pillajo, 2012). Según Espinoza Noidith (2019), el agregado grueso queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas, lo que puede clasificarse en piedra chancada y grava.

Figura 28

Piedra triturada, retenida del tamiz 3/4



Nota. Tomado de Especificaciones Técnicas para Construcción de Viviendas, por Universidad Distrital Francisco José Caldas, 2017, (<https://sites.google.com/a/correo.udistrital.edu.co/manualviviendas/3-especificaciones-de-materiales/morteros/triturado-3-4>)

Igualmente, el agregado fino es el material que conforma las arenas que pasan el tamiz #4, pero son retenidas en el tamiz #200 (Rincón, 2018).

Figura 29

Agregados finos apilados y categorizados en cantera



Nota. Tomado de Contenido de arcilla: identificación y control en el agregados finos, por Bessornia, 2020, (<https://www.linkedin.com/pulse/contenido-de-arcilla-identificaci%C3%B3n-y-control-en-el-finis-bessornia/?originalSubdomain=es>)

2.5.2 Cemento

El cemento Portland Puzolánico Tipo GU es un aglutinante hidráulico compuesto, con características del cemento Portland, asimismo, cumple con la norma NTW INEN 2380, es de uso general en construcción y se utiliza cuando no se requieren condiciones especiales (Pillajo, 2012).

De conformidad con Orellana (2009), este cemento se obtiene al triturar silicatos de calcio hidráulicos, cuyas materias primas son las calizas y las arcillas. Los materiales puzolánicos son silíceos finamente molidos que reaccionan, químicamente, a la temperatura ambiente con los hidróxidos de calcio, lo que constituye compuestos con propiedades cementantes.

2.5.3 Agua para mezcla

El agua se utiliza como componente de reacción química con el cemento durante la elaboración de hormigón y el proceso de curado. Para la elaboración de hormigón, el agua debe ser potable, por ello, no debe tener impurezas naturales que provengan del mar o de actividades industriales (Orellana, 2009). Además, sirve para saturar los agregados y lubricar la mezcla en el hormigón, con el propósito de obtener una buena trabajabilidad, generar una mezcla homogénea y con adecuada compactación, para conseguir la resistencia requerida al hormigón (Pillajo, 2012).

Según Del Valle (1995), el curado es un proceso vital para endurecer y alcanzar, de un modo adecuado, las resistencias exigibles en función de las acciones a las que será sometido. Durante el curado, el agua ayuda a crear las condiciones ambientales precisas para favorecer el fraguado y el endurecimiento en los plazos adecuados.

2.5.4 Aditivo

De acuerdo con el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (2006), los aditivos son químicos que se agregan al concreto en la etapa de mezclado, con el propósito de modificar algunas de las propiedades de la mezcla, pese a ello, nunca deben ser considerados un sustituto de un buen diseño de mezcla, de buena mano de obra o del uso de materiales correctos.

Conforme con Aditivos España "CHRYSO" (2020), los aditivos se clasifican en función de su efecto:

- Plastificadores (agentes reductores de agua).
- Superplastificadores.
- Incluidores de aire.
- Aceleradores.
- Retardadores.

Generalmente, los aditivos para el hormigón son composiciones químicas líquidas para añadir a la mezcla de agua y cemento, con el objetivo de reducir la oxidación del hormigón, mejorar su tiempo de fraguado o crear nuevos efectos estéticos (CHRYSO, 2020).

2.6 Hormigón Arquitectónico

El hormigón arquitectónico necesita una superficie virgen, donde la obra gruesa tiene calidad de terminación, sin que se requiera aplicar ningún tratamiento posterior al desencofrado. Para Cifuentes (2011), “el hormigón arquitectónico corresponde a una edificación de hormigón armado, el cual está expuesto a la vista como superficie de la estructura terminada y contribuye en forma determinante su aspecto visual, situación que se encuentra en las especificaciones técnicas y contrato de la obra”.

Por su parte, Moneo (2018) indicó que el hormigón arquitectónico es un elemento fundamental dentro del proceso de industrialización de la construcción, debido a sus ventajas, pues, con las características propias de los prefabricados, ha evolucionado para satisfacer criterios funcionales y estéticos, por lo que es la opción para solucionar una gama amplia de conflictos constructivos, de forma y acabados superficiales.

Entre ellos, destacan las fachadas de hormigón arquitectónico que constituyen el cerramiento de los edificios, con la base de paneles prefabricados de hormigón armado; este tipo de elementos aporta con un ahorro en tiempo de ejecución de obra, una variedad de colores, texturas y formas al momento de diseñar.

Figura 30

Fachada de hormigón arquitectónico



Nota. Tomado de Fachadas de hormigón arquitectónico, por Diansa, 2015, (<https://www.cubiertasdiansa.com/fachadas-de-hormigon-arquitectonico/>)

2.7 Madera Plástica

Los compuestos de madera plástica o *Wood Plastic Composite* (WPC) son materiales formados por la combinación de dos componentes principales: la matriz polimérica y las partículas de refuerzo a base de celulosa y aditivos químicos, de este modo, los componentes se mezclan a altas temperaturas y, mediante técnicas de extrusión, moldeo por inyección o calandrado, se utilizan para la conformación de productos finales (Hutyrová *et al.*, 2016).

Figura 31

Perfiles de madera plástica



Nota. Adaptado por Interempresas, 2010, (<https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/38207-Mitad-madera-mitad-plastico.html>)

Estos compuestos combinan calidad y sostenibilidad con estética y funcionalidad, por ello, suelen utilizarse en tableros, madera de paisaje, mesas de jardinería, pisos industriales, muebles del hogar, perfiles de puertas y ventanas, entre otras aplicaciones (Albán, 2019).

2.8 Hormigón Estampado

Este elemento de alta estética se estampa con herramientas especiales y se endurece en una superficie de hormigón colocado en el lugar de diseño, con lo que se logra una apariencia realista de materiales como ladrillo, adoquín, laja, piedra o cerámica, lo que permite una variedad de diseños de acabados (Ruíz, 2017).

Este material sigue un proceso aplicado sobre un piso continuo en una superficie fresca, donde se imprimen diseños en bajorrelieve, técnica para emular distintos acabados parecidos a ladrillos, gres, pizarra o adoquines, como se observa en la Figura 32 (PAVEX, 2020).

Figura 32

Hormigón estampado con detalles estéticos en la construcción contemporánea



Nota. Tomado de Hormigón Estampado, por PAVEX, 2020, (<https://pavex.es/hormigon-estampado/>)

2.9 Prefabricados

Los productos prefabricados implican un proceso o elementos que presentan la característica de poderse producir en fábrica o en obra, por lo que la opción de prefabricar debe aprovechar las condiciones del momento que disminuyan el trabajo a realizarse en obra (Cabrera, 2010).

El sistema constructivo con elementos prefabricados ofrece ventajas frente a los sistemas tradicionales, entre ellas, la reducción de residuos que se generan en las obras realizadas in situ, pues el proceso constructivo de los elementos prefabricados tiene un mayor control de calidad en su elaboración y se realiza en talleres o sitios especializados (Córdor, 2017).

Desde el punto de vista de Cabrera, los sistemas prefabricados han cambiado para adaptarse a las necesidades y las exigencias actuales, con elementos cada vez más prácticos, lo que dio inicio al desarrollo de sistemas prefabricados semipesados y livianos en los que se puede destacar la incorporación de componentes industrializados de tamaño medio, con las facilidades que conllevan en cuanto a traslado y montaje, como indicó Garza (2019):

Los acabados son los materiales o productos fabricados en industrias que se integran, se adosan o se superponen a los elementos constructivos de los objetos arquitectónicos, para el confort de los usuarios, para acentuar la expresión de los espacios y de las formas, y para su protección de los efectos nocivos resultantes por las temperaturas, por la humedad, por las lluvias y por la contaminación del medio ambiente. Los acabados se identifican para las azoteas, para el interior o para el exterior: de los cielos, de los muros y de los pisos.

Figura 33

Varios tipos de acabados prefabricados por su forma



Nota. Tomado de bloques de mampostería y adoquines de concreto UNICON, por Constructivo, 2019, (<https://constructivo.com/actualidad/linea-de-bloques-y-adoquines-unicon-mas-beneficios-para-tu-obra-1544729487>)

2.10 Construcción mecanizada

De acuerdo con Cueva (2019), este tipo de construcción supone la utilización de tecnologías que sustituyen la habilidad del artesano por el uso de la máquina. De este modo, la industrialización puede aumentar la capacidad y la calidad del ciclo productivo, lo que permite desarrollar proyectos en tiempos más reducidos y con costos menores, por ello, es un proceso productivo para obtener, transformar y elaborar los productos con base en la repetición mecanizada y organizada.

Figura 34

Elementos prefabricados en industria



Nota. Tomado de Industrialización y prefabricado, por Pacadar, 2018, (<https://www.pacadar.com/news/item/industrializacion-y-prefabricado>)

El sistema de construcción mecanizada debe cumplir con los siguientes objetivos:

- Reducir el tiempo de edificación de una obra.
- Obtener el mejor rendimiento de los materiales, la mano de obra y los equipos (Vinueza y Ríos, 2004).

En correspondencia con Córdor (2017), una fabricación en cadena es un proceso automatizado y mecanizado de la producción de elementos prefabricados, lo que agrupa algunas tareas, con el propósito de que los trabajos tengan tiempos

iguales en las distintas fases de producción. Las fases de producción se distinguen del siguiente modo:

1. Preparación del elemento a prefabricar.
2. Preparación del hormigón
3. Vertido del hormigón
4. Acabado.

Figura 35

Industria de prefabricados en México



Nota. Tomado de Industrialización y prefabricado, por Pacadar, 2018, (<https://www.pacadar.com/news/item/industrializacion-y-prefabricado>)

2.11 Geología regional

2.11.1 Cordillera Chongon Colonche

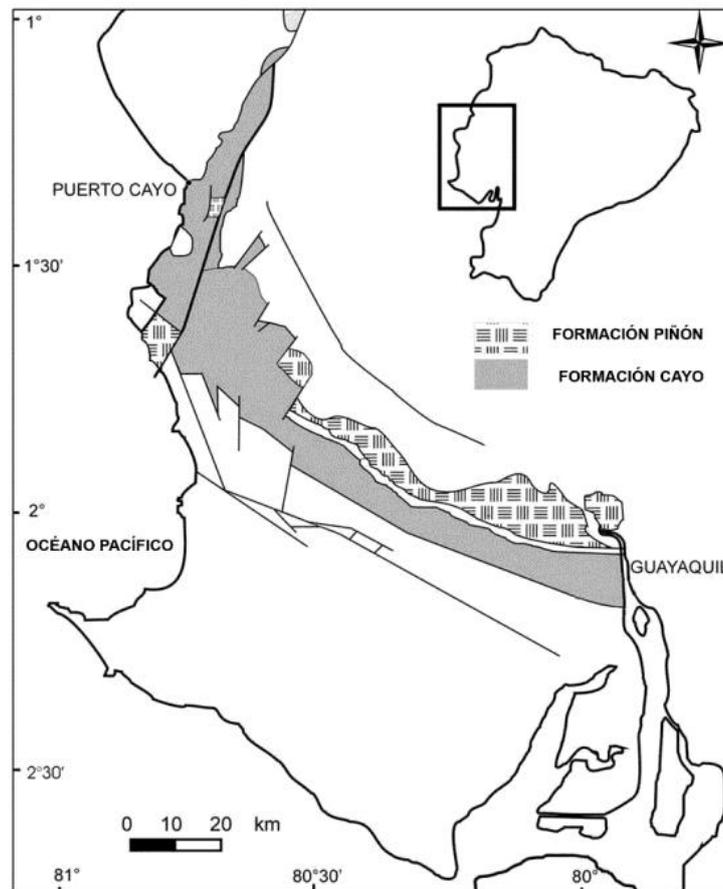
La Cordillera Chongón Colonche es el desarrollo orográfico de dirección NNO-SSE, desde Guayaquil hasta el sector de Olón-Pedro Pablo Gómez, asimismo, la Cordillera Costera (CCO) es el sector que sigue, pero con dirección aproximada N-S (Benítez, 1995).

Ambas cordilleras se caracterizan por presentar un basamento de rocas ígneas básicas denominado Formación Piñón, así como una evolución estratigráfica

estructural cretácea-eocena comparable, sin embargo, en el detalle presentan diferencias (Burgos, 2018). La base de esta cordillera se compone por una corteza oceánica (Formación Piñón), así, encima de ello se encuentran los estratos de las Formaciones Calentura, Cayo, Guayaquil, San Eduardo y Las Masas.

Figura 36

Geología de la Cordillera Chongón Colonche y las Formaciones que la componen

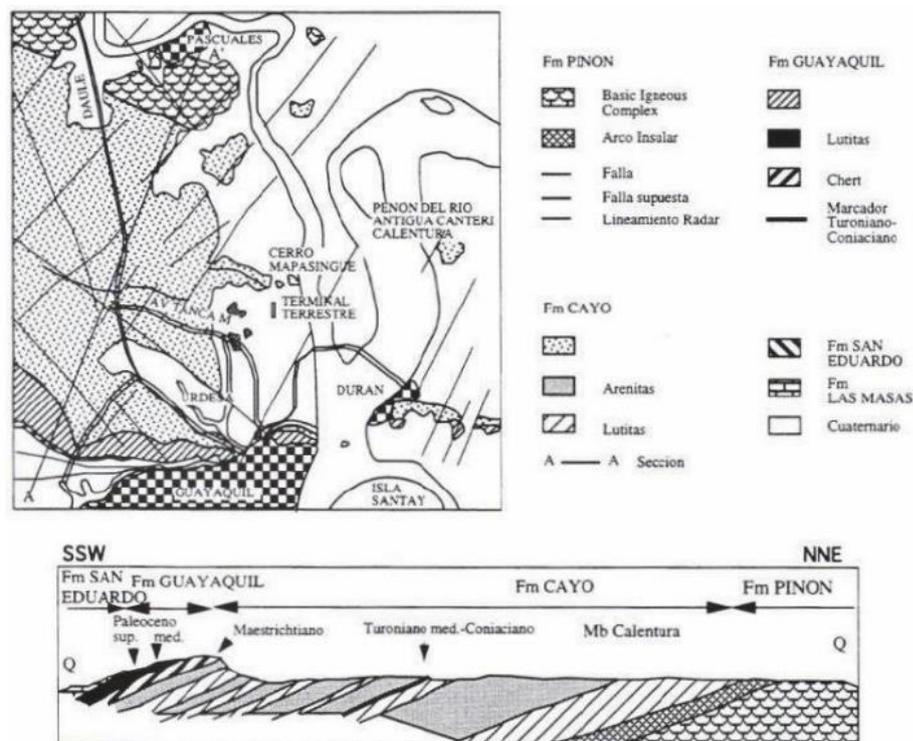


Nota. Tomado de Caracterización mineralógica del depósito de zeolitas naturales en el río Guaraguau (Isidro Ayora, provincia del Guayas) y su aplicación en la remoción de amonio en aguas residuales, por Garcés, 2013, (<https://www.researchgate.net/publication/263465524>)

Según la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES) *et al.* (2012), la evolución geológica de Guayaquil está dada por las Formaciones Piñón (Jurásico), Macuchi (Cretácico Superior), Cayo (Cretácico Superior), Guayaquil (Cretácico Superior) y San Eduardo (Terciario “Eoceno medio-inferior).

Figura 37

Mapa y corte geológico de la periferia norte de la ciudad de Guayaquil



Nota. Tomado de Évolution géodynamique de la province côtière sud-équatorienne au Crétacé supérieur-Tertiaire, por Benítez, 1995, Université Joseph-Fourier–Grenoble I

2.11.2 Formación San Eduardo

La composición litológica consiste en calizas de tipo turbidítico, desde calcarenitas hasta calciruditas, así, se componen por detritos arrecifales con un color gris que varía a crema (Ortiz, 2019).

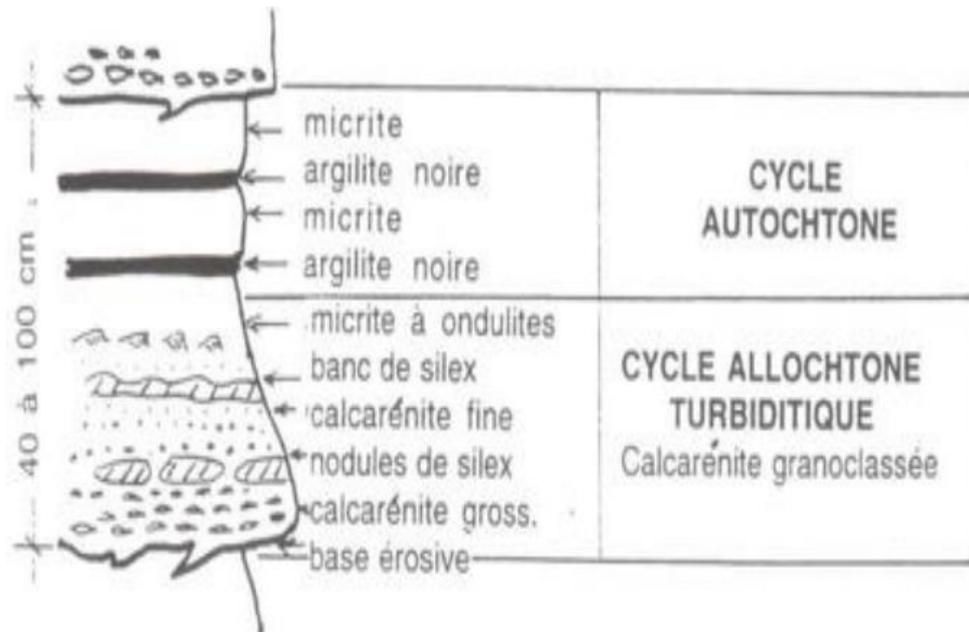
De acuerdo con Naranjo (2021), los afloramientos de la Formación San Eduardo se ubican a 2 Km al oeste del Cerro San Eduardo cerca de varias canteras y bordeados por el flanco sur de la Cordillera Chongón Colonche hasta unos 40 km al oeste de Guayaquil, donde su espesor alcanza los 200 m.

Esta formación aflora en el Bosque Protector Cerro Blanco, al oeste de Guayaquil, el que se constituye de caliza con más del 93 % de carbonato de calcio (CaCO₃) (Benítez, 1995). Como se expone en la

Figura 38, posee un espesor de alrededor de 40 m con sucesiones de calizas micríticas, calcarenitas, arcillolitas silíceas y lodolitas calcáreas; cabe añadir que el contacto es aparentemente concordante y transicional con la Formación Guayaquil (Naranjo, 2021).

Figura 38

Ciclo sedimentario de la Formación San Eduardo



Nota. Tomado de Évolution géodynamique de la province côtière sud-équatorienne au Crétacé supérieur-Tertiaire, por Benítez, 1995, Université Joseph-Fourier–Grenoble I

2.11.3 Formación Guayaquil

La Formación Guayaquil se encuentra en contacto gradacional con la Formación Cayo y en discordancia con la de San Eduardo, por lo tanto, se extiende unos 80 km hacia el oeste de Santa Elena, con una potencia de 450 m. Así, se encuentra conformada por lutitas silíceo-calcáreas y tobas finas, y por argilitas sílicificadas, cherts e intercalaciones de argilitas tobáceas y tobas.

2.11.4 Formación Piñón

A partir de la emisión de grandes flujos volcánicos que se extienden hasta el cretácico, la formación consiste en corteza oceánica acrecionada al continente y se

compone por lavas basálticas en forma de pillow lavas y varias intercalaciones volcánicas (Sánchez Padilla *et al.*, 2017).

2.11.5 Formación Macuchi

Esta formación se compone por lavas porfíricas (andesitas y basaltos), brechas, aglomerados, lutitas, areniscas, y limolitas volcánicas comúnmente fracturadas y alteradas por meteorización (Sánchez Padilla *et al.*, 2017).

2.11.6 Formación Cayo

Esta formación se originó debido a una fase de compresión que comenzó por un desplazamiento del piso oceánico, que permitió la acumulación de sedimentos pelágicos de consistencia silícea y carácter turbidítico, dando origen a esta formación de potentes rocas de origen volcánico-clástico sobre yaciendo sobre la Formación Piñón. Su litología corresponde a limolitas de color verde, arenisca color amarillento, grauvacas clorotizadas, tobas y aglomerados, que se presentan como una secuencia sedimentaria de origen volcánica estratificada en capas delgadas a gruesas con un buzamiento hacia el sur.

