

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Diseño de un sistema de encapsulamiento de pilas en hormigón para el

Distrito Metropolitano de Quito

Trabajo Experimental

Milagros Izel Jiménez Lituma

Ingeniería Civil

Trabajo de Titulación presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniera Civil

Quito, 17 de diciembre de 2018

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Diseño de un sistema de encapsulamiento de pilas en hormigón para el Distrito
Metropolitano de Quito**

Milagros Izel Jiménez Lituma

Calificación: _____

Nombre del profesor, Título académico Juan José Recalde, Ph.D.

Firma del profesor _____

Quito, 17 de diciembre de 2018

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del Estudiante: _____

Nombres y Apellidos: Milagros Izel Jiménez Lituma

Código: 00118050

Cédula de Identidad: 0105767669

Lugar y Fecha: Quito, 17 de diciembre de 2018

Agradecimientos

Agradezco a mis padres Víctor e Inés por su apoyo incondicional, porque siempre me guiaron con fe y buenos consejos para lograr mi objetivo de culminar la etapa universitaria. Sin duda, a mis hermanos Alfonso y Michael porque siempre alegran mis días.

De igual manera, quiero agradecer a mi tutor Juan José Recalde por su tiempo y constante apoyo durante la investigación de mi proyecto.

Resumen

El municipio de Quito requiere de sistemas complementarios para la neutralización o encapsulación de pilas, una alternativa es la encapsulación con hormigón. El presente trabajo de titulación propone estudiar el hormigón como material para fabricar el cascarón para encapsulamiento de pilas.

Se diseñó y analizó cuatro mezclas de hormigón con diferentes características. Se elaboró una mezcla de control, una mezcla con aditivo impermeabilizante, otra mezcla con fibras de nylon y una mezcla con aditivo y fibras de nylon. Para todas las mezclas se midieron las propiedades de módulo de elasticidad, coeficiente de poisson, resistencia a compresión, resistencia a la tracción indirecta, tasa de absorción de agua y un indicativo de la resistencia a la abrasión. De estos análisis, se determinó que la mezcla que combina fibras de nylon y aditivo cumple con las características esperadas, por ende, se escogió esta mezcla que tiene un costo de 134 dólares por metro cubico.

Posteriormente, se realizó un análisis ergonómico para elegir las dimensiones y forma de la cápsula. La cápsula es de forma hexagonal, tiene 50 cm de altura y la apotema del hexágono es de 15 cm, el peso total de la cápsula es 88kg y el costo de construcción de la cápsula es USD 58. Además, se realizó el análisis de resistencia de la cápsula en un programa computacional, y se determinó que la presión máxima que soportará la cápsula es 6 MPa. Finalmente, se construyó un prototipo y se elaboró un manual de diseño del presente trabajo de titulación para futuras replicas.

Palabras clave: Hormigón, cápsula, costo, aditivos impermeabilizantes, pilas, tasa de absorción, construcción, encapsulación.

Abstract

The municipality of Quito requires some complementary systems for the neutralization or encapsulation of batteries, an alternative is the encapsulation with concrete. So, the present degree work proposes to study the concrete like a material to manufacture the sell to encapsulate the batteries.

The laboratory experimental research begins with the design of four concrete mixtures with different characteristics: A control mixture, a mixture with waterproofing additive, another mixture with nylon fibers and a mixture with waterproofing additive and nylon fibers. The following mechanical properties were measured for all the mixtures: modulus of elasticity of concrete, poisson's ratio, and compressive strength, tensile strength of concrete in an indirect way, rate absorption of water and an indicative of abrasion resistance. The mixture that combines fibers of nylon and waterproofing additive satisfy the expected characteristics, therefore, the chosen mixtures has a cost of 134 dollars per cubic meter.

Subsequently, an ergonomic analysis was made to select the dimensions and shape of the capsule. The capsule has a hexagonal shape were the apothem length is 15 c, and the height of the prism is 50cm. The total weight of the capsule is 88 kg and the cost of construction of the capsule is USD 58. In addition, the resistance analysis was developed of the capsule in a computer program, and it was determined that the maximum pressure that the capsule will support is 6 MPa. Finally, a prototype was built and a construction manual of the degree work was made

Key word: concrete, rate absorption of water, cost, construction, batteries, waterproofing additives, construction, encapsulation.