La demanda de este tipo de materiales siempre ha estado evidenciada en la economía del país, presentando altas toneladas de importaciones de estos materiales y minerales en especial yeso. (Sánchez Padilla *et al.*, 2017)

2.12 Extracción de caliza

El Ecuador dispone de varios recursos minerales no metálicos, siendo los más importantes la caliza, mármol, arcillas, yeso, piedra pómez, baritina y la bentonita. La explotación de caliza y puzolana para la industria del cemento constituye el rubro más importante de la producción minera no metálica. La distribución de los principales yacimientos no metálicos por su volumen e importancia se concentra principalmente en las regiones de la Costa y Austral. (Agencia de Regulación y Control Minero [ARCOM], 2019)

En la Figura 39, se expone la producción anual, entre 2005 y 2014, de los principales productos del sector minero, así, la caliza es el principal material de

extracción no metálico y más demandado por la industria constructiva, pues ha alcanzado casi los 6,9 millones de toneladas.

Figura 39

Producción anual 2005-2014, principales productos sector minero

SECTOR MINERO								
PRODUCCIÓN ANUAL PRINCIPALES PRODUCTOS								
	ORO	PLATA	ARCILLA	CALIZA	CAOLIN	FELDESPATO	SILICE	POMEX
	Kilogramos	Kilogramos	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas
2005	5.337,68	283,20	1.318.356,13	4.854.958,36	25.078,26	38.249,69	37.789,55	636.777,74
2006	5.168,20	158,83	1.309.343,06	5.456.546,18	11.504,21	67.843,54	36.208,37	707.864,08
2007	4.587,71	448,96	1.413.418,92	6.326.616,42	18.617,69	63.557,39	33.907,40	941.652,78
2008	4.132,89	304,78	1.577.932,61	5.366.498,39	42.613,90	86.888,86	24.799,13	1.024.896,04
2009	5.392,19	115,60	1.276.529,28	4.956.671,94	28.775,00	111.985,07	73.920,57	924.527,44
2010	4.592,76	1.168,90	1.414.852,68	3.862.307,61	41.089,40	156.888,06	60.018,80	718.907,82
2011	4.923,33	1.589,06	2.016.027,00	5.309.485,09	95.061,60	103.498,36	83.274,68	802.397,32
2012	5.138,94	2.934,24	1.949.509,49	6.283.972,10	42.563,90	152.590,17	136.806,40	951.356,00
2013	8.676,42	1.198,39	1.412.989,66	6.838.391,04	100.194,74	210.142,38	90.564,77	1.735.449,49
2014	7.322,11	577,05	770.936,72	6.319.428,21	40.236,36	183.259,13	80.868,95	1.728.949,27

Nota. Tomado de Seguimiento, control y fiscalización de labores mineras a gran escala, por ARCOM, 2019, (<https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/03/Proyecto-de-seguimiento-y-control-gran-escala-.pdf>)

La ubicación geológica de Guayaquil permite disponer de materiales de construcción a gran escala, lo que favorece al desarrollo local de la ciudad, de este modo, la piedra caliza es la materia prima de la producción de cal para la elaboración de cemento, asimismo, existen aproximadamente 36 canteras de caliza a partir del kilómetro 7 de Vía La Costa.

2.12.1 Procesos de extracción

Es la secuencia lógica de actividades requeridas para la adecuada utilización de una cantera, así como la primicia para elegir las alternativas de explotación más eficientes (Arjona, 2019).

En este sentido, si el método de explotación es a cielo abierto, como en casi el 100% de los casos, la carta de flujo es válida, donde se resalta lo siguiente (Arjona, 2019).

Reconocimiento Geológico Regional

- Se efectúa un estudio regional en determinada área, para hallar los bancos importantes para el suministro de materias primas.

Levantamiento Geológico del Área Prospecto

- Consiste en hacer un levantamiento del terreno, en consideración con las fallas, las fracturas, la estratificación y las características litológicas.

Datos de Barrenación

- Permiten conocer, con precisión, la morfología, así como cuantificar cantidad y calidad, al identificar su distribución.

Interpretación Geológica

- Con base en los datos anteriores, se determina la geoestructura de la cantera y los límites de esta.

Pruebas Físicas de Laboratorio

- Son pruebas de resistencia a la compresión uniaxial y multiaxial.

Estructura Geológica

- En función de los estudios anteriores, se determina, con exactitud, el comportamiento interno del banco para conocer la estructura geológica de este.

Datos Geohidrológicos

- La finalidad es conocer el caudal de agua que fluye hacia la cantera, originado este desde el subsuelo o superficialmente.

Aspectos de Seguridad

- Para la protección del personal y el equipo, es necesario tener presente los riesgos involucrados en estas operaciones, el diseño y la geometría del banco.

Resistencia de la Roca

- Es el esfuerzo límite que una roca puede soportar sin fallar por ruptura.

Reservas de Roca

- Conforme con la interpretación geológica, así como los aspectos topográficos, practicidad de explotación, etc, se calculan las reservas explotables con lo siguiente:
 - Cantidad.
 - Calidad.

- Distribución.

2.12.2 Perforación y voladura

Esta operación es fundamental, pues permite fragmentar el material rocoso con una granulometría adecuada y un incremento en los índices de productividad de las operaciones que prosiguen (Alomalisa y Villamar, 2018).

Lo anterior inicia con la construcción de agujeros realizados con equipos de perforación que, posteriormente, serán cargados de explosivos (Piérola, 2017); cabe añadir que el método de perforación depende de la fuente de energía que se adquiera (Álvarez, 2018).

Entre los equipos de perforación a cielo abierto de superficie, se encuentran los de cabeza de martillo, de fondo y de roca dimensional, y rotatorios, de esta forma, pueden estar soportados sobre orugas, neumáticos, mecanizadas e hidráulicas que pueden alcanzar profundidades de perforación de hasta 50 m.

Conforme con Palomino (2016), las fases de perforación son las siguientes:

- Percusión: impacto de la broca contra la roca.
- Rotación: movimiento giratorio de la broca para generar impacto sobre la roca.
- Avance: fuerza de avance de perforación.
- Barrido: el fluido del barrido permite extraer todo el detrito del fondo del taladro, con el fin de dejarlo limpio.

Por otro lado, los criterios de selección de explosivos dependen del precio del explosivo, el diámetro de carga, las características y el volumen de la roca, las condiciones atmosféricas, la presencia de agua y las atmósferas explosivas (K. Mejía, 2019).

Figura 40

Equipo de perforación hidráulica sobre orugas HCR 1200-EDII



Nota. Adaptado por FRD, 2020,

(<https://www.facebook.com/frdfurukawa/posts/3527015560758458/>)

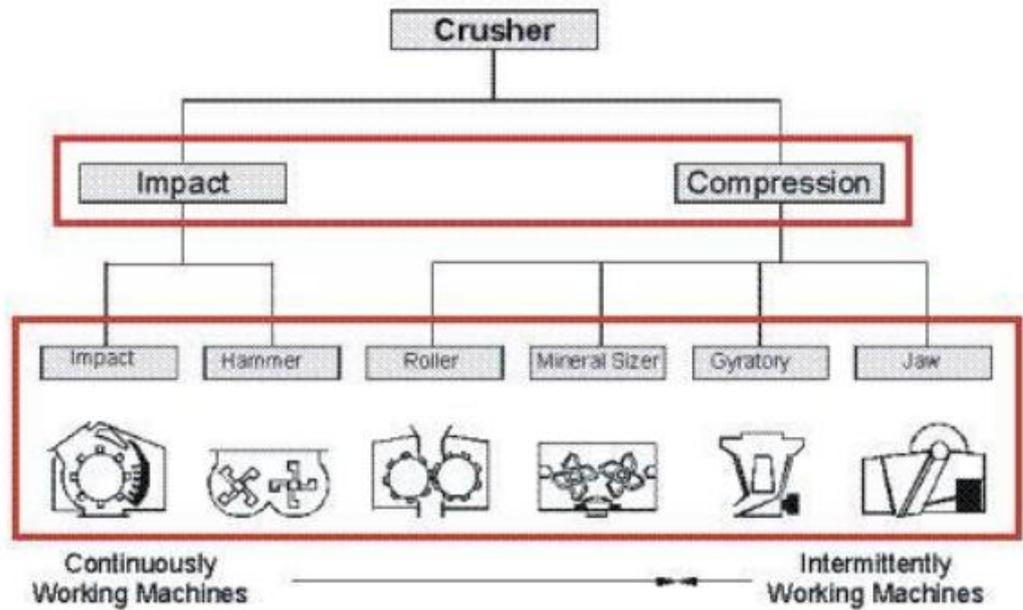
2.12.3 Trituración

La caliza es manipulada, físicamente, con equipos energéticos de trituración, con el objetivo de descomponer los bloques extraídos en elementos más pequeños o en tamaños requeridos sin alterar su naturaleza, por lo tanto, Arias (2006) indicó que la elección del tipo depende de factores como abrasividad, pegajosidad, producción (ton/h), tamaño de alimentación y consumo de energía.

La Figura 41 señala los equipos de trituración de impacto y compresión: los primeros aprovechan la energía de impacto o golpe para romper el material (Yepes, 2013), mientras que los otros fragmentan al ejercer compresión mediante el confinamiento del material entre dos elementos rígidos.

Figura 41

Equipos de trituración según su forma de fragmentar los materiales

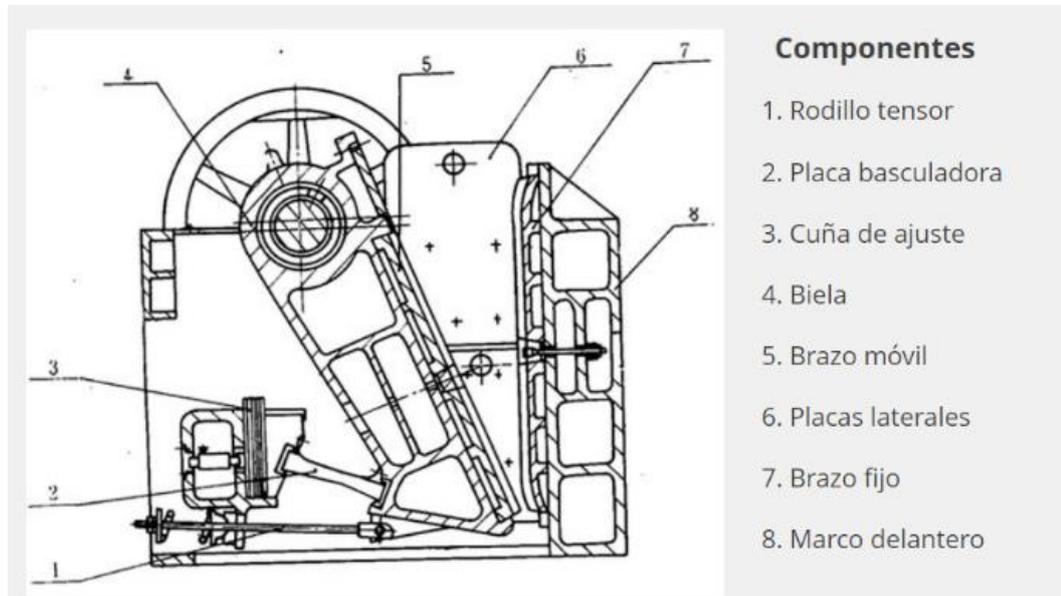


Nota. Tomado de Materiales constructivos transformando basura plástica arrastrada por corrientes oceánicas: mitigación ambiental de las Islas Galápagos, Arias, 2006, (<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/14372/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-332.pdf>)

Por consiguiente, el material es transportado a través de bandas transportadoras a las salas de almacenamiento, para proceder con la formación de pilas distinguidas por su forma y tamaño (Arias, 2006). En Guayaquil, uno de los tipos de trituradora más utilizado por las canteras es el de mandíbula, debido a que es capaz de conseguir una fuerza de trituración máxima de 320 MPa.

Figura 42

Componentes de trituradora de mandíbula



Nota. Tomado de Trituradora de mandíbula, por Heavy Plants, 2020, (<http://heavy-plants.com/1-1-1-jaw-crusher.html>)

La trituradora de mandíbula utiliza fuerza de compresión para aplastar el material, con la ayuda de una placa móvil y otro estacionario, donde a medida que las partículas de piedra caliza se desplazan hacia abajo sobre estas, se le va ejerciendo más presión que permita su finura progresiva. (Hailong, 2022)

En este orden de ideas, los procesos de trituraciones pueden ser diferentes, así, se dividen en: primarios, secundarios y terciarios, con la finalidad de reducir el tamaño de las partículas. En la Figura 43, se expone que el proceso está compuesto, ordenadamente, por un alimentador vibratorio, trituradora de mandíbula de impacto y criba vibratoria.

Figura 43

Proceso de trituración convencional de piedra caliza

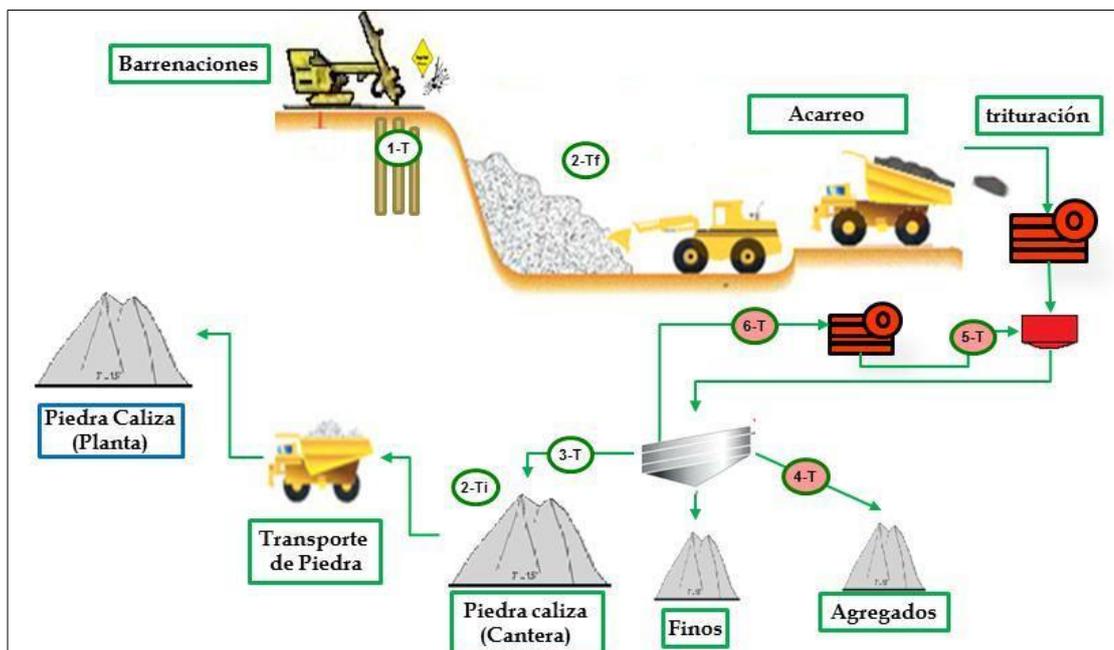


Nota. Tomado de Trituradora de mandíbula, por Heavy Plants, 2020, (<http://heavy-plants.com/1-1-1-jaw-crusher.html>)

De acuerdo con Vilca (2019), las Figura 44 y Figura 45 presentan el proceso completo de extracción de la caliza, junto con los detalles de control de calidad y ejecución de las etapas.

Figura 44

Proceso de extracción de caliza a cielo abierto con equipos energéticos



Nota. Tomado de Estudio de la influencia de la pureza de la caliza, tamaño de partícula y temperatura para obtener óxido de calcio de alta reactividad mediante un diseño

experimental 2k, por Vilca, 2019, (<https://docplayer.es/176841173-Universidad-nacional-de-san-agustin-de-arequipa.html>)

Figura 45

Flujo del proceso de extracción de caliza y plan de control de calidad

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO	CODIGO DE UBICACIÓN	ORIGEN DE LA MUESTRA	FRECUENCIA DE MUESTREO	VARIABLE A CONTROLAR	RANGO DE ACEPTACION	TIPO DE CONTROL	RESPONSABLE DEL MUESTREO	REGISTRO DE DATOS
EXTRACCION	1-T	Barrenacion	Rutinario	%CaCO ₃ %MgCO ₃ %Silice	92 % min 5 % Maximo 5% Maximo	Cr Cr Cr	Analista de Materia Prima y Personal Cantera	Control de laboratorio Cantera
	2-Ti ;2-Tf	Piedra Caliza en Trituracion	Rutinario	Características físicas:Color,Tamaño y Ubicación de barrenos a triturar	Inspecciones Visuales	Mo	Analista de Materia Prima	Check List
TRITURACION	4-T	Almacen de Agregados	No Rutinario	Granulometria %CaCO ₃	3/4" - 1/4"	Mo	Analista de Materia Prima	Registro de Agregados
	3-T	Banda	Rutinario	Granulometria %CaCO ₃ %MgCO ₃ %Silice	1,5" - 3" 92 % min 5 % Maximo 5% Maximo	Cr	Analista de Materia Prima	Control de laboratorio Cantera
PLANTA	5-T	Banda	No Rutinario	Granulometria	≥3"	Mo	Analista de Materia Prima y Personal de Cantera	Control de Trituracion
	6-T	Banda		Granulometria	4" - 8"	Mo		
	Transporte de Piedra	Piedra Caliza en Trituracion	Rutinario	%CaCO ₃ %MgCO ₃ %Silice	92 % min 5 % Maximo 5% Maximo	Mo	Analista de Materia Prima	Control de laboratorio Cantera

Nota. Tomado de Estudio de la influencia de la pureza de la caliza, tamaño de partícula y temperatura para obtener óxido de calcio de alta reactividad mediante un diseño experimental 2k, por Vilca, 2019, (<https://docplayer.es/176841173-Universidad-nacional-de-san-agustin-de-arequipa.html>)

De conformidad con los autores, existe suficiente material calcáreo en el medio local, el que ha sido explotado por industrias hormigoneras y canteras en general, por lo tanto, la fabricación de hormigón polimérico a gran escala no sería un problema económico ni social, debido a que los recursos son abundantes y los rubros presupuestarios deberán ser económicos.

CAPÍTULO III

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 Polietileno (PET)

3.1.1 Conceptos generales

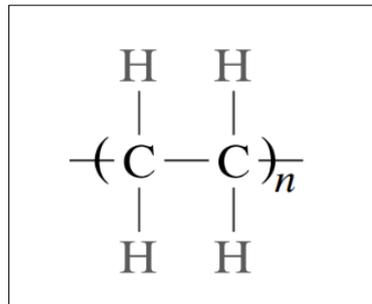
El polietileno es el plástico más comúnmente utilizado en industria y consumo.

Es un material termoplástico capaz de cambiar su estado de agregación de sólido a líquido, y viceversa, como consecuencia de un aumento o disminución de temperatura que propicie dicho cambio. (Muñoz *et al.*, 2022)

La molécula de polietileno es el resultado de la adición de muchas unidades de monómeros de etileno (Callister y Rethwisch, 2021), por ello, se estructura químicamente como se evidencia en la Figura 46.

Figura 46

Estructura química del polietileno (C₂H₄)_n



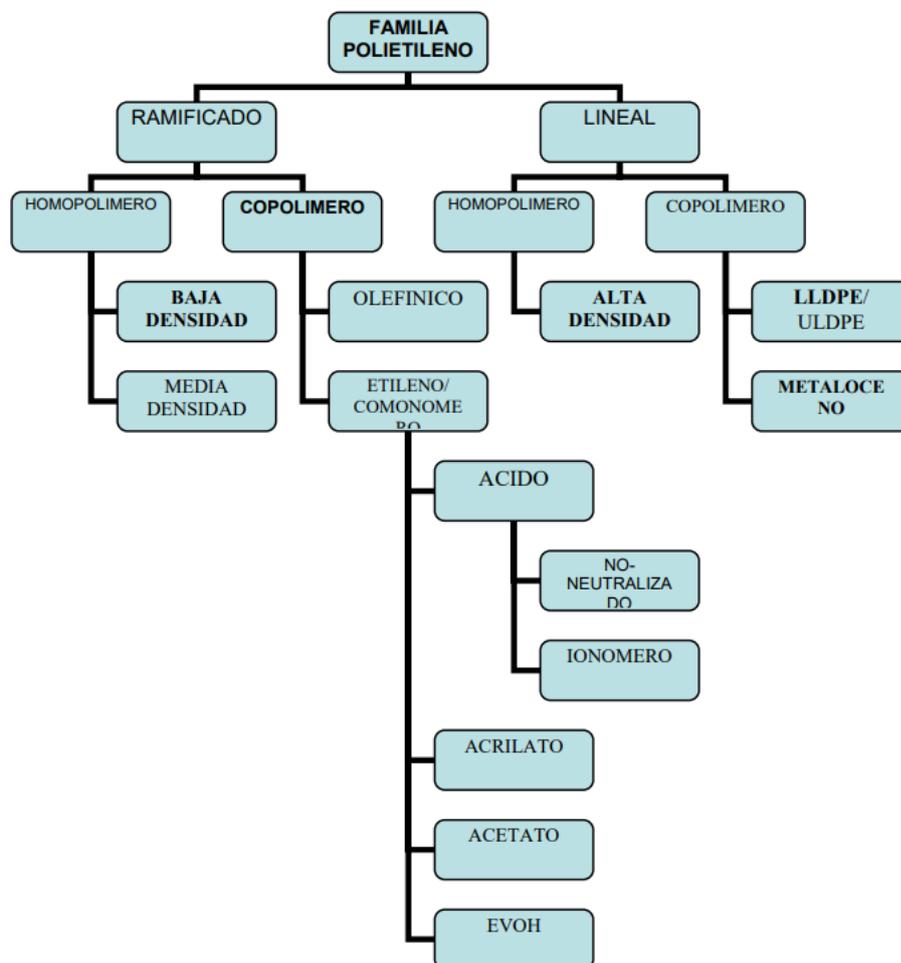
Nota. Tomado de Fundamentals of materials Science and Engineering and integrated approach, por W. Callister y D. Rethwisch, 2021

Los tipos de polietileno se distinguen a partir de su estructura química, debido a que se presentan en cadenas ramificadas o lineales, como se aprecia en la

Figura 47

Figura 47

Tipos de polietileno caracterizados a partir de su estructura de cadenas ramificada o lineal



Nota. Tomado de Estudio de la relación entre la estructura, piat, grado de cura y resistencia al impacto en productos monocapa de polietileno rotomoldeado, por Rigail, 2007

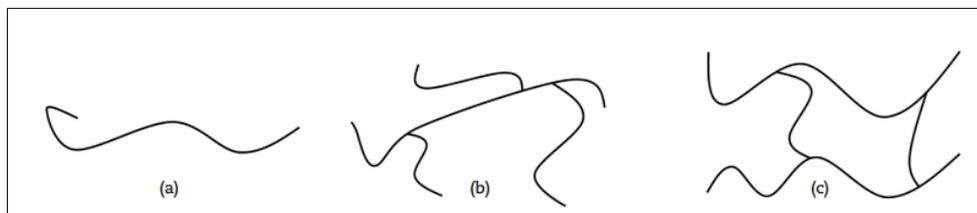
Asimismo, las propiedades del polietileno dependen de la estructura ramificada y su extensión, la cristalinidad y el peso molecular. Respecto con los volúmenes

vendidos a nivel mundial, los grados de polietileno más importantes son el polietileno de baja densidad (PEBD), el PEAD y el polietileno de baja densidad lineal (PEBDL).

En la Figura 48, se muestran las estructuras de cadena de los polietilenos de baja y alta densidad, de este modo, el PEBD tiene una estructura de cadena ramificada que reduce el grado de cristalinidad y su resistencia a partir de las fuerzas de enlace intermolecular. Por el contrario, el PEAD tiene pocas ramificaciones en las cadenas principales, por lo que estas pueden concretarse, estrechamente, para aumentar la cristalinidad y la resistencia.

Figura 48

Estructura química de los polímeros



Nota. (a) Polímero lineal, (b) polímero ramificado, y (c) polímero entrecruzado. Tomado de Relación estructura-propiedades de polímeros, por Alonso y Méndez, 2010, 21(4)

3.1.2 Polietileno de baja densidad

El PEBD es un tipo de polímero termoplástico producido por un método de polimerización por radicales libres bajo una presión de 150-350 MPa y una temperatura de 80-300 °C. Igualmente, tiene una estructura ramificada y de menor cristalinidad, debido a que las ramificaciones en la cadena principal no facilitan la cristalización ni el acomodo compacto de las cadenas, por ello, es menos denso en comparación con el PEAD (Alonso y Méndez, 2010).

3.1.2.1 Propiedades

Las principales características del PEBD son la alta tenacidad, la resistencia al impacto a baja temperatura, la resistencia a los productos químicos y al esfuerzo de

fluencia, además, al ser termoplástico, se le atribuyen excelentes propiedades de fluidez, flexibilidad y transparencia (Husseinsyah, 2013).

Figura 49

Propiedades físicas y químicas principales del PEBD

Physical properties	G811
Tensile strength at Break	11.8 MPa
Elongation	600%
Stiffness	180 MPa
Melting point	106°C

Nota. Tomado de Properties of low-density polyethylene/palm kernel shell composites: Effect of polyethylene co-acrylic acid, por Husseinsyah, 2013, Journal of Thermoplastic Composite Materials, 26(1)

3.1.2.2 Aplicaciones en la industria

La naturaleza inerte del PEBD, su bajo costo y las propiedades mecánicas han logrado que este polímero sea fundamental en aplicaciones para empaques (Guzmán y Murillo, 2014), lo que incluye la elaboración de bolsas, sacos, costales, botellas de envases, varios semiflexibles, laminaciones, tipos de películas y recubrimientos (Bernardi, 2004).

Por otro lado, en la industria eléctrica, este polímero es utilizado como aislante para cables, así como para películas de invernadero y empaques varios en la agricultura. En la industria constructiva, se usa en la elaboración de tuberías “poliducto” (Bernardi, 2004), en geomembranas para protección de taludes y en la construcción de pavimentos.

3.1.3 Polietileno de alta densidad

El PEAD es uno de los polímeros más consumidos a nivel mundial, debido a su uso principal como materia prima en diferentes productos plásticos y al bajo costo determinado por sus buenas propiedades mecánicas y químicas (Giraldo et al., 2018).

Este tipo de polímero tiene una estructura lineal, puesto que es derivado del petróleo y se obtiene de la polimerización de etileno en unidades repetidas (Murcia et al., 2021), de igual forma, consta de ramificaciones mínimas en su cadena de polímero (Figura 48), por lo que las cadenas moleculares del revestimiento se juntan regularmente durante la cristalización (Abeysinghe et al., 2021).

Además, tiene una cristalinidad relativamente alta, debido a la facilidad de las cadenas de plegarse unas con otras sin ningún impedimento (Alonso y Méndez, 2010).

3.1.3.1 Propiedades

Según Pérez (2015), el PEAD es un polímero que se caracteriza por lo siguiente:

- Excelente resistencia térmica y química.
- Muy buena resistencia al impacto.
- Es sólido, incoloro, translúcido, casi opaco.
- Buena procesabilidad, es decir, se puede procesar por los métodos de conformado empleados para los termoplásticos, como inyección y extrusión.
- Es flexible, aún a bajas temperaturas.
- Es tenaz y ligero.
- Es más rígido que el PEBD.
- Presenta dificultades para imprimir, pintar o pegar sobre él.
- Su densidad se encuentra en el entorno de 0.940 - 0.970 g/cm³.
- No es atacado por los ácidos, es resistente al agua a 100 °C y a la mayoría de los disolventes ordinarios.

Los propiedades principales del PEAD se sintetizan en la Figura 50, lo que fue propuesto por Wang y Yang (2010) .

Figura 50

Propiedades mecánicas principales del PEAD

Parameter	Value
Density	0.954 g/cm ³
Elastic modulus (short-term:1 min)	1.0 × 10 ³ MPa
Ultimate tensile strength	26 MPa
Breaking elongation	750%
Brittle temperature	≤-94°F (-70°C)
Working temperature	-112°F (-80°C) ~ 212°F (100°C)
Thermal conductivity	0.29 kcal/m·hr°C
Service life	>50 years

Note: 1 g/cm³ = 62.4 lb/ft³; 1 MPa = 145 psi.

Nota. Tomado Experimental Study on Mechanical Properties of Concrete Confined with Plastic Pipe, por J. Wang y Q. Yang, 2010, ACI Materials Journal

3.1.3.2 Aplicaciones en la industria

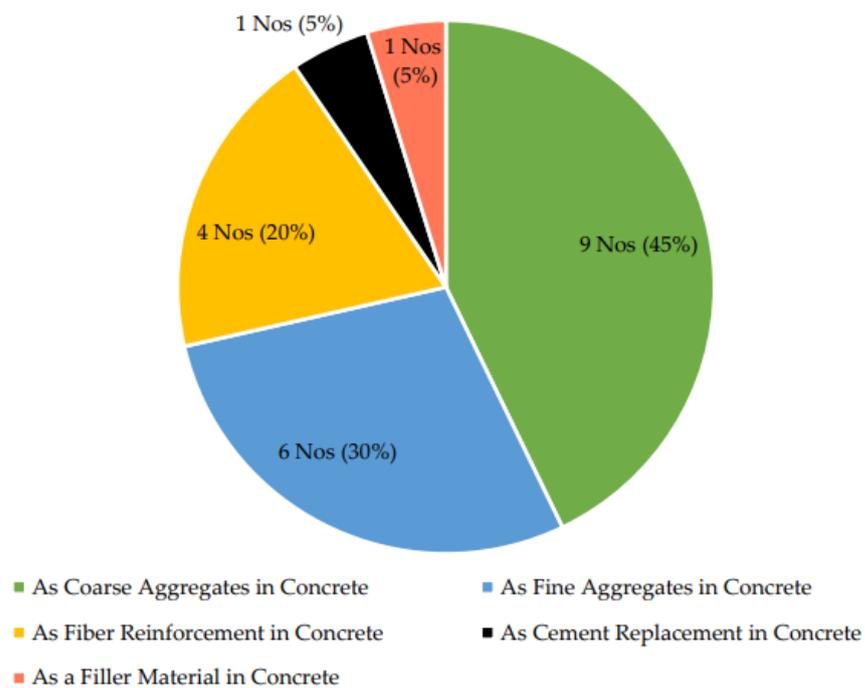
En su estudio, Pérez (2015) señaló las aplicaciones principales del PEAD en la industria:

- Tuberías para distribución de agua potable.
- Envases de alimentos, detergentes y otros productos químicos.
- Artículos para el hogar y juguetes.
- Acetábulos de prótesis femorales de caderas.
- Dispositivos protectores (cascos, rodilleras, coderas, etc.).
- Impermeabilización de terrenos (vertederos, piscinas, estanques y pilas dinámicas en la gran minería).
- Empaques para partes automotrices.
- Charolas termoformadas.
- Tarimas.

Por su parte, Abeysinghe *et al.* (2021) plantearon que el PEAD es el tercer tipo de plástico más utilizado en la construcción, precedido por el polietileno (PE) y el PET. Asimismo, existen pocos estudios sobre la incorporación del PEAD como elemento para elaborar hormigón o como material de construcción (Figura 51).

Figura 51

Aplicaciones experimentales del PEAD como material para uso constructivo



Nota. Tomado de Engineering Performance of Concrete Incorporated with Recycled High-Density Polyethylene (HDPE), por Abeysinghe et al., 2021, A Systematic Review

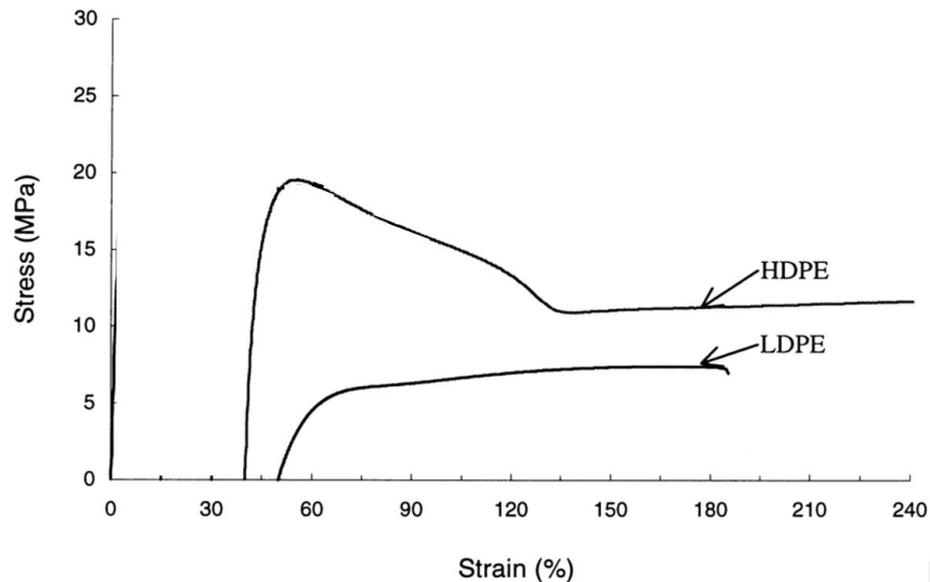
3.1.4 Comportamiento curva esfuerzo-deformación

En la Figura 52, se aprecia el comportamiento constitutivo “esfuerzo y deformación” para los polietilenos de alta y baja densidad.

En el caso del polietileno de alta densidad, se evidencia que, al superar el esfuerzo de fluencia, las cadenas se reorganizan para quedar orientadas en dirección del esfuerzo. A medida que las cadenas se rompen el área de acción de la fuerza es menor, por lo que el esfuerzo aumenta significativamente hasta encontrar la ruptura a un esfuerzo mayor al de fluencia. (Cantor, 2018)

Figura 52

Curva esfuerzo deformación del PEAD y el PEBD



Nota. Adaptado de Impact behaviour of polypropylene/polyethylene blends, por M Tai et al., 2000, Polymer Testing, 19(2)

3.1.5 Uso en la construcción civil

Guerrero y Sánchez (2020) destacaron distintas investigaciones experimentales sobre el uso del polietileno como material parte de la composición de elementos estructurales convencionales; estos estudios se describen a continuación.

- “Análisis del concreto con polietileno expandido como aditivo para aligerar elementos estructurales” por Rivera (2015), donde se estudiaron las fallas de los cilindros por deficiencia en la mezcla por los materiales y la disminución de la resistencia al aumentar la adición de porcentaje de polietileno expandido.
- “Elaboración de bloques en cemento reutilizado el plástico PET como alternativa sostenible para la construcción” por Meza *et al.* (2016), donde se halló que los bloques fabricados no cumplieron con la resistencia mínima de la norma técnica de Colombia (menor a 5 Mpa), sin embargo, los porcentajes de absorción obtenidos para mampostería fueron satisfactorios (12-15%).

- “Uso de material reciclado de PET como agregado fino para mezclas de concreto para la elaboración de adoquines” por Estrada (2017), donde se estudió la mezcla de concreto con PET, así, a partir de la norma, se resaltaron las propiedades para aumentar o mantener los parámetros requeridos de los adoquines de concreto sin esta adicción. Por otro lado, se exploró la evaluación mecánica del concreto de adición de polietileno reticulado reutilizado reemplazando a un 2% el agregado grueso, lo que presenta mejor comportamiento mecánico en los ensayos de compresión, flexión y módulo de elasticidad, con una ligera disminución de peso comparado con el convencional.
- “Análisis técnico, económico y medioambiental de la fabricación de bloques de hormigón con polietileno tereftalato reciclado” por Infante y Valderrama (2019), donde se indagaron probetas de hormigón con un 10% de reemplazo PET en agregado fino, con propiedades mecánicas acorde con la normativa chilena para bloques no estructurales; económicamente es altamente competitivo. Por último, la huella de carbono en las diferentes etapas de su ciclo de vida presenta una disminución en la etapa de extracción de materias primas.

3.2 Caliza

3.2.1 Conceptos generales

De acuerdo con Guerrero (2001), la caliza se define del siguiente modo:

Una roca compuesta por lo menos del 50% de carbonato de calcio (CaCO_3), con porcentajes variables de impurezas. En su interpretación más amplia, el término incluye cualquier material calcáreo que contenga carbonato de calcio, tales como mármol, creta, travertino, coral y marga. Sin embargo, se puede considerar que la caliza es una roca calcárea estratificada compuesta principalmente de mineral calcita.

Por otro lado, León *et al.* (2011) plantearon lo expuesto a continuación:

Las calizas son rocas originadas por un proceso de sedimentación directa, siendo la más común la fijación del carbonato cálcico (habitualmente en forma de aragonito) en las conchas o esqueletos de determinados organismos, ya sean macroscópicos (lamelibranquios, braquiópodos y gasterópodos), o microscópicos (foraminíferos). Al morir, estos esqueletos y conchas se acumulan, creándose un sedimento carbonatado.

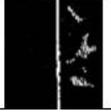
Este mineral ha sido empleado a lo largo de la historia, debido a que representa uno de los minerales más comunes en la tierra, así, se calcula que alrededor del 10% de la superficie terrestre está compuesta por caliza o rocas de similar composición (Otero, 2011).

3.2.2 Clasificación

La subdivisión de las calizas se puede realizar de acuerdo con los criterios propuestos por Folk (1959), quien planteó un sistema de clasificación de calizas según la abundancia volumétrica de los tipos texturales y constituyentes principales, como se observa en la Figura 53 (Zemanate y Zapata, 2015).

Figura 53

Clasificación textural de la piedra caliza, propuesta por Folk en el año 1959

	Más de 2/3 partes con matriz de micrita					Más de 2/3 partes con esparita		
Aloquímicos %	0–1 %	1–10%	10–50%	Más de 50%	Similar en micrita y esparita	Escogimiento pobre	Escogimiento bueno	Redondeado y retrabajado
Términos de rocas	Micrita y Dismicrita	Micrita fosilífera	Biomícrita esparcida	Biomícrita agrupada	Bioesparita mal lavada	Bioesparita no escogida	Bioesparita escogida	Bioesparita redondeada
								
Terminología	Micrita Dismicrita	Micrita fosilífera	Biomícrita		Bioesparita			
Análogos terrígenos	Lucita o Arcillita		Arcillita arenosa	Arenisca inmadura o arcillosa		Arenisca submadura	Arenisca madura	Arenisca supermadura

Nota. Tomado de Estudio de las características de rocas calcáreas típicas utilizadas para la producción de cales en el municipio de Vijes, Zemanate y Zapata, 2015, (<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/15592/0529122.pdf?sequence=1&isAllowed=y>)

Al definir una caliza con la clasificación de Folk, la roca se nombra en función de la naturaleza del material que rellena los espacios entre las partículas, con un prefijo formado que corresponde con los principales aloquímicos presentes (Zemanate y Zapata, 2015).

3.2.3 Usos

Las rocas calcáreas, al ser piedras en estado bruto, no se utilizan directamente a nivel industrial, por lo tanto, sus principales derivados, como la cal y el carbonato de calcio (Zemanate y Zapata, 2015), pueden ser empleados en las diferentes

industrias, tales como en la construcción, la fundición, la producción química, agroquímicos y vidrios (Figura 55).

Figura 54

Usos generales de los derivados de la caliza en las diferentes industrias

CALCIO			
METALURGIA			
Industria del acero	Fabricación de magnesio y alúmina	Flotado de metales	Fundición de metales no ferrosos
CONSTRUCCIÓN			
Materiales de construcción		Estabilización de suelos y carreteras	
PULPA Y PAPEL			
PRODUCTOS QUIMICOS			
MEDIO AMBIENTE			
Tratamiento de agua	Tratamiento de aguas de desecho	Tratamiento de desechos industriales	Tratamiento en plantas empacadoras de alimentos
Eliminación de azufre de los gases de combustión		Neutralizador de tierras ácidas	
PRODUCTOS DE CERAMICA			
Vidrios		Refractarios	
RECUBRIMIENTOS PROTECTORES			
Pigmentos	Pinturas de agua	Barnices	
ALIMENTOS Y PRODUCTOS ALIMENTICIOS DERIVADOS			
Industria lechera	Industria azucarera	Industria panificadora	Almacenaje de frutas y legumbres
Desinfectante		Industrias de gelatina y goma animal	
CARBONATO DE CALCIO			
Farmacéutica	Cosméticos y artículos de aseo	Cosméticos y artículos de aseo	Alimentos
Papel	Pintura	Plástico	Hule
Tratamiento de desechos		Remoción y lavado de dióxido de azufre	

Nota. Tomado de Caliza, por Coordinación General de Minería, 2013, (https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_caliza_1013.pdf)

3.2.4 Derivados

De acuerdo con Geovanna y Kira (2017), la caliza puede procesarse y alterarse químicamente para derivar los siguientes materiales.

Cal: para la obtención de la cal, las rocas calcáreas deben ser calentadas en hornos hasta 903° C, con lo que se obtiene la denominada “cal viva” (Cao). Luego de haber pasado por este proceso, debe ser enfriada con agua y mezclada con arena para lograr la obtención de cal.

Cal viva: esta se obtiene al calcinar la piedra caliza, a partir de la transformación de óxido a hidróxido.

Cal hidratada: este tipo de cal se conoce como hidróxido de calcio y es obtenida mediante la combinación del calcio con dos tipos de hidróxidos que al combinarse con el agua, se transforman en hidróxido de calcio.

Cal hidráulica: se compone por hidróxido de calcio, sílice y alúmina, por lo que es capaz de endurecerse en cualquier espacio.