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS	10
INDICE DE TABLAS	12
1. INTRODUCCIÓN	13
1.1 Antecedentes.....	13
1.2 Justificación	14
1.3 Objetivo General.....	15
1.3.1 Objetivo general	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
1.4 Exclusiones.....	15
1.5 Entregables	15
1.6 Actividades	16
2. DESARROLLO DEL TEMA	17
2.1 Revisión de literatura.....	17
2.1.1 Funcionamiento de una pila alcalina	17
2.1.2 Pilas alcalinas y el medio ambiente.....	18
2.1.3 Tratamiento de pilas alcalinas	18
2.1.4 Disposición final de las pilas	20
2.1.5 Hormigón como material de encapsulamiento	21
2.1.5.1 Áridos	21
2.1.5.2 Materiales Cementantes	23
2.1.5.3 Agua	25
2.1.5.5 Fibras de nylon	26
2.1.5.6 Aditivos Impermeabilizantes.....	27
2.1.5.7 Aditivos reductores de agua	28
2.1.5.8 Durabilidad del hormigón	28
2.1.5.9 Transporte de fluidos.....	29
2.1.5.10 Reacción álcali - sílice.....	30
2.1.5.11 Resistencia a la compresión	30
2.1.5.12 Resistencia a la tensión	32
2.1.5.13 Resistencia a la abrasión	33
2.1.6 Estudios de encapsulamiento con hormigón	35
2.1.6.1 Pilas	35
2.1.6.2 Desechos radioactivos	36

2.1.6.3	Otros.....	37
2.2	Consideraciones generales para el diseño de una mezcla.....	38
2.3	Fase 1: Plan experimental.....	40
2.3.1	Matriz de experimentos	40
2.3.2	Materiales	41
2.3.2.1	Árido grueso.....	41
2.3.2.2	Árido fino	41
2.3.2.3	Cemento	41
2.3.2.4	Fibras de Nylon	42
2.3.2.5	Aditivos	42
2.4	Metodología.....	43
2.4.1	Caracterización de los áridos.....	43
2.4.2	Diseño de mezclas	45
2.4.3	Fabricación y preparación de especímenes	46
2.4.4	Ensayos.....	46
2.4.4.1	Ensayo de resistencia a la compresión de los especímenes.	46
2.4.4.2	Ensayo de resistencia a la tracción indirecta de especímenes.....	47
2.4.4.3	Ensayo de módulo de elasticidad estático del concreto en compresión. 47	
2.4.4.4	Ensayo de medición de la tasa de absorción de agua por hormigón de cemento hidráulico.	48
2.4.4.5	Ensayo de resistencia de la degradación del agregado grueso por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles.....	48
2.5	Resultados.....	51
2.5.1	Ensayo de resistencia a la compresión de los especímenes.....	51
2.5.2	Ensayo de resistencia a la tracción indirecta de especímenes.	52
2.5.3	Ensayo de módulo de elasticidad estático del concreto en compresión. ..	52
2.5.4	Ensayo de medición de la tasa de absorción de agua por hormigón de cemento hidráulico.	54
2.5.5	Ensayo de resistencia de la degradación del agregado grueso por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles.....	58
2.5.6	Costo por metro cúbico de las mezclas de hormigón	58
2.6	Análisis de resultados	60
2.6.1	Criterios para matriz de decisión	60
2.6.2	Matriz de decisiones	62
2.7	Fase 2: Diseño de la cápsula.....	64
2.7.1	Conceptualización y uso	64
2.7.2	Forma de la cápsula	64
2.7.3	Ergonomía de la cápsula.....	67