Carbonato de calcio: se encuentra en formas diversas como en la cáscara de huevo, las conchas de mar, las perlas, los corales y el mármol, y está compuesto químicamente en CO₂ (44%) y CO (56%).

3.3 Productos de acabados

Los acabados constituyen la última etapa del proceso constructivo y es la que identificará la calidad de los espacios, por tanto, se debe tener gran responsabilidad en cuanto a este proceso, debido a que tendrá un papel relevante en la presentación y entrega final del proyecto.

Estos están constituidos por aquellos elementos constructivos que se realizan para proporcionar la terminación de la edificación, proporcionándole satisfacción en cuanto a la comodidad y apariencia visual, así como protección a las mismas partes constructivas de la edificación. (Galvis, 2009)

En este sentido, los acabados pueden clasificarse de la siguiente manera (Figura 55):

Figura 55

Clasificación de los acabados según sus espacios y funciones



Nota. Tomado de Manual de acabados, por Galvis, (<https://repositorio.ucp.edu.co/bitstream/10785/6516/1/CDPEARQ135.pdf>)

En la fase de acabados se encuentran diferentes texturas y diseños de enchapes, carpinterías, aparatos sanitarios, cubiertas [...] que se utilizan con el fin de proporcionar un nivel adecuado de habitabilidad (Galvis, 2009).

3.3.1 Producción de elementos

Según Besednjak (2015), cuando se trabaja con materiales compuestos, la etapa del diseño del molde adquiere una relevancia especial por la eficiencia de la producción, de lo que dependen los costes de fabricación, por lo tanto, el éxito o fracaso del producto dependerá de un acertado diseño del molde. La experiencia del diseñador de la pieza en el campo constructivo es fundamental, puesto que condiciona la realización del producto, al destinar su diseño a un proceso determinado de fabricación (A. Besednjak, 2015).

En cuanto el método de fabricación de los moldes, estos pueden ser hechos artesanalmente en máquinas semi-manuales, en moldes que pueden ser de madera, metal o del mismo concreto; cabe añadir que existen los fabricados en máquinas automáticas, los que se han posicionado en el mercado de la construcción ecuatoriana (Cabezas, 2014).

El diseño de moldes es una tarea sumamente especializada y que corresponde llevarse a cabo por expertos, que suelen ser los modelistas y los constructores. Para su realización suelen utilizar una terminología y metodología específica de trabajo. Esto supone acciones muy variadas a realizar durante esta etapa y que podríamos resumir en:

- Selección del material del molde
- Espesores de molde recomendados
- Consideraciones sobre pliegues y cantos de molde
- Simetría del laminado en moldes de materiales compuestos
- Gradiente de desmoldeo
- Consideraciones sobre grandes superficies planas
- Rigidización del molde
- Color de los moldes
- Particiones de moldes
- Mecanismo de desmolde. (Besednjak, 2015)

3.3.2 Adoquines

Los adoquines son elementos macizos de concreto o arcilla, prefabricados, con paredes verticales, ajustados unos contra otros, para formar una superficie completa, por ello, funcionan como capa de rodadura o superficie para los pavimentos que llevan su nombre (Buzón, 2010).

Figura 56

Adoquines de concreto estandarizados de forma rectangular

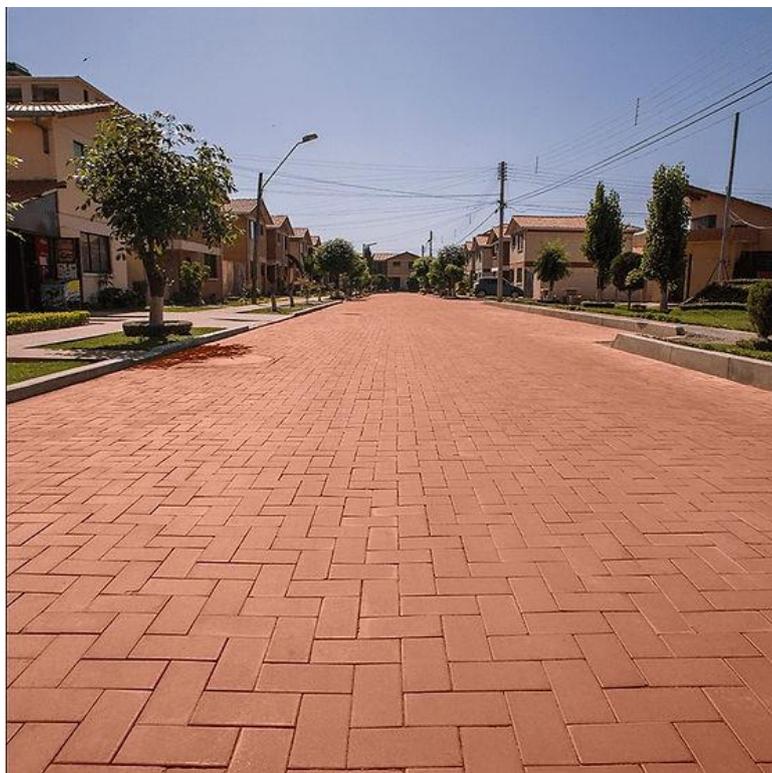


Nota. Adaptado por Terraceramic, 2023,
(<https://www.terraceramics.com.ec/pisos/pisos-prefabricados-de-concreto/adoquines-de-concreto-10x20-ornamentales/>)

En el mercado local, se encuentran los adoquines hechos a base de arcilla, así, según la especificación técnica de instalación de adoquines emitida por la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2019), son ladrillos de arcilla cocida utilizados como material de acabado para la elaboración de pisos articulados destinados a soportar tráfico peatonal y vehicular; cabe agregar que se fabrican de arcilla, esquisto o sustancias terrosas naturales sometidas a tratamiento térmico a temperaturas elevadas.

Figura 57

Pavimento articulado de adoquines de arcilla



Nota. Tomado de Expoarcilla (2021), (<https://en.exporarcillas.com/post/los-adoquines-en-arcilla>)

La cocción de la arcilla varía en función del tipo de materia prima, no obstante, se requieren temperaturas en un rango de 1000°C a 1300°C para ser trabajada como elemento de acabado. Durante la cocción, es preciso desarrollar suficiente cohesión entre las partículas constituyentes, para cumplir los requisitos de durabilidad y resistencia.

Para Espinoza (2009), las principales características individuales en cada adoquín que proporciona la arcilla cocida son las siguientes:

- Dimensiones consistentes.
- El color es permanente de por vida.
- Alta resistencia y durabilidad.

Figura 58

Adoquín de arcilla cocida color amber



Nota. Tomado de Alfadomus (2020),

(<https://www.alfadomus.com/assets/products/ad/004.php>)

3.3.2.1 Clasificación

En el mercado local, existen varios tipos de adoquines, los que se clasifican del siguiente modo de acuerdo con el Instituto Ecuatoriano de Normalización:

- **Adoquines tipo A:** Adoquines dentados que se unen entre sí por los cuatro lados, pueden colocarse en esterilla, y, por su geometría plana, al unirse, resisten la expansión de las juntas paralelamente, tanto en los ejes longitudinales como en los transversales de las unidades.
- **Adoquines tipo B:** Adoquines dentados que se unen con el otro solamente en dos de sus lados, que no pueden colocarse en esterilla y que, por su geometría plana, al unirse, resisten la expansión de las juntas paralelamente solo en los ejes longitudinales de los adoquines; dependen de su precisión en su colocación para que se unan con las otras caras.
- **Adoquines tipo C:** Adoquines rectangulares de perfil sencillo que no se unen y que dependen de su precisión dimensional y de la precisión en su colocación para desarrollar el punteo. (NTE INEN 1483, 1987) De conformidad con Cabezas (2014), se pueden clasificar en función de su elaboración:

- **Adoquines monocapa:** están elaborados de una sola capa de concreto, esta puede estar coloreada o tener simplemente el color del material. Este tipo de adoquines son fabricados con el método manual y semi-manual, y son los más comunes en nuestro país.
- **Adoquines bicapa:** se elaboran con dos capas de concreto de características diferentes, una de ellas es llamada capa base, esta es elaborada de concreto sin pigmentos. La otra capa será la cara vista del adoquín, está fabricada de mortero rico en cemento y pigmentos. La calidad de este tipo de adoquines debe asegurar que durante su uso o ensayo a flexión no exista separación total o parcial de las capas.

Finalmente, la Normativa Ecuatoriana INEN 1488 clasifica los adoquines según su uso normalizado:

Figura 59

Clasificación de tránsito y tipo de adoquines

Tipo de uso	No. de vehículos por día mayores de 3t brutas	Equivalente total de repeticiones de eje estándar después de 20 años de servicio	Forma recomendada de adoquín	Resistencia característica (MPa) compresión a los 28 días
Peatonal	0	0	A,B,C	(20)
Estacionamiento y calles residenciales	0-150	$0-4,5 \times 10^5$	A,B,C	(30)
Caminos secundarios y calles y principales	150- 1500	$4,5 \times 10^5 -4,5 \times 10^6$	A	(40)

Nota. Tomado de *NTE INEN 1488: Adoquines, requisitos*, por INEN, 1987, <https://archive.org/details/ec.nte.1488.1987/page/n1/mode/1up>

3.3.2.2 Características generales

La Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 3040 (2016) estableció lo siguiente:

Los adoquines pueden ser monocapa, con un solo tipo de hormigón, o doble capa, con diferentes tipos de hormigón en su capa superficial y de apoyo.

Una arista puede considerarse biselada; cuando sus proyecciones verticales u horizontales no superen los 2 mm y los adoquines pueden ser fabricados con perfiles funcionales, pero estos no deben ser incluidos en las dimensiones nominales del adoquín.

La superficie de los adoquines puede ser texturizada, ser sometida a un tratamiento secundario o ser tratada químicamente; estos acabados o tratamientos deben ser declarados y descritos por el fabricante

Por su parte, Buzón (2010) señaló que, en un adoquín, se distinguen los siguientes elementos:

- Superficie de desgaste sobre la cuál circula el tránsito y define la forma del adoquín.
- Cara inferior, va apoyada a la capa de arena.
- Caras laterales, curvas o rectas pero verticales que conforman el volumen y determinan el espesor.
- Aristas o bordes. Lugar donde conectan las caras superiores e inferiores con las laterales.
- El bisel es un chaflán o plano inclinado en las aristas que se hace o no en la fabricación, no es indispensable, pero mejora la apariencia, facilita su manejo y contribuye al llenado de la junta.
- El espesor es de 6 cm para peatones y vehicular liviano; 8 cm para tránsito medio y pesado (Incluso aeropuertos) y 10 cm para tránsitos muy pesados (Patios de carga de puertos).
- Si se tiene un espesor menor a 6 cm se considera una baldosa sobre mortero.

Figura 60

Espesor de adoquín convencional de 6 cm



Fuente: Elaboración propia

Figura 61

Adoquín convencional de 20 cm de largo y 10 cm de ancho



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.3 Normas de calidad

Es pertinente asegurar un funcionamiento correcto de los adoquines, con un buen rendimiento, para que sean durables en el tiempo, para ello, deben cumplir con ciertas características revisadas y controladas antes de la colocación del material en obra. La NTE INEN 3040 reconoce propiedades físicas, mecánicas y aspectos visuales a revisar, como los siguientes:

3.3.2.4 Propiedades físicas y mecánicas

Resistencia climática por absorción total de agua

Los adoquines deben cumplir con un índice de absorción inferior o igual al 6 %.

Resistencia a la rotura por tracción indirecta

La resistencia característica a la tracción indirecta (T) debe ser superior o igual a 3,6 MPa.

Resistencia al desgaste por abrasión

El requisito para la resistencia al desgaste por abrasión es que la longitud de cuerda de la huella creada por la rueda ancha sea menor o igual a 25 mm.

Resistencia al deslizamiento/resbalamiento

Los adoquines de hormigón tienen una resistencia satisfactoria al deslizamiento/resbalamiento siempre y cuando la totalidad de su cara vista no haya sido pulida para producir una superficie lisa.

3.3.2.5 Aspectos Visuales

Apariencia

La cara vista de los adoquines no debe tener defectos como fisuras o descamaciones, de este modo, en el caso de los adoquines de doble capa, no debe existir delaminación, es decir, separación, entre las dos capas.

Textura

En el caso de adoquines fabricados con una textura superficial especial, esta debe ser descrita por el fabricante. En este sentido, las variaciones en la consistencia de la textura de los adoquines pueden ser generadas por variaciones inevitables de las propiedades de las materias primas y en el proceso de curado, pese a ello, no se consideran significativas.

Color

Según el criterio del fabricante, puede colorearse la capa superficial o toda la unidad, asimismo, debe establecerse la conformidad siempre que no haya diferencias significativas en el color, respecto con cualquier muestra facilitada por el fabricante y aprobada por el comprador.

3.3.3 Baldosas

Productos obtenidos a partir de arcillas naturales y otros componentes minerales, a veces con aditivos de diferente naturaleza, que tras un proceso de modelado, se someten a varios tratamientos, para desembocar en uno o varios procesos de cocción que confieren el estado final y, en consecuencia, las propiedades técnicas y estéticas. (Proalso, 2007)

Figura 62

Gres cerámico en pavimentos exteriores

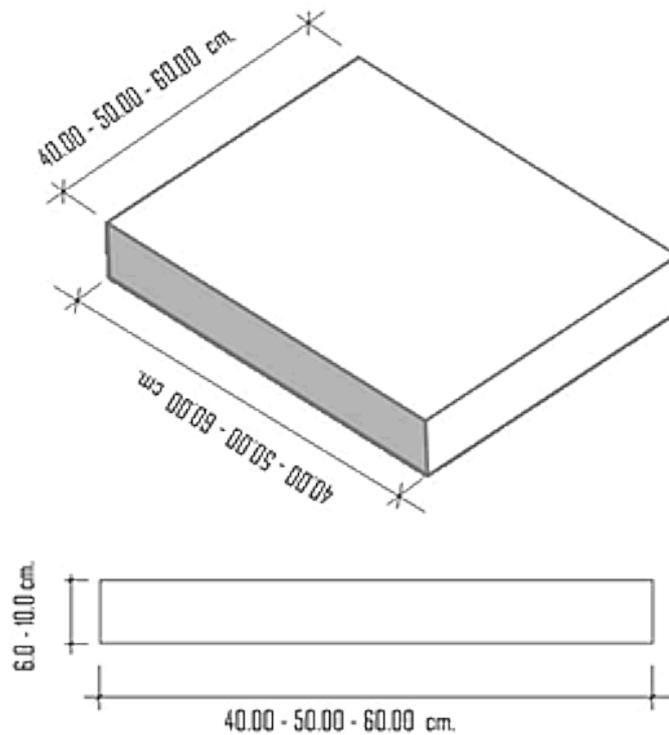


Nota. Adaptado por KUBIEC, 2020, (<https://kubiec.com/baldosas-baldosines/>)

Las baldosas son utilizadas fundamentalmente para la ejecución de pavimentos, de mayores dimensiones que los adoquines, que satisface las siguientes condiciones; su longitud total no suele exceder de 1 metro y su longitud dividida por su espesor es mayor a 4. Generalmente tienen formato cuadrado o rectangular, siendo las dimensiones más comunes entre 200x200 y 600x600 mm. (Andece, 2018)

Figura 63

Dimensiones comunes en el mercado local de baldosas para pisos



Nota. Tomado de Especificaciones técnicas baldosas y mosaicos de hormigón, Preconal, 2010, <http://www.preconalbolivia.com/1/baldosas-mosaicos-detalles.html>

De acuerdo con Enrique (2019), cualquier baldosa cerámica está relacionada con la satisfacción del cliente y la aptitud al uso de los materiales, de esta forma, existen tres grupos de características:

- **Características perceptibles previas al uso:** este grupo implica el aspecto de la baldosa cerámica (forma y tamaño), su apariencia (color, brillo y estética), diseño en general y su textura superficial (rugosidad, fricción, etc.). Estas características son las que observa el consumidor en el momento de la compra y son las que le definen, subjetiva y cualitativamente, la calidad de la baldosa cerámica, por lo que son decisivas en la compra.
- **Características relacionadas con la colocación y el almacenamiento:** están ligadas con la mayor o menor facilidad de colocación de las baldosas cerámicas y transporte antes de la colocación;

son características decisivas si el comprador directo es el almacenista, constructor o solador.

- **Características de uso:** los defectos de las baldosas cerámicas no son la causa más importante de las reclamaciones de estos productos cerámicos, las que se sustenta en la falta de adecuación de la baldosa cerámica para un uso concreto y en los defectos de colocación (Enrique, 2019).

Las baldosas se fabrican normalmente bicapa, individualmente por compresión o moldeadas como grandes placas, antes de cortarlas al tamaño especificado. En términos generales, no dejan a la vista los áridos, por lo que presentan acabados de prensa en su cara vista (Andece, 2018). En este sentido, el fabricante aplica controles rigurosos a estos elementos para garantizar las características finales del producto, según Abad (2013):

- **NTE INEN 644:** brinda los conceptos generales y las definiciones clave que aportan un marco de referencia a ser aplicado en los diferentes tipos de baldosas del mercado.
- **NTE INEN 654:** parámetros para la completa regulación y aprobación de un lote de baldosas.
- **NTE INEN 650:** establece los métodos para determinar las dimensiones y la calidad superficial de las baldosas cerámicas.
- **NTE INEN 651:** plantea los métodos de ensayo para determinar la absorción de agua, la porosidad aparente, la densidad relativa aparente y la densidad total en las baldosas cerámicas.
- **NTE INEN 652:** establece el método de ensayo para determinar el módulo de rotura y la resistencia a la rotura de todas las baldosas cerámicas.
- **NTE INEN 2195:** señala el método de ensayo para el coeficiente de fricción de la superficie propiamente dicha de las baldosas cerámicas esmaltadas y no esmaltadas usadas para el revestimiento de pisos.
- **NTE INEN 2191:** establece el método de ensayo para determinar el coeficiente de dilatación térmica lineal de las baldosas cerámicas.
- **NTE INEN 2199:** determina las pequeñas diferencias de color.
- **NTE INEN 2188:** determina la resistencia al impacto.

- **NTE INEN 648:** describe el método de ensayo para determinar la resistencia de las baldosas cerámicas a los agentes químicos, a temperatura ambiente.

3.3.4 Tejas Planas

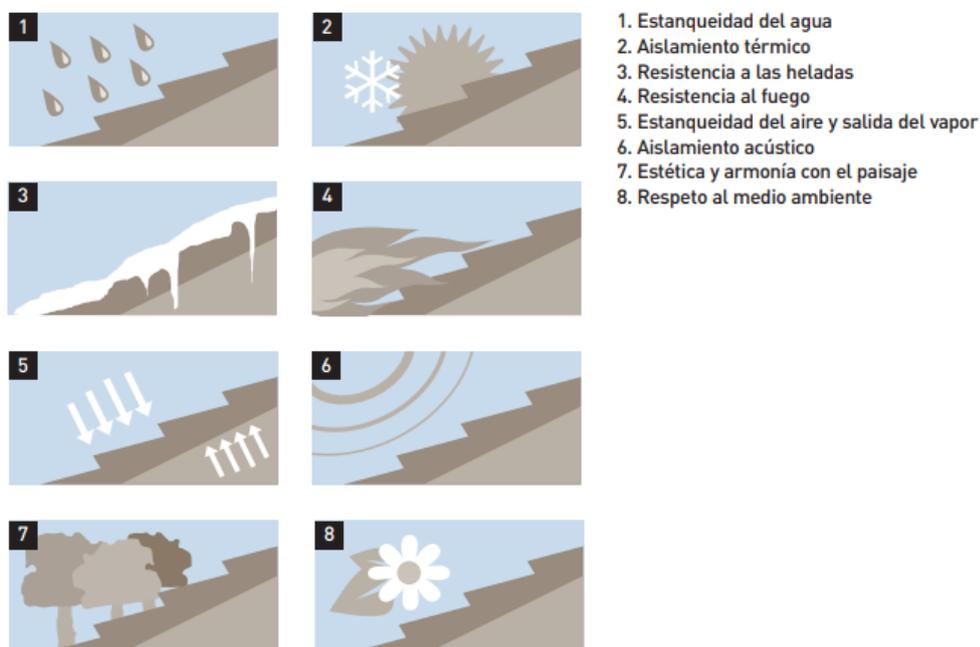
La teja de barro es una pieza usada para cubrir exteriormente los techos y no permitir la entrada de agua de lluvia a un espacio, dejándola escurrir. Las tejas son delgadas placas (planas o curvas) de tierra arcillosa mezcladas habitualmente con arena, que se endurecen por cocción. (Núñez, 2019, p. 6)

Por su parte, García (2019) expuso las funciones de este elemento:

La función básica de la teja es proporcionar estanqueidad frente a la climatología externa, cubriendo los edificios, escurriendo el agua de lluvia, aislándolos térmica y acústicamente y haciéndolos resistentes a las heladas, al fuego y al aire, permitiendo al mismo tiempo la ventilación del interior. La agrupación y composición de varias tejas, constituye el tejado, que debe proteger la construcción y lo que alberga. (p. 22)

Figura 64

Funciones y ventajas del uso de tejas



Nota. Adaptado Manual técnico de instalación de tejas tradicionales, por La Escandella, 2017, (https://www.laescandella.com/wp-content/uploads/2021/12/Manual_ES.pdf)

Las tejas planas de arcilla, realizadas con forma rectangular o en escama junto con las curvas, han sido tradicionalmente construidas para la elaboración de cubiertas, en tal marco, su funcionalidad depende de la zona y las características climatológicas (García, 2019).