	9
2.7.4	Análisis del contenedor de pilas 70
2.7.5	Análisis de costo para fabricar la cápsula..... 80
2.8	Fase 3: Construcción de prototipo y manual de construcción 81
2.8.1	Construcción del prototipo 81
2.8.1.1	Elaboración del encofrado..... 81
2.8.1.2	Elaboración de la mezcla..... 83
2.8.1.3	Elaboración de la cápsula 85
2.8.2	Manual de construcción 87
2.9	Posibles Aplicaciones 88
3.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 89
3.1	Conclusiones..... 89
	Fase 1 89
	Fase 2..... 89
	Fase 3..... 90
	Conclusiones generales..... 90
3.2	Recomendaciones 91
4.	REFERENCIAS 92
4.1	Referencias bibliográficas 92
4.2	Normas 96
	ANEXO A: MANUAL DE CONSTRUCCIÓN 98
	ANEXO B: POSIBLES APLICACIONES 103

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Contenedores para reciclaje de pilas y baterías en la ciudad de Quito	14
Figura 2: Caracterización de una pila alcalina.....	17
Figura 3: Relación entre el número de angularidad del agregado y el factor de compactación del concreto con el agregado dado.	22
Figura 4: Influencia del tamaño del agregado en la resistencia del concreto a los 28 días, con diferentes contenidos de cemento.	23
Figura 5: Relación entre la resistencia de siete días y la relación de agua cemento para hormigón con cemento portland de endurecimiento rápido.	25
Figura 6: Patrón de transferencia de esfuerzos entre la fibra y el material de hormigón que le rodea.....	26
Figura 7: Curva de esfuerzo-deformación para hormigón reforzado con fibras.	26
Figura 8: Daños en el hormigón con el tiempo de inmersión en la solución de sulfato.	29
Figura 9: Relación entre el aumento de masa de agua por unidad de área y el tiempo empleado para calcular la capacidad de absorción.	30
Figura 10: Predicciones de la resistencia a compresión del hormigón.	31
Figura 11: Relación entre la resistencia a compresión y agua/cemento.	31
Figura 12: Curado del hormigón versus la resistencia a compresión.	32
Figura 13: Ensayos para evaluar la resistencia a la tensión.....	33
Figura 14: Pérdida por abrasión versus el módulo de elasticidad para agregado natural y reciclado.....	34
Figura 15: Mezcla de fibras de nylon con cemento.....	42
Figura 16: Granulometría de Piedra 9 de Acuerdo a la Norma ASTM C33-13.....	44
Figura 17: Ensayo De Resistencia a la Compresión.....	46
Figura 18: Ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta.....	47
Figura 19: Ensayo de Módulo de Elasticidad y coeficiente de Poisson.	48
Figura 20: Muestra para elaborar ensayo por abrasión de hormigón	49
Figura 21: Muestra de hormigón después del ensayo por abrasión.....	50
Figura 22: Resumen de Resultados Obtenidos del Ensayo de Compresión para los Especímenes de todas las Mezclas	51
Figura 23: Resumen de Resultados Obtenidos del Ensayo de Resistencia a Tracción Indirecta.....	52
Figura 24: Resultados obtenidos del Ensayo de Módulo de Elasticidad (GPa)	53
Figura 25: Resultados obtenidos del coeficiente de Poisson.....	53
Figura 26: Gráfica de absorción, I, en mm versus la raíz cuadrada de tiempo en $s^{1/2}$	56
Figura 27: Comparación de tasa inicial versus secundaria para cada mezcla	57
Figura 28: Muro de contención de hormigón	65
Figura 29: Bloques de concreto o lego	65
Figura 30: Adoquín de 6 lados rectos.....	66
Figura 31: Configuraciones analizadas con la forma hexagonal.....	67
Figura 32: Postura sentada normalizada.....	67
Figura 33: Vista frontal del diseño y dimensionamiento de la cápsula.....	69
Figura 34: Vista en planta del diseño y dimensionamiento de la cápsula.....	69
Figura 38: Botella de agua de 6 litros.....	70
Figura 35: Primer escenario, uso de la cápsula para mobiliario urbano.....	71
Figura 36: Segundo escenario, simulación de levantamiento de la cápsula con una grúa	72
Figura 37: Tercer escenario, se coloca cuatro cápsulas sobre la cápsula empotrada	72