Figura 65

Tejas planas de arcilla



Nota. Tomado de Arquitectura y soluciones constructivas, por Tectónica, 2022, (<https://tectonica.archi/>)

La teja está compuesta de tierra, la que contiene de un 70 % a 80% de arcillas y de un 20 a 30% de arena (Calvo, *et al.*, 1997). De este modo, la materia prima utilizada para la producción de tejas es la arcilla, pues es un material compuesto de sílice, alúmina, agua y cantidades menores variables de óxidos de hierro y otros materiales alcalinos, los que forman silicatos (García, 2019).

Así, el principal tipo de teja es la de barro, no obstante, con el paso del tiempo y el desarrollo de nuevas tecnologías y técnicas, se han creado otros tipos de elementos, como señaló García (2019):

- **Tejas de metal:** estas piezas son muy utilizadas en países donde hay muchas tormentas ya que son muy resistentes a fuertes lluvias y granizo.
- **Tejas coloniales:** este tipo de tejas son muy brillantes y distinguidas. Pueden ser colocadas una sobre la otra de manera impecable.
- **Tejas de Portugal:** este es un estilo de teja tradicional que brindan finura y distinción a los techos en los que se los coloca.

- **Teja de Vidrio:** es utilizada como un lugar por el cual puede entrar luz en algunos ambientes como talleres o galerías. Puede ser sumada a otra clase de tejas de techo. Son muy pesadas, mínimo cuarenta kilos por metro cuadrado.
- **Tejas de cobre:** gracias a la aplicación de ciertos productos, o mismo con el correr del tiempo, adquieren colores distintos, como diversos tonos de marrón, rosa, verde.
- **Tejas asfálticas:** una de las ventajas que presenta este tipo de piezas es la facilidad con la que pueden ser colocadas sobre muchos tipos de superficie.
- **Tejas de hormigón:** este tipo de tejas son muy resistentes ante los golpes y flexiones.

Figura 66

Clasificación de tejas para cubiertas según la materialidad



Nota. Adaptado *Manual técnico de instalación de tejas tradicionales*, por La Escandella, 2017, (https://www.laescandella.com/wp-content/uploads/2021/12/Manual_ES.pdf)

Para la fabricación de la teja primero se selecciona tierra, luego se reduce el tamaño del grano y se tamiza. Esta materia prima se mezcla con agua y se deja reposar por 1 día, para posteriormente ser amasada con los pies desnudos hasta obtener la consistencia deseada. La masa conseguida se traslada al banco de trabajo se coloca sobre el molde de la teja, se quita la arcilla sobrante y se traslada al galápago dando la forma curva de la teja, para después dejar secar

al sol durante 8 días. Una vez secas, se transportan al horno para la cocción de la materia prima. Finalmente se extraen y se almacenan. (Urdangarín e Izaga, 2011)

Respecto con el montaje de un tejado, Guerra y Jaramillo (2015) señalaron lo siguiente:

Las tejas generalmente se asientan sobre vigas de madera de tal manera que el techo forme un ángulo aproximado de 20°. Las tejas son traslapadas entre ellas y unidas con algún tipo de mortero que puede ser de barro o cemento. (p. 9)

Si bien es cierto que la función principal de las tejas es crear una cubierta a las estructuras, la versatilidad de la teja es tal que ha sido implementada con otras finalidades, como indicó García (2019):

- Formando cañerías de desagüe para resolver la evacuación de aguas residuales.
- Conducción abierta, como elemento jardinero para riego.
- Cadenas de agua para hacer descender el agua por una conducción.
- Como elemento para delimitar linderos.
- Conducción de aguas lluvias para evitar patologías en los muros.
- Surtidores de agua en manantiales.
- Canaleras de desagües en fachadas.
- En elementos troceados para formar balaustradas.
- Como coronación de un muro, se puede encontrar rematando un muro en forma de hilera o como tejadillo protegiendo un contrafuerte.
- Como elemento de mampostería.

Como elemento constructivo, las tejas deben pasar por una serie de ensayos físicos y mecánicos para cumplir con ciertas características que aseguren su correcto funcionamiento a lo largo de su vida útil, así, las principales pruebas por realizar en laboratorio son las siguientes:

- **INEN 1319:** muestreo y temperatura para ensayos físicos y mecánicos de tejas.
- **ASTM D7263:** esta norma establece el procedimiento para determinar la densidad aparente mediante el uso de agua destilada.
- **INEN 988:** esta normativa enfocada en tejas indica que no es necesario un ensayo a compresión, sino uno a flexión, implementando un soporte para alinear el elemento a una carga puntual en el centro de este.
- **ASTM D4611:** esta norma detalla el procedimiento a seguir para la caracterización térmica de las tejas, relacionada con el calor específico (Guerra y Jaramillo, 2015).

3.3.5 Fachaletas

Son revestimientos de piedras para paredes exteriores, aunque también son usadas en el interior, pueden ser de piedra natural o de fabricación artesanal, en la actualidad son muy comunes en el mercado de la construcción. Su función principal es mejorar el acabado de una edificación debido a la diversidad de colores y texturas [...]. (Yagual, 2021, p. 30)

Figura 67

Fachaletas de tipo piedra natural en su presentación comercial



Nota. Tomado de *Manual de instalación fachaletas de piedra natural*, por Mk, 2021, (<https://contenido.mk.cl/vtex/ManualdeInstalacion/GuiadeInstalacionFachaletas.pdf>)

En su estudio, Yagual (2021) determinó dos tipos de fachaletas que se encuentran en el medio local:

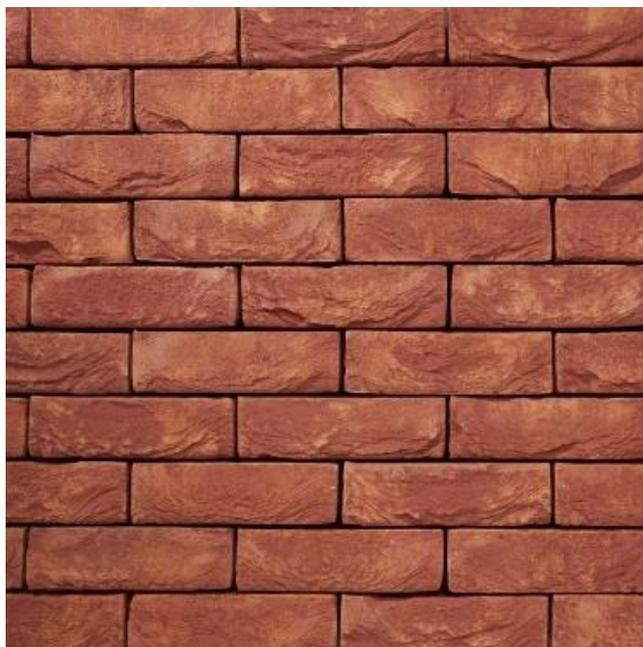
- **Fachaletas naturales:** es la que proviene de la naturaleza sin ser alterada su composición.
- **Fachaletas artificiales: desde sus inicios,** las fachaletas, como revestimiento de piedra natural, han evolucionado, por ello, existen empresas dedicadas al diseño y la fabricación de piezas de fachaletas, con el fin de lograr desarrollar paneles o moldes prefabricados, con lo que se obtiene una piedra artificial con buenas cualidades físicas y estéticas.

Entre los productos más populares, se encuentra las fachaletas de arcilla, de esta forma, DGres (2019) indicó que son cocidas a altas temperaturas, por lo que se vitrifican totalmente, para transferirle al producto final las características de un material natural, sea con acabado rústico o liso (Figura 68).

De acuerdo con KUBIEC (2020), las fachaletas pueden ser destinadas para revestir las paredes hechas de concreto o fibrocemento, además, poseen buenas propiedades tales como: resistencia térmica, baja absorción, aislamiento acústico y fácil mantenimiento.

Figura 68

Fachaleta de arcilla con textura semiplana y rústica



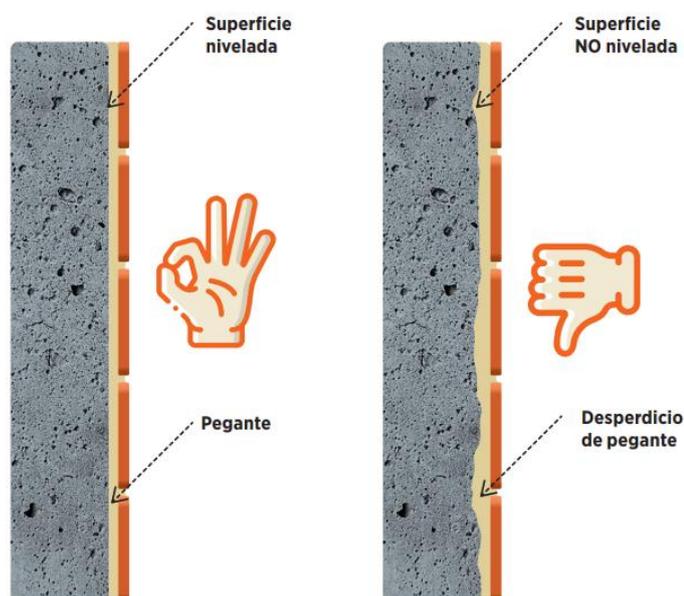
Nota. Tomado de Materiales de construcción, por Belden Brick, 2020, (<https://www.archiexpo.es/prod/belden-brick/product-59298-466660.html>)

La instalación de estos elementos es sencilla y permite realzar el volumen y proporcionar textura a distintos planos.

La instalación se la debe realizar en la última etapa de la obra, esto para evitar golpes, trato inadecuado y procedimientos adicionales de limpieza. En zonas exteriores o expuestas a la intemperie, las superficies con las fachaletas deben estar previamente impermeabilizados. Esta debe ser limpia sin excesos de pegante y en general evitar productos de obra que deterioren o manchen las piezas. La instalación debe ser limpia sin excesos de pegante y en general evitar productos de obra que deterioren o manchen las piezas. (Decorteja, 2015)

Figura 69

Especificaciones de instalación para fachaletas tradicionales



Nota. Tomado de Manual de Instalación – Fachaletas, por Decorteja, 2015, (<https://decorteja.com/wp-content/uploads/manual-de-instalacion-fachaletas.pdf>)

Para asegurar un correcto funcionamiento de los elementos, además de la pertinente instalación, es preciso realizar ensayos de laboratorio para comprobar las características físicas y mecánicas de estos, como planteó Solís (2021):

- **Ensayo de compresión ASTM D695:** las pruebas de compresión proporcionan un método estándar de obtención de datos para investigación y desarrollo, control de calidad, aceptación o rechazo bajo especificaciones y propósitos especiales.
- **Ensayo de inflamabilidad ISO 3795:** para determinar los parámetros de evaluación de los índices de inflamabilidad de cada uno de estos materiales en función de las especificaciones técnicas.
- **Ensayo de dureza INEN ISO 868:** es un método para la determinación de la dureza de penetración de plásticos mediante el durómetro tipo D, para materiales duros.
- **Ensayo de resistencia al impacto ASTM D5628-10:** es utilizado para medir la energía que se requiere para dañar el material por el impacto

de un dardo en caída libre, donde la energía se expresa en términos de peso de un dardo en caída libre.

- **Ensayo de resistencia a la radiación UV:** es empleado para medir la energía que se requiere para dañar el material por el impacto de un dardo en caída libre, igualmente, la energía se expresa en términos de peso de un dardo en caída libre.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA METODOLÓGICA

En la primera fase del estudio, se realizó un levantamiento bibliográfico de estudios sobre hormigones poliméricos con aplicabilidad en la construcción civil, así como un análisis del comportamiento experimental del estado del arte, con ello, se orientó la perspectiva teórica desde la que se abordó la presente investigación, con el fin de encontrar nuevas alternativas de reducción de costos en la construcción sin afectar la calidad.

Para la segunda fase, se definieron los materiales y los polímeros trabajados, donde se experimentó con polímeros de baja densidad, de este modo, la harina de roca calcárea obtenida fue de origen local, de la formación San Eduardo, y fue utilizada para realizar reemplazos en los diseños experimentales. Por otro lado, se efectuaron ensayos de compresión simple en probetas preparadas con hormigón polimérico, para determinar las resistencias y los parámetros aplicables a la dosificación usada; estas serán específicas para prefabricados de posible aplicación en la construcción civil, de acuerdo con la normativa vigente recomendada.

Para la tercera fase, se prepararon elementos constructivos prefabricados, mediante el uso del diseño de hormigón polimérico logrado, con el propósito de lograr la aplicabilidad de estos elementos en la construcción civil. Se priorizó que los moldes fueran los apropiados y se logró la eliminación de rubros constructivos como enlucidos, impermeabilizaciones y los referentes con pintura.

Concluido el análisis observacional y experimental, se procedió a plantear alternativas de aplicabilidad sustentable local con el uso de los resultados encontrados, los que pueden contribuir en el mediano plazo, con la disminución de costos en la construcción civil, a partir de la utilización de estos nuevos elementos formulados

4.1 Tipo de investigación

El estudio utilizó un diseño de investigación experimental, al establecer la relación de causas y efectos de los diseños y las propuestas realizadas, así, mediante la propia elaboración de ensayos de laboratorio, se obtuvieron los resultados para caracterizar el material estudiado; con un enfoque cuantitativo, basado en el análisis

matemático y estadístico de los resultados obtenidos a través de ensayos de laboratorio a un grupo de probetas, se pretendió demostrar la hipótesis planteada.

Las variables dependientes e independientes son respetadas durante el proceso, para un control continuo y directo de las mismas, como las propiedades de los materiales reciclados a emplear, la dosificación del diseño, las propiedades mecánicas y físicas de los productos finales y otras características que definen a los elementos terminados. Igualmente, se consideró el método explicativo para el desarrollo de la investigación, con el fin de definir el motivo de estudio, para, con una relación causal, establecer los resultados definitivos y evaluar la factibilidad de la investigación en un proceso productivo en masa.

Finalmente, durante la investigación, se optó por un diseño descriptivo, para detallar el estado y el comportamiento de las variables y resultados definidos, lo que permite concluir los resultados y definir una línea de tendencia del comportamiento de los productos realizados.

4.2 Metodología del proceso

4.2.1 Obtención de materias primas

El PEBD fue obtenido de una empresa industrial privada encargada de recoger, clasificar y peletizar plásticos reciclados de baja y de alta densidad, los que fueron solicitados en varios colores, predominantemente, el color crema.

Figura 70

Plástico de reciclaje obtenido a partir de PEBD peletizado o prensado en piezas pequeñas



Fuente: Elaboración propia

Figura 71

Plástico de reciclaje obtenido a partir de PEBD peletizado o prensado en piezas pequeñas color crema



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la harina de roca calcárea fue solicitada de una cantera de la formación San Eduardo, así, se categorizó el material usando el pasante del tamiz No. 40 y retenido en el tamiz No. 100.

Figura 72

Harina de roca calcárea de la Cordillera Chongón Colonche, retenida en el tamiz 100 y pasante en el 40



Fuente: Elaboración propia

De igual modo, se realizó un tamizado y lavado del material, con la finalidad de definir partículas de mayores diámetros, donde se implementó el tamiz No.40 y se obtuvo arena de roca caliza, la que sirvió como principal agregado en los diseños.

Figura 73

Secado de la arena calcárea en horno de laboratorio a 110 °C



Fuente: Elaboración propia

Debido a que se realizó un tamizado por lavado, fue obligatorio secar la arena de roca calcárea retenida en el tamiz No.40 y la harina de roca pasante del mismo tamiz, por lo tanto, se ubicaron los recipientes con muestras en el horno del Laboratorio de Suelos y Materiales de la UCSG, y se dejaron secar durante 24 horas a una temperatura constante de 110°C.

4.2.2 Elaboración de probetas de ensayo

Las probetas de ensayo se elaboraron empleando el molde metálico mostrado en la Figura 74, el que posee una forma tubular de 5 cm de diámetro y una altura de 10 cm; el molde está compuesto por perfilería de 3 mm de espesor y un mecanismo de desmolde con seguros.

Figura 74

Molde metálico usado para la elaboración de probetas de ensayos de hormigón polimérico



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, se realizaron varias muestras con dosificaciones diferentes, sin embargo, en todas se utilizó un primer componente como matriz constituida por PEBD, y un segundo compuesto por una mezcla de los agregados.

Figura 75

PEBD junto con los agregados dosificados con granulometría perfecta, para la elaboración de las probetas



Fuente: Elaboración propia

Con lo anterior, se logró una temperatura de 250°C con una fuente de calor para cambiar el estado sólido, derretir del polímero y lograr la trabajabilidad apropiada durante el mezclado con los áridos. Para facilitar este proceso, se calentó el material pétreo, con ello, se aportó calor al polímero de forma homogénea y se redujo el tiempo de elaboración de los elementos prefabricados. Una vez conseguida la textura y la consistencia deseada en la mezcla, se procedió a colocarla en los diferentes moldes. Para compactar los especímenes, se requirió de una prensa hidráulica de laboratorio, de compresión instantánea.

Figura 76

Prensa hidráulica de 2 toneladas de carga aplicada para el proceso de compactación de especímenes



Fuente: Elaboración propia

Para acelerar el proceso de cambio de fase, se empleó agua a 25°C, lo que permitió el desmolde inmediato en 15 segundos, por lo tanto, se obtuvo la resistencia buscada. En tal marco, se ejecutaron varias pruebas con distintos porcentajes de plástico y diversas granulometrías de arena, para la misma harina de roca calcárea, hasta lograr una mezcla homogénea con las características deseadas; el porcentaje de plástico varió entre el 15% y 25%.

Figura 77

Algunos de los especímenes cilíndricos ensayados para la obtención de la dosificación deseada



Fuente: Elaboración propia

El primer grupo de muestras, denominado grupo A, se caracteriza por tener un contenido bajo de plástico, alrededor del 15 % y mayor contenido de áridos, así, en la

Figura 78 se expone la consistencia granular característica en estas pruebas.

Figura 78

Especímenes pertenecientes al Grupo A ensayados a Resistencia a Compresión Simple



Fuente: Elaboración propia

Se realizaron pruebas con un mayor porcentaje de plástico que las elaboradas anteriormente; cabe añadir que este grupo de muestras se denominó Grupo B, con una superficie lisa sin textura aparente. Se puede visualizar el PEBD en las probetas (Figura 79).

Figura 79

Grupo B de muestras ensayadas para determinar la Resistencia a la Compresión Simple



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, luego de variar los porcentajes de los áridos definidos en el primer grupo y reducir el porcentaje de plástico al 21 %, se determinó una mezcla homogénea con las características deseadas, lisa y con importante adherencia entre los agregados. Estas muestras pertenecientes al Grupo C tuvieron la dosificación óptima para proceder a producir algunos elementos prefabricados.

Figura 80

Especímenes que conforman el Grupo C que fueron ensayados a Resistencia a Compresión Simple



Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Ensayos realizados

Se ejecutaron los ensayos pertinentes a los especímenes cilíndricos que conforman el Grupo C, los que poseen la dosificación apropiada para esta primera etapa investigativa.

4.2.3.1 Granulometría

Se realizó el ensayo de granulometría aplicando la norma ASTM C136 para el análisis de agregados finos y gruesos, con el objetivo de determinar el tipo de materiales a implementar en la mezcla y definir la distribución óptima del tamaño de dichos materiales, de este modo, se utilizó agregado con tamaño máximo y mínimo de 1,18mm y 0.07mm, respectivamente.

Tabla 1

Ensayo de Granulometría del agregado calcáreo

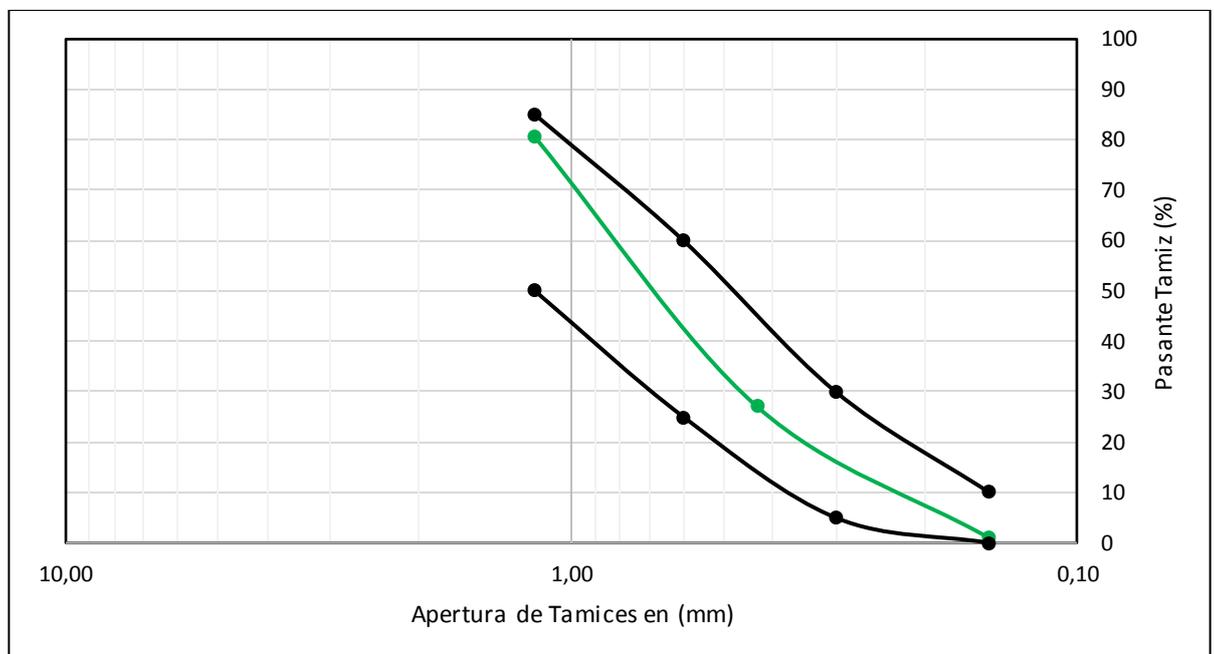
Análisis Granulométrico ASTM C-136					
Tamiz		Peso retenido Parcial (gr)	Retenido Parcial %	Retenido Acumulado %	Pasan te %
ASTM	mm				

No. 16	1,18 0	389,00	19,47	19,47	80,53
No. 40	0,43 0	1067,00	53,40	72,87	27,13
No. 100	0,14 9	523,00	26,18	99,05	0,95
No. 200	0,07 4	16,00	0,80	99,85	0,15
Fondo		3,00	0,15	100,00	0,00
Total		1998,00			

Fuente: Elaboración propia

Figura 81

Curva granulométrica de los agregados calcáreos



Fuente: Elaboración propia

4.2.3.2 Densidades de la muestra

Para el cálculo de las densidades, se pesaron los especímenes cilíndricos, para definir el volumen de cada muestra utilizando una regla de precisión; la relación entre el peso de la muestra y su volumen se denomina “densidad”.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$\rho = \frac{345}{(10(\pi * 2.5^2))}$$

$$\rho = 1.7 \text{ g/cm}^3$$

Figura 82

Peso de espécimen cilíndrico para obtención de densidad real



Fuente: Elaboración propia

4.2.3.3 Ensayo de Resistencia a la Compresión Simple

Para la realización de este ensayo, se tomó como fundamento la normativa ASTM C39, pues esta permite determinar la resistencia a la compresión simple no confinada de los especímenes cilíndricos de 100x50mm.

Figura 83

Equipo de prensa hidráulica de roturas de especímenes para ensayo de Resistencia a Compresión Simple de Laboratorio.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 2

Dosificación y resistencia a la compresión de los grupos de muestras

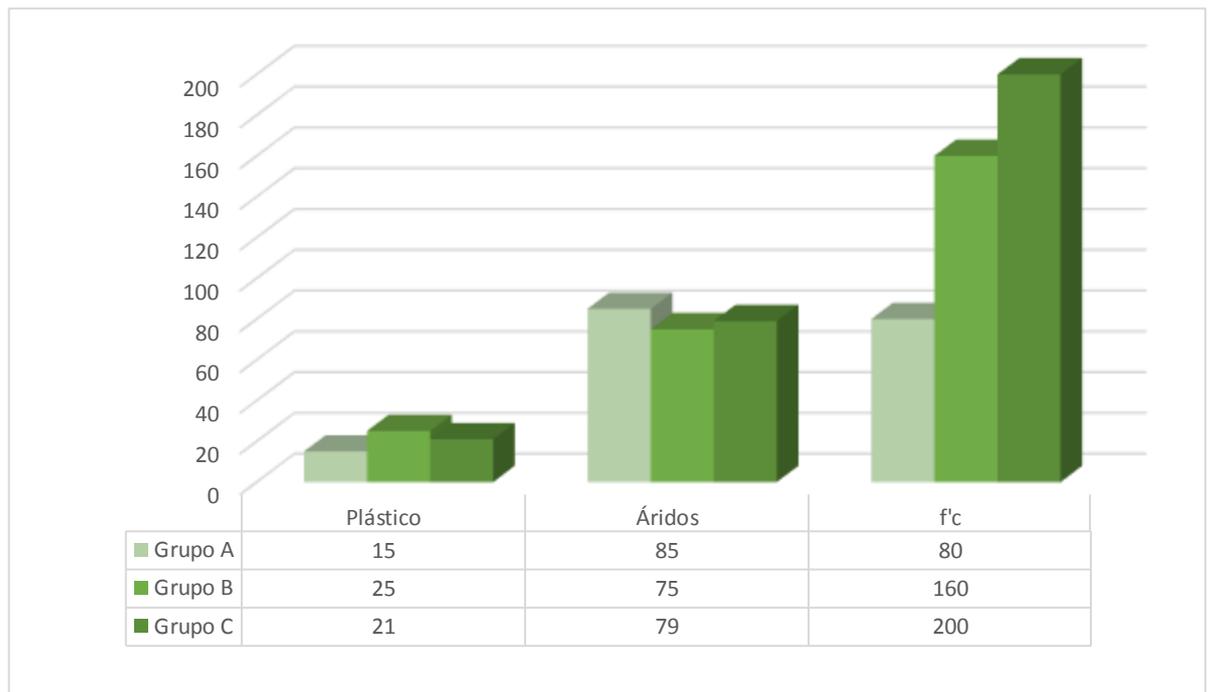
Grupos	Plástico %	Áridos %	f'c (kg/cm ²)
A	15	85	80
B	25	75	160
C	21	79	200

Nota. La variable f'c se refiere al promedio de resistencias obtenidas de cada grupo, ensayando tres probetas a compresión simple de cada uno de estos. **Fuente:** Elaboración Propia

Se realizaron varios especímenes con diferentes dosificaciones, con el rango de porcentaje de plástico mencionado, con ello, se obtuvo la dosificación definitiva correspondiente con el grupo de resultados que promedian los 200 kg/cm².

Figura 84

Resultados de ensayo a la Resistencia a la Compresión Simple y porcentajes de materiales usados

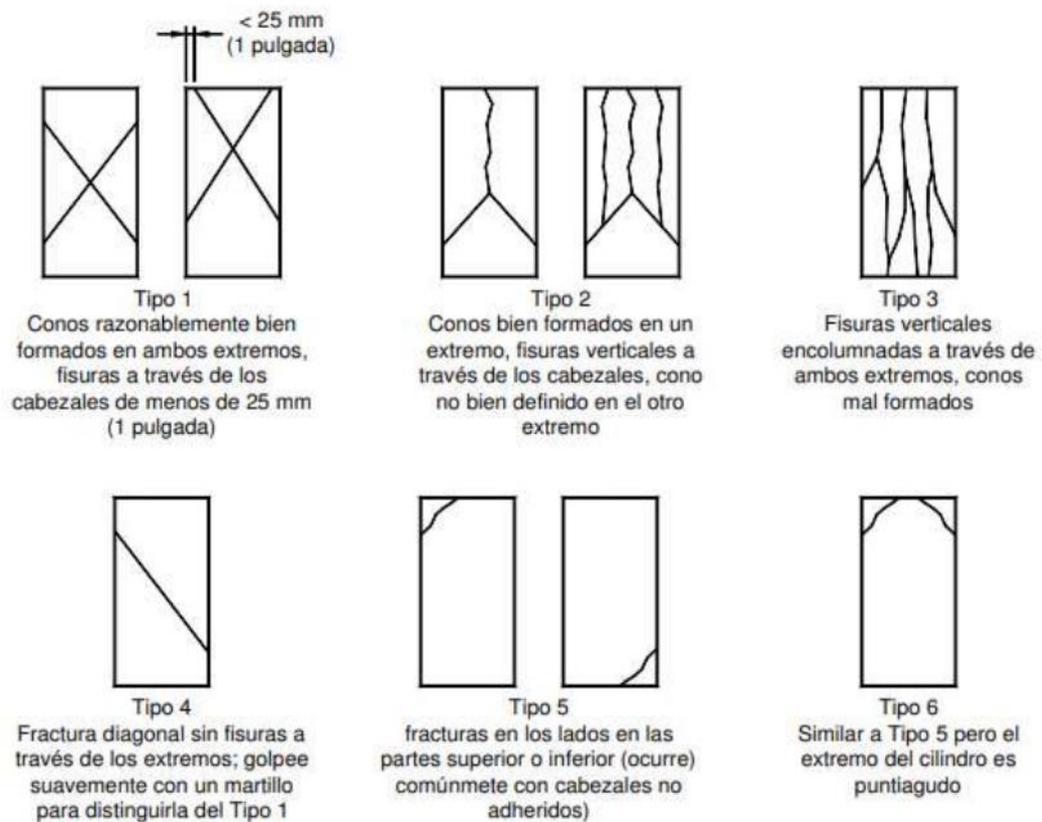


Fuente: Elaboración propia

Dentro de los resultados obtenidos, se identificaron los diferentes mecanismos de fallas de cada uno de los especímenes clasificados por la norma ASTM C39, como se indica en la Figura 85.

Figura 85

Mecanismos de falla de espécimen cilíndrico cementicio, sujetos a compresión simple según ASTM C39



Nota. Se evidencia el mecanismo de falla en dependencia a la calidad de mezcla y la forma de las probetas de ensayo; estas fallas están previstas para mezclas de matriz cementicia. Tomado de *Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de muestras de cilindros de hormigón*, por ASTM, 2020, (<https://www.astm.org/astm-tpt-781.html>)

Para los especímenes cilíndricos del Grupo A, se evidenciaron desprendimientos diagonales de los áridos durante la compresión, los que pueden asemejarse a fallas de tipo 5 y 6, debido a la disminución de plástico de reciclaje usado en las mezclas. Por su parte, en el Grupo B, se observaron fallas de tipo 2, de hundimiento local de la capa superior hacia la inferior, con una ruptura parecida a la del tipo 4.

Por último, en el Grupo C se reflejaron resultados más favorables, debido a un mejor mezclado y mayor compactación descrito visualmente en la probeta de la Figura 86, con una falla mucho más homogénea y consolidada de ensanchamiento lateral de la zona central.

Figura 86

Probeta de ensayo del grupo B, sometido al ensayo de Resistencia a Compresión Simple



Nota. Al ser una mezcla con plástico, en el espécimen no se muestra ningún tipo de falla parecido a los presentados en la Figura 85. Fuente: Elaboración propia

4.2.3.4 Ensayo de permeabilidad

Se realizó un ensayo de permeabilidad empleando un envase tubular hueco de acrílico de laboratorio, se cubrió dicho recipiente dejando $\frac{1}{4}$ de su capacidad libre y se dejó reposar encima del elemento prefabricado por 24 h en condiciones ambientales normales. Se comprobó que no existió filtración del fluido ni exudación en la probeta. situándolo sobre el elemento prefabricado

Figura 87

Ensayo de permeabilidad en teja polimérica



Fuente: Elaboración propia

4.3 Diseño de elementos de acabados

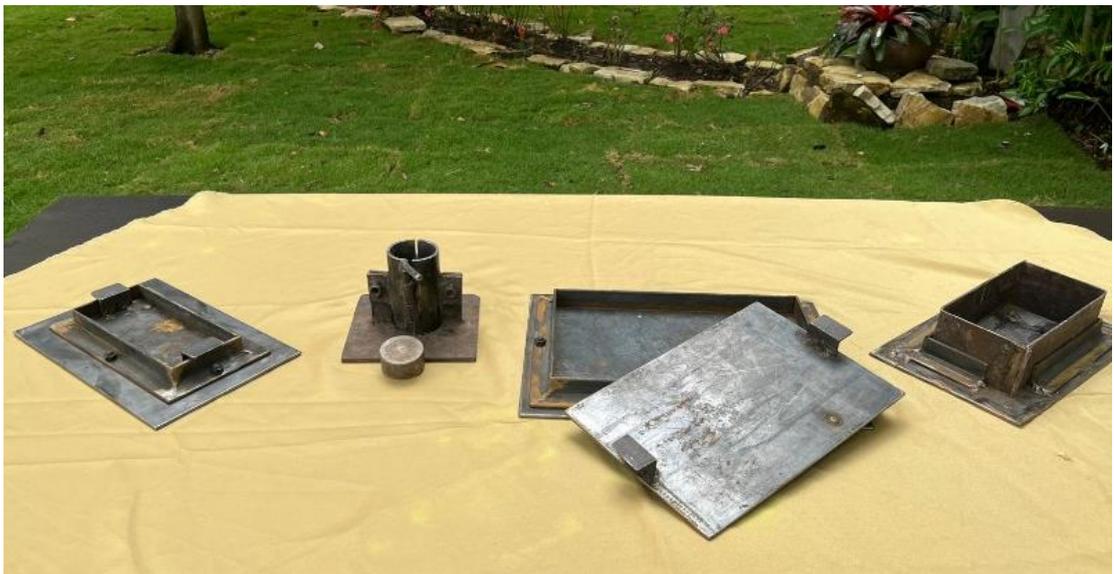
Como alternativa a la reducción de costos en el rubro de acabados, se proponen cuatro elementos de fabricación local realizados con el diseño definitivo, en este orden de ideas, se elaboraron piezas de adoquines peatonales, baldosa, fachaletas y tejas.

4.3.1 Moldes de diseño

Los moldes metálicos fueron diseñados para producir un confinamiento que soporte la presión ejercida por la prensa hidráulica de la Figura 76, con unas alturas un poco mayores a la de los acabados, lo que posibilita el acceso de las placas metálicas que conectan el molde lleno con la prensa hidráulica; la Figura 88 expone los cuatro moldes diseñados para los acabados.

Figura 88

Moldes metálicos de perfilería usados en el diseño de elementos constructivos prefabricados de hormigón polimérico



Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Proceso de elaboración

Una vez realizada la mezcla definida, esta se vierte en el molde y se procede a compactar con una fuerza de compactación de 2 toneladas aproximadamente, lo que asegura la reducción de vacíos y la integridad del elemento. Finalmente, se introduce

la mezcla y el molde en agua para enfriarlo y, luego de 15 segundos, es retirado para desmoldar y continuar con la producción.

4.3.3 Propuesta de adoquines

Para la producción de adoquines peatonales, se seleccionó el tamaño estandarizado de 100x200x60mm con unas tolerancias de longitud y ancho de 1mm y 5 mm, respectivamente; en las Figura 89 y Fuente: Elaboración propia

Figura 90, se exponen los productos finales con la dosificación definitiva.

Figura 89

Adoquines fabricados con hormigón polimérico compuesto por plástico de reciclaje y harina de roca calcárea



Fuente: Elaboración propia

Figura 90

Adoquines de hormigón polimérico



Fuente: Elaboración propia

Para el diseño de los adoquines, se implementó un molde metálico con las medidas mencionadas.

Figura 91

Molde metálico de perfilera de 3mm empleado para fabricación de adoquines peatonales de hormigón polimérico



Fuente: Elaboración propia

4.3.4 Propuesta de Baldosas

Para la fabricación de baldosas de hormigón polimérico, se seleccionó el tamaño estándar de 300x200x15mm, así, en la Figura 92, se observan los productos finales.

Figura 92

Baldosa para piso elaborada con hormigón polimérico a base de plástico reciclado y harina de roca calcárea



Fuente: Elaboración propia

4.3.5 Propuesta de Fachaletas

Para la fabricación de fachaletas, se optó por medidas estándares de 80x200x5mm con unas tolerancias de longitud y ancho de 1mm; en las Figuras 93 y 94 se muestran los resultados obtenidos.

Figura 93

Vista superior de un par de prefabricados de Fachaletas de hormigón polimérico



Fuente: Elaboración propia

Figura 94

Fachaletas elaboradas ubicadas entre elementos naturales



Fuente: Elaboración propia

Figura 95

Juego de fachaletas de hormigón polimérico junto al molde metálico empleado para la elaboración



Fuente: Elaboración propia

4.3.6 Propuesta de Tejas

Las medidas estándares elegidas para la elaboración de las tejas fueron 300x200x15mm.

Figura 96

Vista angular de Teja prefabricada con hormigón polimérico



Fuente: Elaboración propia

Figura 97

Vista en planta de la Teja implantada en suelo natural.



Fuente: Elaboración propia

Figura 98

Molde metálico de perfilera gruesa empleado para la elaboración de tejas sujetas a compactación



Fuente: Elaboración propia

Figura 99

Pieza prefabricada de Teja de hormigón polimérico elaborada junto a molde metálico



Fuente: Elaboración propia

4.3.7 Presupuesto

Tabla 3

Costo para un metro cuadrado para los prefabricados de hormigón polimérico: piso, fachaletas y teja

Costos para un m2 para piso, fachaletas y teja		
N°	Rubro	Precio por m2
1	PEBD	7,02
2	Harina de roca calcárea	0,04
3	Arena caliza	0,14
4	Mano de obra	0,70
5	Equipos	0,02
Total		7,92

Nota. Para la determinación de los costos en dólares americanos, de estos prefabricados por metro cuadrado, se consideró un espesor estandarizado de 1,5 cm.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4

Análisis Comparativo de Costos entre prefabricados poliméricos y convencionales

Análisis Comparativo de Costos			
Prefabricados de hormigón polimérico	Precio por m2	Elementos Prefabricados Convencionales	Precio por m2
Teja polimérica	\$ 7,92	Teja de arcilla	\$ 14
Fachaleta polimérica	\$ 7,92	Hormigón Arquitectónico	\$ 42
		Fachaletas de arcilla	\$ 16
Piso polimérico	\$ 7,92	Madera Plástica	\$ 40,50
		Hormigón Estampado	\$ 35

Fuente: Elaboración propia

4.4 Resultados y discusión

Para el desarrollo de un nuevo hormigón polimérico, se utilizó el plástico de reciclaje peletizado, con la finalidad de aprovechar un material contaminante local que se encuentra abundantemente y de un modo fácil. Este material, para que pueda funcionar como aglutinante, debe aumentar la temperatura utilizando una fuente de calor de laboratorio, lo que se hizo en la Facultad de Ingeniería Civil de la UCSG; la temperatura a través de la que se logró la trabajabilidad en las diversas mezclas estuvo alrededor de los 250°C.

4.4.1 Plástico de reciclaje

El plástico de reciclaje tuvo buena adherencia con el material pétreo adicionado, con ello, se desarrolló una mezcla homogénea y bien distribuida en cuanto a la presencia del aglutinante plástico alrededor de las partículas sólidas. El plástico, después de alcanzar los 250°C, no presentó síntomas de combustión ni cambio de color, asimismo, a esta temperatura, la mezcla del material pétreo con el plástico de reciclaje presentó características de trabajabilidad eficientes con poco desprendimiento de gases.

El porcentaje de plástico de reciclaje óptimo utilizado en las mezclas estuvo alrededor del 22% en volumen y 21 % en peso, respecto con el total de la composición de áridos más aglutinante, por ello, fue necesario realizar algunas pruebas con variaciones en estos porcentajes, para llegar a estos valores favorables mediante prueba y error. Los porcentajes mencionados se relacionaron con la granulometría empleada y con el objetivo de lograr elementos prefabricados totalmente impermeables, es decir, un cambio en estas necesidades modificará estos porcentajes.

4.4.2 Harina de roca calcárea

Este material obtenido de la trituración de la roca caliza de Guayaquil, abundante en el sector de la Vía a la Costa y perteneciente a la cordillera Chongon Colonche, fue seleccionado para esta investigación, debido a que, hoy en día, las canteras generan polvo sobre las urbanizaciones del sector, lo que produce dificultades respiratorias en la comunidad y problemas estéticos en las residencias.