Figura 38: Cuarto escenario, se coloca cuatro cápsulas sobre el área transversal de la cápsula	73
Figura 39: Análisis para evaluar la presión máxima que soporta la cápsula, en el sentido horizontal y vertical.	73
Figura 40: Chaflandes en las esquinas de la cápsula	74
Figura 41: Versión final de cápsula de hormigón simulada en Inventor	74
Figura 42: Configuración para aplicación de la carga distribuida sobre la cápsula.	75
Figura 43: Análisis de tensión de Von Mises para primer escenario, carga de 539 N... 75	75
Figura 44: Configuración para aplicación de cargas puntuales en las manijas	76
Figura 45: Configuración para aplicación de la carga distribuida sobre la cápsula	77
Figura 46: Capacidad de la cápsula para soportar cuatro cápsulas.....	77
Figura 47: Configuración para aplicación de la carga distribuida sobre el área transversal de la cápsula	78
Figura 48: Capacidad de la cápsula para soportar el peso de cuatro cápsulas.....	78
Figura 49: Análisis de tensión de Von Mises, máxima presión en el sentido transversal.	79
Figura 50: Análisis de tensión de Von Mises, máxima presión en el sentido vertical. ...	79
Figura 51: Encofrado para la primera etapa	82
Figura 52: Encofrado para la primera fase	83
Figura 53: Base de hormigón de la primera fase	85
Figura 54: Cápsula en la etapa de fundición del hormigón	86
Figura 55: Acabado final de la cápsula	86
Figura 56: Curado de la cápsula	87
Figura 57: Prototipo final de la cápsula.....	87

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Plan de mezclas a fabricar	40
Tabla 2: Matriz de experimentos para cada mezcla elaborada.....	40
Tabla 3: Densidad y Absorción de los Agregados	44
Tabla 4: Datos técnicos para elaborar la dosificación	45
Tabla 5: Resultados Obtenidos del Ensayo de Resistencia a Compresión para los Especímenes de todas las Mezclas.	51
Tabla 6: Resultados Obtenidos del Ensayo de Resistencia a Tracción Indirecta	52
Tabla 7: Informe de resultados obtenidos del Ensayo de Módulo de Elasticidad.....	53
Tabla 8: Informe de resultados de la absorción de los especímenes A1 y A2	54
Tabla 9: Informe de resultados de la absorción de los especímenes B1 y B2.....	54
Tabla 10: Informe de resultados de la absorción de los especímenes C1 y C2.....	55
Tabla 11: : Informe de resultados de la absorción de los especímenes D1 y D2	55
Tabla 12: Resultados de la tasa de absorción inicial y secundaria para todas las mezclas	57
Tabla 13: Resultados Ensayo de Resistencia de la Degradación del Hormigón, por Abrasión e Impacto en la Máquina de los Ángeles de Acuerdo a la Norma ASTM C131-14.....	58
Tabla 14: Precios comerciales de los materiales para fabricar el hormigón	58
Tabla 15: Costos por metro cúbico de hormigón para la mezcla A	59
Tabla 16: Costos por metro cúbico de hormigón para la mezcla B.....	59
Tabla 17: Costos por metro cúbico de hormigón para la mezcla C.....	59
Tabla 18: Costos por metro cúbico de hormigón para la mezcla D	59
Tabla 19: Criterios ponderados para resistencia compresión	60
Tabla 20: Criterios ponderados para resistencia a tensión	60
Tabla 21: Criterios ponderados para resistencia a la abrasión.....	60
Tabla 22: Criterios ponderados para módulo de elasticidad.....	61
Tabla 23: Criterios ponderados para coeficiente de poisson	61
Tabla 24: Criterios ponderados para tasa de absorción inicial	61
Tabla 25: Criterios ponderados para tasa de absorción secundaria	62
Tabla 26: Criterio para costo unitario.....	62
Tabla 27: Matriz de decisiones	63
Tabla 28: Análisis de costo para construcción de la cápsula.....	80
Tabla 29: Medidas para el hexágono base, de la primera fase	81
Tabla 30: Medidas para el hexágono base, segunda etapa	82
Tabla 31: Cantidad de material para construir la primera etapa de la cápsula	84
Tabla 32: Cantidad de material para construir la segunda etapa de la cápsula	84