Además, esta harina de roca calcárea fue seleccionada para el proyecto de investigación por su color blanquecino, lo que ayudó en la fabricación de elementos prefabricados de hormigón polimérico. Este material fue el responsable del incremento de la impermeabilidad de las piezas prefabricadas y de la importante reducción del consumo de plástico de reciclaje, en el diseño de las mezclas para la fabricación del producto final.

4.4.3 Árido de roca caliza

Los autores de la presente investigación buscaron probar varias granulometrías adaptables al objetivo de prefabricar elementos constructivos impermeables, las que no requieran de tratamientos o acabados adicionales. Por ello, se desarrolló una curva granulométrica perfecta para el diseño de la mezcla de este hormigón polimérico; el material seleccionado fue la roca caliza local y abundante, para aprovechar el color blanquecino en la prefabricación de estos elementos.

4.4.4 Resistencia a la Compresión Simple de las mezclas

Se realizaron varias probetas para encontrar la resistencia a la compresión simple de este nuevo hormigón polimérico, de este modo, los resultados para la mezcla óptima estuvieron alrededor de 200 kg/cm² y son una función directa de la resistencia de la roca caliza local, lo que corresponde con una roca sedimentaria de origen marino. Cabe añadir que el cambio del tipo de roca caliza por roca basáltica local modificará los valores de resistencia a la compresión simple de las mezclas.

Otro parámetro que influyó en los valores de resistencia a la compresión simple fue el tipo de plástico utilizado en la presente investigación, es decir, el PEBD; el cambio de este material por el PEAD aumentará la resistencia a la compresión simple en las mezclas.

4.4.5 Fabricación de mezclas para elementos prefabricados

Para la fabricación de las mezclas, se calentaron los áridos, con un 17% del total en peso correspondiente con la harina de roca calcárea, más un 62 % del total en peso de arena de roca caliza, con una fuente de calor a gas de laboratorio. Una vez lograda la temperatura de diseño (250°C), se adicionó el 22 % del total en peso del

aglutinante, es decir, el plástico de reciclaje peletizado: el PEBD; una vez homogenizada la mezcla, se colocó en los moldes respectivos.

4.4.6 Elementos constructivos prefabricados

Para la fabricación de los elementos constructivos prefabricados, se prepararon diversos moldes, algunos metálicos y otros de madera, con los que se fabricaron elementos constructivos como adoquines peatonales, tejas para cubiertas, revestimientos para pisos, revestimientos para paredes exteriores o fachaletas y vigas de hormigón polimérico armado.

Una vez que la mezcla homogénea alcanzó la temperatura de diseño (250°C), fue colocada en los moldes para la fabricación de elementos constructivos y se le aplicó compresión con una gata hidráulica de laboratorio de 2 toneladas. La presión aplicada eliminó todos los espacios vacíos que tuvo la mezcla al momento de ser colocada dentro de los moldes, posteriormente, el elemento prensado fue enfriado con agua a temperatura ambiente y desencofrado.

Los elementos constructivos desarrollados resultaron ser resistentes, impermeables y de alto valor estético, por lo que se considera que la novedad científica tiene potencial para generar variaciones diversas en el futuro, con este nuevo producto desarrollado por los autores. Se puede apreciar que en las construcciones podrían eliminarse rubros como impermeabilización, enlucidos, empastes, pintura y cuadrada de filos y boquetes.

4.4.7 Presupuesto y sostenibilidad ambiental

Los elementos constructivos prefabricados desarrollados tienen un costo de producción sensiblemente inferior a su similar fabricado en Ecuador con arcilla cocida, debido al uso de un material aglutinante que contamina los ecosistemas locales y abunda en la urbe. En este estudio, los autores lo analizaron como un posible material de construcción, asimismo, la harina de roca calcárea producto de la trituración de las calizas de la Vía a la Costa es otro material contaminante de poco uso en el mercado guayaquileño, lo que genera molestias en las comunidades.

Dentro de los criterios contenidos en la última resolución gubernamental ecuatoriana, esta investigación se encuadra en los lineamientos establecidos para

economía circular y los ODS de la Agenda 2030 considerada en el modelo educativo de la UCSG.

CONCLUSIONES

- Se llevó a cabo una consulta bibliográfica sobre el uso del plástico de reciclaje a nivel planetario, por lo tanto, se halló que se utiliza el plástico de reciclaje en la fabricación de madera plástica. Este material utiliza el 100% del plástico de reciclaje en su fabricación, por esta razón, los precios de los productos fabricados con este material no son competitivos, en comparación con los materiales convencionales. En tal marco, las investigaciones con hormigón polimérico mediante el uso de plástico de reciclaje y áridos pétreos son incipientes.
- Se desarrolló el diseño de una mezcla experimental que permitió la fabricación de elementos constructivos de hormigón polimérico, en este sentido, se ejecutaron ensayos de laboratorio de permeabilidad y de resistencia a la compresión simple, con resultados satisfactorios para esta primera etapa. Por otro lado, se desarrolló una metodología de laboratorio para el mezclado y el moldeo de los elementos constructivos prefabricados.
- Se fabricaron cinco elementos constructivos de hormigón polimérico como adoquines peatonales, tejas para cubiertas, revestimientos para pisos, revestimientos para paredes exteriores o fachaletas y vigas de hormigón polimérico armado que podrían utilizarse, en el futuro, en vivienda social prefabricada. Para efectos de este estudio, se determinó un presupuesto comparativo por metro cuadrado entre estos nuevos materiales constructivos y sus similares del mercado local.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la ejecución de más ensayos de laboratorio, con el propósito de ampliar la caracterización mecánica del diseño propuesto de hormigón polimérico con remplazo de harina de roca calcárea.
- Se sugiere evaluar la factibilidad de adaptar el diseño propuesto en la elaboración de elementos prefabricados de mayores dimensiones, con la finalidad de construir viviendas socioeconómicas.
- Se recomienda evaluar el aprovechamiento de la temperatura que produce el sistema de extracción y quema de biogás del Relleno Sanitario “Las Iguanas”, para producir energía eléctrica con gas metano.

REFERENCIAS

- A. Besednjak. (2015). *Los Moldes*.
- Abad, M. (2013). *Guía del proceso industrial para la fabricación de baldosas cerámicas* [Universidad internacional del Ecuador]. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/583>
- Abeysinghe, S., Gunasekara, C., Chaminda, B., Nguyen, K., Dissanayake, R., & Mendis, P. (2021). Engineering Performance of Concrete Incorporated with Recycled High-Density Polyethylene (HDPE). *A Systematic Review*. <https://doi.org/10.3390/polym13111885>
- Alarcon, I., & Alvarado, A. (2022, febrero 14). *Basura con etiquetas asiáticas contamina las islas Galápagos*. Basura con etiquetas asiáticas contamina las islas Galápagos. <https://es.mongabay.com/2022/02/basura-con-etiquetas-asiaticas-contamina-las-islas-galapagos/>
- Albán, L. (2019). *Elaboración de madera plástica a partir de polímeros post consumo* [Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8868/1/04%20IND%20144%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Alcaldía Mayor de Bogota D.C. (2019). *Especificación técnica: instalación de adoquines de arcilla para superficies de tránsito peatonal y vehicular*. <https://www.idu.gov.co/web/content/7637/700-11.pdf>
- Alfadomus. (2020). *Alfadomus*. Alfadomus. <https://www.alfadomus.com/>
- Alomalisa, J., & Villamar, K. (2018). *Optimización de explotación de caliza en la concesión minera “Perla del Pacífico” ubicada en la comuna San Antonio, cantón General Villamil, provincia del Guayas – Ecuador* [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://dspace.espol.edu.ec/retrieve/134016/D-CD70390.pdf>
- Alonso, J., & Méndez, M. (2010). Relación estructura-propiedades de polímeros. *Universidad Nacional Autónoma de México*, 21(4), 291-299.
- Álvarez, C. (2018). *Perforación de caliza*. <https://www.scribd.com/document/377815915/PERFORACION>
- American Concrete Institute. (2020). *ACI PRC-305-20: Guide to Hot Weather Concreting*. https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=30520&Language=English&Units=US_Units
- Andece. (2018). *ANDECE Prefabricados de hormigón*. ANDECE. <https://www.andece.org/publicaciones-andece/>

- Arandes, J. M., Bilbao, J., & Valerio, D. L. (2004). *Reciclado de residuos plásticos*.
- ARCOM. (2019). *Seguimiento, control y fiscalización de labores mineras a gran escala*. <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/03/Proyecto-de-seguimiento-y-control-gran-escala-.pdf>
- Arias, J. (2006). *Auditoria al Sistema de Desempolvado del Área de Trituración de Caliza en la Planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A.* [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13556/3/JUAN%20arias.pdf>
- Arjona, D. (2019). [Universidad de Sonora]. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/7859/Capitulo4.pdf>
- Asamblea Nacional. (2008). *Constitucion de la Republica de Ecuador*. Lexis S.A.
- Asamblea Nacional. (2018). *Ley orgánica de educación superior, LOES*. Lexis S.A.
- Asamblea Nacional. (2021). *Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva*. Lexis S.A. <https://www.lexis.com.ec/biblioteca/ley-organica-economia-circular-inclusiva>
- Asociación Americana de Química. (2019). *Estimating microplastic consumption*. American Chemical Society. <https://www.acs.org/pressroom/presspacs/2019/acs-presspac-june-5-2019/estimating-microplastic-consumption.html>
- ASTM. (2020). <https://www.scribd.com/document/440597569/Traduccion-Norma-ASTM-C39-18#>
- Auza Rodrigo, E. A. (2018). *Proceso de Fabricación de los Plásticos*.
- Banco Central del Ecuador. (2022). *Industria de la construcción*. <https://www.bce.fin.ec/>
- Banco Interandino de Desarrollo. (2020). *Déficit Habitacional Nacional – MIDUVI – Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/deficit-habitacional-nacional/>
- Belden Brick. (2020). *Fachaleta de ladrillo de arcilla 8632*. <https://www.archiexpo.es/prod/belden-brick/product-59298-466660.html>
- Benítez, S. (1995). *Evolution Geodynamique de la Province Côtière Sud-Équatorienne au Créacé Supérieur-Tertiaire*. Laboratoire de géologie de l'université Joseph Fourier.

- Bernardi, L. S. (2004, mayo 17). *Propuesta de empresa de reciclaje de plástico en el sector de envase y embalaje en Puebla*. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/siliceo_b_1/
- Billmeyer, F. W. (1984). *Textbook of polymer science* (3era ed). Wiley.
- Burgos, R. (2018). *Caracterización y clasificación geo mecánica del cuerpo intrusivo ubicado en la vía perimetral de los cantones Nobol y Daule de la Provincia de Guayas*. [Universidad de Guayaquil]. http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/29636/1/tfinal_11_enero_2018-R.B..pdf
- Buzón, J. (2010). *Fabricación de adoquines para uso en vías peatonales, usando cuesco de palma africana*. 6(6).
- Cabezas, M. (2014). *Elaboración de un manual de procesos constructivos del adoquinado*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Cabrera, J. A. N. (2010). *Sistemas constructivos prefabricados aplicables a la construcción de edificaciones en países en desarrollo*.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2021). *Fundamentals of materials Science and Engineering and integrated approach* (Sexta).
- Calvo, F., Perez, J., Carreto, M., & Percino, M. (1997). *Construcción del Prototipo de una Prensa Hidráulica para la fabricación de tejas de barro*. 8, 33.
- Carrasco, R. B. C. (2018). *Aplicación del uso de los residuos de construcción para la fabricación de bloques de hormigón en la ciudad de Riobamba, Análisis de costo e impacto ambiental* [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/14857/TESIS%20MAS%202018%20%28RAÚL%20CARRASCO%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CHRYSO. (2020). *Tipos de aditivos para Hormigón y sus aplicaciones* | Chryso. <https://www.chryso.es/news/360/tipos+de+aditivos+y+sus+aplicaciones>
- Cifuentes, L. (2011). *¿Qué es el hormigón arquitectónico?* *Revista Científico Tecnológica Departamento Ingeniería de Obras Civiles*, 1, 10.
- Cóndor, C. A. A. (2017). *Prefabricados en la construcción, ventajas y desventajas, tipos de prefabricados en el Ecuador*.
- Constructivo. (2019). *Línea de bloques y adoquines UNICON: ¡más beneficios para tu obra!*. <https://constructivo.com/actualidad/linea-de-bloques-y-adoquines-unicon-mas-beneficios-para-tu-obra-1544729487>

- Coordinación General de Minería. (2013). *Caliza* (p. 74). https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_caliza_1013.pdf
- Cueva, J. (2019). *Sistema constructivo prefabricado*.
- Cueva Torres Luis Alfredo. (2022). “*Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón utilizando como agregados concreto reciclado*”.
- Decorteja. (2015). *Manual de Instalación—Fachaletas*. <https://decorteja.com/wp-content/uploads/manual-de-instalacion-fachaletas.pdf>
- Del Valle (1995). El agua y el hormigón. *Teoría y Técnicas de la Edificación*.
- Dewan, C.-D. M. (2022, julio 1). *Plastic Roads in India—Innovation and Waste Management*. Lexology. <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=4e484f24-4885-4924-bdfb-14666caafcbb>
- DGRES. (2019). *Usos, almacenamiento, instalación y mantenimiento de gres y fachaleta*. <http://www.dgres.com/wp-content/uploads/2018/08/MANUAL-GRES.pdf>
- Diansa, C. (2015, julio 6). Fachadas de hormigón arquitectónico—Cubiertas Diansa. *Cubiertas Diansa. Instalación de cubierta deck y panel sandwich*. <https://www.cubiertasdiansa.com/fachadas-de-hormigon-arquitectonico/>
- Diario Dow To Earth. (2019). *Down To Earth | Latest news, opinion, analysis on environment & science issues | India, South Asia*. <https://www.downtoearth.org.in/>
- Diario El Comercio, E. (2019, septiembre 22). *Con mingas se busca mitigar el impacto de la basura en la isla Puná*. Diario El Comercio. <https://www.elcomercio.com/tendencias/ambiente/mingas-limpieza-impacto-basura-puna.html>
- Diario El Universo. (2019, septiembre 19). *Basura oceánica desespera en una playa de isla Puná*. El Universo. <https://www.eluniverso.com/guayaquil/2019/09/19/nota/7524613/basura-oceanica-desespera-playa-isla-puna>
- Diario El Universo. (2022, agosto 7). *¿Por qué las viviendas que entregará el Gobierno en Manabí serán de bambú y costarán \$ 18.700?* El Universo. <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/por-que-las-viviendas-que-entregara-el-gobierno-en-manabi-seran-de-bambu-y-costaran-18700-nota/>
- Diario La Vanguardia. (2018, marzo). *Últimas noticias, actualidad y última hora en Catalunya, España y el mundo*. e Limpiando el paraíso: retiran 22 toneladas

de residuos en las islas Galápagos.
<https://www.lavanguardia.com/internacional>

EcoPlas. (2020). *Reciclado de plásticos – Ecoplas*. <https://ecoplas.org.ar/reciclado-de-plasticos/>

El Consejo Universitario de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. (2019). *El Estatuto de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*.

El Diario. (2022, septiembre 28). *PressReader.com—Digital Newspaper & Magazine Subscriptions*. Construir cuesta un hasta un 20 por ciento más. <https://www.pressreader.com/ecuador/el-diario-ecuador/20220928/page/2/textview>

El Oficial. (2019, mayo 15). *Productos para acabados más vendidos | El Oficial*. <https://www.eloficial.ec/encuesta-materiales-y-productos-preferidos-para-acabados-en-pisos-y-paredes/>

El Universo. (2019). *Reparan tramo de vía deteriorada en La Garzota | Comunidad | Guayaquil | El Universo*. <https://www.eluniverso.com/guayaquil/2019/06/23/nota/7389870/reparan-tramo-deteriorada-norte/>

ENEMDU. (2022). *Indicadores de Pobreza y Desigualdad*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/POBREZA/2022/Diciembre_2022/202212_PobrezayDesigualdad.pdf

Enrique, J. *Requisitos técnicos de baldosas cerámicas para usos concretos*. 18.

Erica, M., & Giraldo, J. (2013). *Residuos de construcción y demolición Revisión sobre su composición, impactos y gestión*. https://www.researchgate.net/publication/338719731_Residuos_de_construccion_y_demolicion_Revision_sobre_su_composicion_impactos_y_gestion/link/6346a73fff870c55ce1da281/download

Espinoza, A. (2009). *Tema análisis del exceso de reproceso en la fábrica alfadomus*. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/4385/1/3721..ESPINOZA%20BALDIRES%20CARLOS.pdf>

Espinoza Noidith. (2019, marzo 25). <https://tecnologiadeconcreto.home.blog/>. Universidad Alas Peruanas. <https://tecnologiadeconcreto.home.blog/>

Estrada, F. (2017). *Uso de material reciclado de tereftalato de polietileno, PET, como agregado fino para mezclas de concreto, para la elaboración de adoquines [Universidad de San Carlos de Guatemala]*. www.repositorio.usac.edu.gt:6297

Exporarcilla. (2021). *Los adoquines en arcilla*. Los adoquines en arcilla. <https://www.exporarcillas.com/post/los-adoquines-en-arcilla>

- Faria, C. E. N., & Ibarra, L. H. (2019). *Gestión y técnicas de reciclaje polimérico: Estudio del escenario actual, aplicaciones y nuevas tendencias*. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/173625/Mem%C3%B2ria_NonesClaudio%20Ernesto.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Fernandez, J. (2012, abril 13). Puente de plástico reciclado más largo del mundo. *Rdiplastics*. <https://www.rdiplastics.com/noticias/el-puente-de-plastico-reciclado-mas-largo-del-mundo/>
- FICEM. (2019). *Cifras de la industria del cemento*. https://ficem.org/wp-content/uploads/2021/06/00_Informe-estadistico-2019.pdf
- FRD. (2020). *Equipos de perforación de superficie HCR 1200-EDII trabajando en el Proyecto Mirador*. <https://www.facebook.com/frdfurukawa/posts/3527015560758458/>
- Galvis, L. (2009). *Manual de acabados*. <https://repositorio.ucp.edu.co/bitstream/10785/6516/1/CDPEARQ135.pdf>
- Galviz, A. (2016). *El Asfalto*. <https://bdigital.uniquindio.edu.co/bitstream/handle/001/5947/Presentaci%C3%B3n%20Power%20Point.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Garcés, D. (2013). *Caracterización mineralógica del depósito de zeolitas naturales en el río Guaraguau (Isidro Ayora, provincia del Guayas) y su aplicación en la remoción de amonio en aguas residuales* [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://www.researchgate.net/publication/263465524>
- García, A. (2019). *Mejora del proceso de fabricación de tejas de barro y/o arcilla en la parroquia La Victoria*.
- Garcia, N. (2019). *La teja ceramica. Orígenes, análisis, y estudios constructivos en Euskadi y la comunidad valenciana*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/131914/Garc%C3%ADa%20-%20La%20teja%20cer%C3%A1mica.%20Origenes%2C%20an%C3%A1lisis%20y%20estudios%20constructivos%20en%20Euskadi%20y%20la%20Comunidad%20V....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Garza, A. (2019). *Los Acabados*. <http://eprints.uanl.mx/20816/1/20816.pdf>
- Geovanna, G., & Kira, Y. (2017). *Análisis de la producción de cal de la comuna San Antonio como oferta exportable a los mercados internacionales* [Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/47728/1/TESIS-GUAPI-CEPEDA-YAGUAL-FLORES.pdf>
- Giasson, A. (2020). *Recycled plastic road in the Netherlands is the first of its kind*. <https://www.hydrogenfuelnews.com/recycled-plastic-road-in-the-netherlands-is-the-first-of-its-kind/8535970/>

- Giraldo, J. C., Gonzáles, A. R., & García, B. G. (2018). Cambios en la estructura química del polietileno de alta densidad al experimentar múltiples reprocesamientos. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 111-124. <https://doi.org/10.22395/rium.v18n35a7>
- Gobierno del Ecuador. (2022). *Ciudadanos de Manabí contarán con viviendas dignas y sostenibles*. <https://www.presidencia.gob.ec/ciudadanos-de-manabi-contaran-con-viviendas-dignas-y-sostenibles/>
- Google Maps. (2015). Google Maps. [https://www.google.com.ec/maps/@ -2.1919267,-79.8812322,3a,75y,61.7h,84.71t/data=!3m6!1e1!3m4!1s0R5st5TETDtIpEPCxUCaNA!2e0!7i13312!8i6656?hl=es&entry=ttu](https://www.google.com.ec/maps/@-2.1919267,-79.8812322,3a,75y,61.7h,84.71t/data=!3m6!1e1!3m4!1s0R5st5TETDtIpEPCxUCaNA!2e0!7i13312!8i6656?hl=es&entry=ttu)
- Guerra, X., & Jaramillo (2015). *Caracterización física, mecánica y térmica de materiales vernáculos de la región sierra del Ecuador*. [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/12566/1/CD-6662.pdf>
- Guerrero, C. (2001). *Rocas calizas: Formación, ciclo del carbonato, propiedades, aplicaciones, distribución y perspectivas en la Mixteca Oaxaqueña*. 5(14), 3-14.
- Guerrero, F., & Cornejo, L. (2020, agosto 31). *El costo de construir en Ecuador durante la pandemia*. <https://guerreroycornejo.com/el-costodeconstruir-en-ecuador-durante-la-pandemia/>
- Guerrero, J., & Sanchez, J. (2020). *Análisis bibliográfico del uso del polietileno como agregado fino para el aligeramiento del peso del concreto*. Universidad Francisco de Paula Santander.
- Guilherme Bessornia. (2020). *Contenido de arcilla: identificación y control en el agregados finos*. <https://www.linkedin.com/pulse/contenido-de-arcilla-identificaci%C3%B3n-y-control-en-el-finos-bessornia/?originalSubdomain=es>
- Guzmán, M., & Murillo, E. A. (2014). Funcionalización de polietileno de baja densidad con anhídrido maleico en estado fundido. *Polímeros Ciência e Tecnologia*, 24(2), 162-169. <https://doi.org/10.4322/polimeros.2014.034>
- Hailong, Z. (2022). *¿Cómo tritura una trituradora de mandíbulas la piedra caliza?* <https://www.linkedin.com/pulse/how-does-jaw-crusher-crush-limestone-zhu-hailong/>
- Heriawan, A. (2020). *Upcycling Plastic Waste for Rural Road Construction in India: An Alternative Solution to Technical Challenges* (p. 35). Asian Development Bank. <https://doi.org/10.22617/WPS200097-2>

- Hogar de Cristo. (2021). *Catálogo de viviendas*. https://hogardecristo.org.ec/wp-content/uploads/catalogo_viviendas_hc2021.pdf
- Husseinsyah, S. (2013). Properties of low-density polyethylene/palm kernel shell composites: Effect of polyethylene co-acrylic acid. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 26(1), 3-15. <https://doi.org/10.1177/0892705711417028>
- Hutyrová, Z., Scucka, J., Hloch, S., Hlaváček, P., & Zelenák, M. (2016). Turning of wood plastic composites by water jet and abrasive water jet. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7831-6>
- Ignacio, V. P. A. (2014). *Análisis de factores climáticos en las diferentes regiones del Ecuador para el diseño de pavimentos*.
- Indian Road Congress. (2013). *IRC SP 098: Guidelines for the Use of Waste Plastic in Hot Bituminous Mixes (Dry Process) in Wearing Courses*.
- INEC. (2019). *Módulo de Información económica ambiental en empresas*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/EMPRESAS/Empresas-2019/PRES_MOD_AMB_EMP_2019_08.pdf
- INEC. (2020). *Encuesta Nacional de Edificaciones (ENED) 2020*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2020/2.%202020_ENED_Principales_resultados.pdf
- INEC. (2021). *Gestión de Residuos Sólidos 2021*.
- Infante, J., & Valderrama, C. (2019). *Análisis Técnico, Económico y Medioambiental de la Fabricación de Bloques de Hormigón con Polietileno Tereftalato Reciclado (PET)* [Pontificia Universidad Católica de Chile]. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000500025
- Ingeniería Civil – UCSG*. (2018). <https://www.ucsg.edu.ec/ing/c001003/>
- Inmobiliar. (2013). *Demolición del edificio ex – MAGAP “La licuadora” en su etapa final*. <https://www.inmobiliar.gob.ec/demolicion-del-edificio-ex-magap-la-licuadora-en-su-etapa-final/>
- Instituto Mexicano del cemento y del concreto. (2006). *Los aditivos para el concreto*. <http://www.imcyc.com/revistact06/julio06/TECNOLOGIA.pdf>
- Interempresas. (2010). *Mitad madera, mitad plástico—Plástico*. <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/38207-Mitad-madera-mitad-plastico.html>

- Kubiec. (2020, diciembre 15). Baldosas - Baldosines. *Kubiec*.
<https://kubiec.com/baldosas-baldosines/>
- KWS. (2019). *PlasticRoad*.
https://www.kws.nl/dynamics/modules/SFIL0200/view.php?fil_Id=8713
- La Escandella. (2017). *Manual Técnico de instalación de Tejas tradicionales*.
https://www.laescandella.com/wp-content/uploads/2021/12/Manual_ES.pdf
- León, A., Guillen, T., & Vera, L. (2011). *Caliza agrícola fortificada* [Universidad de Guayaquil].
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/4481/1/TESINA%20149.pdf>
- Luaces César. (2010). *Los áridos*.
<https://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/37082-Los-aridos.html>
- M Tai, C., K Y Li, R., & Nam Ng, C. (2000). Impact behaviour of polypropylene/polyethylene blends. *Polymer Testing*, 19(2), 143-154.
[https://doi.org/10.1016/S0142-9418\(98\)00080-4](https://doi.org/10.1016/S0142-9418(98)00080-4)
- Maria, S., & José, E. (2022). *El problema de la caracterización ambiental de los RCD para su uso en la construcción de terraplenes en España*.
https://www.researchgate.net/publication/362186833_El_problema_de_la_caracterizacion_ambiental_de_los_RCD_para_su_uso_en_la_construccion_de_terrapienes_en_Espana
- Martins, A. (2011, octubre 24). *Europa inaugura su primer puente de plástico*. BBC News Mundo.
https://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/10/111024_puente_plastico_am
- Maza, Á. A. M. (2013). *Proyecto de factibilidad para la creación de una empresa productora de fachaleta en base a piedra de río y su comercialización en la ciudad de Santo Domingo*.
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5926/1/%c3%81ngel%20Agust%c3%adn%20Maza%20Sinchire.pdf>
- Mejía, K. (2019). *Optimización del proceso de perforación y voladura subterránea para la Sociedad Minera Oro Sol Uno* [Universidad del Azuay].
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8932/1/14580.pdf>
- Mejía, L. A. (2020). *Materiales constructivos transformando basura plástica arrastrada por corrientes oceánicas: mitigación ambiental de las Islas Galápagos* [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil].
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/14372/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-332.pdf>

- Meza, B., Lengua, O., & Carrascal, J. (2016). *Elaboración de bloques en cemento reutilizado el plástico Polietileno -terete flato (PET) como alternativa sostenible para la construcción* [Universidad de Cartagena]. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/4404>
- Mk. (2021). *Manual de instalación de Fachaletas de piedra natural*. <https://contenido.mk.cl/vtex/ManualdeInstalacion/GuiadeInstalacionFachaletas.pdf>
- Moneo, A. (2018). *Fachadas de Hormigón Arquitectónico*. <http://proarquitectura.es/pdf/pm0108.pdf>
- Morillas, A. V., & Valdemar, R. M. E. (2020). *El reciclaje de los plásticos*.
- Muñoz, R., Sánchez, J., & Hernández, F. (2022). *Plásticos en la industria de la construcción: Resistencia a tracción del polietileno de ultra-alto peso molecular. Una alternativa a las armaduras de acero*. 8(1), 15-21. <https://doi.org/10.20868/ade.2022.5017>
- Murcia, A., Sanguino, P., & Velandia, C. (2021). *POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD*. Grupo de Investigación en Ingeniería Verde. <https://www.uts.edu.co/sitio/wp-content/uploads/2019/10/c-polietileno.pdf>
- Naranjo, C. (2021). *Geología de las calizas de la formación san eduardo (eoceno medio), kilómetro 22 vía Guayaquil – Progreso, Provincia del Guayas*. Universidad de Guayaquil.
- Naranjo Vélez, D. E. (2022). *Diseño del sistema de recuperación de basura flotante para ríos que contaminan la Isla Puná*. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/19918>
- National Productivity Council of India. (2020). *NPC*. <https://www.npcindia.gov.in/NPC/User/index>
- Nirmal, S. K. (2016). *Use of waste plastic in road construction and its future impacts*.
- NTE INEN 1488. (1987). *Adoquines. Requisitos*. <https://archive.org/details/ec.nte.1488.1987/page/n1/mode/1up>
- NTE INEN 1483. (1987). *Adoquines. Terminología y Clasificación*. <https://archive.org/details/ec.nte.1483.1987/mode/1up>
- NTE INEN 3040. (2016). *Adoquines de hormigón. requisitos y métodos de ensayo*. https://vipresa.com.ec/wp-content/uploads/2019/02/nte_inen_3040.pdf
- OIEA. (2020, septiembre 4). *Ecuador: Un estudio de más de 10 años realizado en cooperación con el OIEA analiza la polución por microplásticos en el océano Pacífico tropical oriental* [Text]. IAEA.

<https://www.iaea.org/es/newscenter/news/ecuador-estudio-microplasticos-pacifico-oriental>

- ONU. (2015a). Objetivos y metas de desarrollo sostenible. *Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- ONU. (2015b, septiembre 25). La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. *Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- ONU. (2020). ODS 11 Ciudades y comunidades sostenibles. *Pacto Mundial*. <https://www.pactomundial.org/ods/11-ciudades-y-comunidades-sostenibles/>
- Orellana, B. J. (2009). *Caracterización de un diseño de hormigón con fibras de acero para tuberías de sistemas sanitarios (21 pulgadas)*. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/9156/3/CARACTERIZACION%20DE%20HRF%20PARA%20TUBERIAS.pdf>
- Organización de Naciones Unidas. (2018, marzo 14). *Ecuador y ONU Medio Ambiente lanzan un llamado a terminar con la contaminación por plásticos*. UN Environment. <http://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/ecuador-y-onu-medio-ambiente-lanzan-un-llamado-terminar>
- Ortiz, C. (2019). *Caracterización sedimentológica de la formación Guayaquil (Cretácico medio - paleoceno inferior) En el cerro bellavista, Guayaquil-Ecuador*. Universidad de Guayaquil.
- Otero, A. (2011). *La cal* [Escuela Superior de Ávila]. <http://ocw.usal.es/enseanzas-tecnicas/ciencia-y-tecnologia-de-los-materiales/contenido/TEMA%201%20-%20LAS%20ROCAS%20EN%20LA%20CONSTRUCCION.pdf>
- Pacadar. (2018). *Industrialización y prefabricado*. <https://www.pacadar.com/news/item/industrializacion-y-prefabricado>
- Palomino, H. (2016). *Optimización del proceso de perforación y voladura en las labores de desarrollo para mejorar la eficiencia en compañía minera Poderosa S.A. Trujillo, Perú*.
- PAVEX. (2020). *Hormigón estampado*. <https://pavex.es/hormigon-estampado/>
- Pérez, V. J. (2015). *Caracterización De Materiales Termoplásticos: Polietileno*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla.
- Pesic, N., Zivanovic, S., Garcia, R., & Papastergiou, P. (2016). Mechanical properties of concrete reinforced with recycled HDPE plastic fibres. *Construction and*

- Pillajo, E. E. G. (2012). *Estudio comparativo de la reactividad álcali – agregado entre hormigones fabricados con cemento Tipo HE Y hormigones fabricados con cemento Tipo IP, En combinación con agregados de la zona de El Chontal - Ecuador.*
- Plasencia, P. (2012). *Puente de plástico reciclado de Dawyck Estate.*
<http://www.puentemania.com/2296>
- PlasticRoad—VolkerWessels.* (2015).
<https://www.volkerwessels.com/en/projects/plasticroad>
- Portland Cement Association. (1997). *Portland Cement, Concrete, and Heat of Hydration.*
<https://www.philadelphia.edu.jo/academics/aalfraihat/uploads/heat%20of%200hydration.pdf>
- Preconal. (2010). *Especificaciones técnicas Baldosas y Mosaicos de hormigón.*
<http://www.preconalbolivia.com/1/baldosas-mosaicos-detalles.html>
- Proalso. (2007). *Proalso Asociacion Profesional de Alicatadores/Soladores.*
<https://proalso.es/wp-content/uploads/2019/10/Carnet-Profesioanl-Alicatador-Solador-Contenidos.pdf>
- Rebeiz, K. S. (1996). Strength and durability properties of polyester concrete using pet and fly ash wastes. *Advanced Performance Materials*, 3(2), 205-214.
<https://doi.org/10.1007/BF00136746>
- Revistas Fierros. (2023, enero 13). *Ecuador abre oportunidades de negocio para la industria colombiana de construcción y ferretería.* Fierros.
<https://www.fierros.com.co/es/informacion-comercial/ecuador-abre-oportunidades-de-negocio-para-la-industria-colombiana-de>
- Rigail, A. (2007). *Estudio De La Relación Entre La Estructura, Piat, Grado De Cura Y Resistencia Al Impacto En Productos Monocapa De Polietileno Rotomoldeado.* Universidad de Guayaquil.
- Rincón, W. Y. R. (2018). *Uso de distintos agregados finos, gruesos, fibras y celulosa en el concreto para el prefabricado de muros translúcidos.*
- Rivera, G. (2015). *Análisis del concreto con polietileno expandido como aditivo para aligerar elementos estructurales* [Universidad Libre de Colombia].
<http://repositorio.unilibrepereira.edu.co:8080/pereira/bitstream/handle/123456789/973/AN%C3%81LISIS%20DEL%20CONCRETO%20CON%20POLIESTIRENO.pdf?sequence=1>

- Rodríguez, Lady, & Orrego, C. (2016). Aplicaciones de mezclas de biopolímeros y polímeros sintéticos. *Universidad Nacional de Colombia*, 25, 252-264.
- Ruíz, L. (2017). Tecnología del hormigón estampado. *Revista Cemento*, 12(6-14). <https://docplayer.es/8684688-Tecnologia-del-hormigon-estampado.html>
- Sánchez Padilla, C., Lucas, N., & Rivadeneira, J. (2017). *Levantamiento Geológico ESPOL Campus Gustavo Galindo*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12806.27208>
- Sasidharan, M., Torbaghan, D. M. E., & Burrow, D. M. (2019). *Using waste plastics in road construction*. 20.
- Secretaría de Gestion de Riesgos del Ecuador. (2016). *Informe de situación n°65 especial 16-05-2016*. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Informe-de-situaci%C3%B3n-n%C2%B065-especial-16-05-20161.pdf>
- Secretaría Nacional del Agua. (2009). *Problemática y conflictos sobre los recursos hídricos por efectos del cambio climático*. https://www.utpl.edu.ec/obsa/wp-content/uploads/2012/09/1_ded-senagua_portadas.pdf
- SENPLADES, MDN, MAGAP, INIGEMM, & INEC. (2012). *Proyecto: "Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25000" Componente 5: "Socioeconómico y cultural"* (pp. 0-79) [Memoria técnica].
- Shelter Cluster Ecuador. (2016). *Informe de Posición*. <https://sheltercluster.org/americas/ecuador>
- SINOMALY. (2020). *Trituradora de mandíbula*. <http://heavy-plants.com/1-1-1-jaw-crusher.html>
- Solís, T. (2021). *Determinación del proceso tecnológico para la fabricación de fachaletas de PVC como material opcional en la construcción de viviendas*. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/33064/1/Maestr%C3%ADa%20M.M.%2008%20-%20Sol%C3%ADs%20Santamar%C3%ADa%20Tannia%20Magally.pdf>
- Sora, M. (2016, marzo 3). *Metodología gestión ambiental de RCD en ciudades de América Latina*. https://issuu.com/entmediambiente/docs/llibret_bogota_baixa
- Suárez, A. (2018). *Polímeros*. 9. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.1995.2.66717>
- Tartakowski, Z. (2010). Recycling of packaging multilayer films: New materials for technical products. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(2), 167-170. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.09.004>

- Tectónica. (2022). *Tectónica: Arquitectura y soluciones constructivas*.
<https://tectonica.archi/>
- Terraceramic's. (2023). ▷ *Adoquines de Concreto 10X20 Ornamentales Loja*.
<https://www.terraceramics.com.ec/pisos/pisos-prefabricados-de-concreto/adoquines-de-concreto-10x20-ornamentales/>
- Tora, A. (2019). *Guwahati: Army thinks green, lays 1km road from plastic waste / North East India News, The Indian Express*.
<https://indianexpress.com/article/north-east-india/assam/guwahati-army-thinks-green-lays-1km-road-from-plastic-waste-6143222/>
- Trujillo, K. L. T., & Quintero, A. P. Q. (2021). *Análisis del manejo de Residuos de Construcción y Demolición RCD y sostenibilidad en la construcción en Bogotá D.C.*
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1921&context=ing_civil
- Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (2017). *TRITURADO 3/4"—Especificaciones Técnicas para Construcción de Viviendas*.
<https://sites.google.com/a/correo.udistrital.edu.co/manualviviendas/3-especificaciones-de-materiales/morteros/triturado-3-4>
- Urdangarín, C., & Izaga, J. M. (2011). *El proceso de fabricación—Oficios tradicionales -Tejeros. Oficios Tradicionales*.
<https://www.gipuzkoa.eus/es/web/aintzinako-lanbideak/tejeros-proceso-fabricacion>
- Vera José, G. J. (2009). *Filamentos de Carbono en hormigones*.
- Vila-Romaní, R., & Jaramillo-Briceño, J. G. (2018). Incidence of the use of polymers as modifiers of the asphalt. *Revista Lasallista de Investigación*, 15(2), 315-326. <https://doi.org/10.22507/rli.v15n2a24>
- Vilca, D. M. (2019). *Estudio de la influencia de la pureza de la caliza, tamaño de partícula y temperatura para obtener óxido de calcio de alta reactividad mediante un diseño experimental 2k* [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <https://docplayer.es/176841173-Universidad-nacional-de-san-agustin-de-arequipa.html>
- Vinueza, O. S. C., & Ríos, I. J. R. (2004). *Sistema de edificación de viviendas con elementos prefabricados de hormigón armado*.
- Wang, J.-Y., & Yang, Q.-B. (2010). Experimental Study on Mechanical Properties of Concrete Confined with Plastic Pipe. *ACI Materials Journal*.
https://www.researchgate.net/publication/266393272_Experimental_Study_on_Mechanical_Properties_of_Concrete_Confined_with_Plastic_Pipe

- Yagual, C. (2021). *Diseño y fabricación de una fachaleta para vivienda con mortero que incluye poliestireno expandido* [Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil]. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/4578/1/T-ULVR-3719.pdf>
- Yepes, V. (2013, marzo 23). *¿Qué es una trituradora de impactos?* <https://victoryepes.blogs.upv.es/2013/03/23/que-es-una-trituradora-de-impactos/>
- Zemanate, C. F., & Zapata, F. J. (2015). *Estudio de las características de rocas calcáreas típicas utilizadas para la producción de cales en el municipio de Vijas del Valle*. [Universidad del Valle]. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/15592/0529122.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Cedeño Pincay, Jonathan Jair** con C.C: #1314448224 y **Toala Peña, Patricio Rafael** con C.C: #1312038944 autores del Trabajo de Titulación: **Hormigón polimérico con reemplazo de harina de roca calcárea para aplicaciones viables en la construcción**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido Trabajo de Titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido Trabajo de Titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 12 de septiembre del 2023

f. 
Nombre: **Toala Peña, Patricio Rafael**
C.C: **1312038944**

f. 
Nombre: **Cedeño Pincay, Jonathan Jair**
C.C: **1314448224**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Hormigón polimérico con reemplazo de harina de roca calcárea para aplicaciones viables en la construcción.		
AUTOR(ES)	Cedeño Pincay, Jonathan Jair Toala Peña, Patricio Rafael		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Martínez Rehpani, Colón Gilberto M.Sc.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	12 de septiembre del 2023	No. DE PÁGINAS:	148
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ingeniería, Materiales de construcción, Contaminación		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Hormigón polimérico, prefabricados, construcción masiva, fachaletas, baldosas, tejas, adoquines, harina de roca calcárea		
RESUMEN:	<p>La presente investigación evalúa la viabilidad del hormigón polimérico con remplazo de harina de roca calcárea en aplicaciones factibles en los prefabricados de la construcción civil. Para esto, se realiza una recopilación bibliográfica global de estudios y trabajos con hormigón polimérico adaptados a soluciones ingenieriles en otros países, con el objetivo de proponer un diseño sustentable, eficiente y económico, el cual es caracterizado con ensayos de laboratorio y se usará específicamente en la elaboración de prefabricados en base a la normativa pertinente con el fin de adaptar la metodología de desarrollo experimental al proceso ejecutivo de elementos de construcción masiva. Finalmente, se elaboraron tejas planas, adoquines peatonales, baldosas y fachaletas, que por sus características físicas, permiten la eliminación de rubros como enlucidos, impermeabilizantes y referentes de pinturas, resultando así, una solución factible para la reducción de costos en la construcción local.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-978631191 +593-982218283	E-mail: capucedo01@gmail.com Toalasang@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-984616792		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			