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En el Ecuador se consume 35 millones de pilas al año, 96 mil al día, y las más consumidas son las pilas alcalinas o de zinc-cobre (MAE, 2017). De igual manera, en los hogares ecuatorianos, el 80,49%, usaron pilas y solo el 9,43% de pilas usadas eran recargables (INEC, 2017). Sin embargo, el problema principal aborda en la disposición final del producto, en este caso, el 83,97% depositó con el resto de basura, el 5,25% vendió o regaló, el 5,24% entregó a un centro de acopio o colocó en un contenedor especial y finalmente el 5,54% quemó o enterró (INEC,2017). Estos datos implican que hay un consumo excesivo de pilas alcalinas, además muestra que solo el 5,24% de hogares entregaron los residuos a un centro de reciclaje. Es decir, que existe la necesidad urgente de concientizar y de desarrollar proyectos sostenibles en el país para el manejo efectivo o disposición final de las pilas. Debido a este problema, en el Distrito Metropolitano de Quito se han desarrollado varios proyectos para concientizar en el medio sobre la disposición final de las pilas. Uno de ellos es la campaña denominada “Quito a Reciclar”. El objetivo se enfoca en que los residuos sean tratados de manera diferenciada para disminuir el impacto negativo al ambiente y salud. En virtud de ello, la Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos (EMGIRS-EP) en el año 2017 instaló 150 contenedores, para que la ciudadanía deposite de forma caracterizada las pilas y baterías, como se observa en la Figura 1. De igual manera, la EMGIRS-EP se encargan de almacenar las pilas y baterías para realizar el tratamiento adecuado, ya que éstas contienen elementos químicos peligrosos como

litio, cadmio, níquel y otros. Los tratamientos de las pilas requieren de gastos representativos para la empresa.



Figura 1: Contenedores para reciclaje de pilas y baterías en la ciudad de Quito

1.2 Justificación

La gestión del desecho de pilas requiere de un programa de manejo integral en el Distrito Metropolitano de Quito. Aparte de la recolección y tratamiento de pilas, se puede optar por un sistema de encapsulación. La encapsulación es una alternativa al tratamiento, y consiste en envolver a las pilas en una cápsula que evite la salida del lixiviado de los metales pesados, evite el contacto con el ambiente externo a la cápsula (agua y aire), y que la cápsula sea resistente a eventos de transporte, manejo, impacto, vandalismo, entre otros.

El hormigón, es un material de fácil preparación y se fabrica con materiales localmente disponibles y de producción nacional. Además, con una adecuada dosificación, fabricación, y curado, se puede lograr características deseadas como resistencia a la compresión, resistencia a la abrasión, durabilidad, a un costo aceptable.

Diseñar y fabricar mezclas de hormigón no requiere de espacios restringidos ni de limitadas características para su fabricación. De esta forma, incrementa la facilidad para replicar en cualquier zona de la ciudad de Quito. Sin embargo, es

indispensable considerar la calidad y cantidad del material durante la construcción para obtener resultados efectivos.

En ese sentido, es necesario estudiar y proponer una forma efectiva de encapsular pilas alcalinas en cápsulas de hormigón. Porque, el hormigón es asequible, económico y fácil de replicar en el Distrito Metropolitano de Quito.

1.3 Objetivo General

1.3.1 Objetivo general

El presente trabajo tiene como objetivo general, diseñar una mezcla de hormigón para encapsulación de pilas en el Distrito Metropolitano de Quito.

1.3.2 Objetivos Específicos

A continuación, se enlista los objetivos específicos del presente trabajo de titulación.

1. Diseño de una mezcla de hormigón con materiales disponibles en la provincia de Pichincha de costo óptimo.
2. Diseñar una mezcla que tenga baja transportabilidad de fluidos, y adecuada resistencia de acuerdo al uso.
3. Diseño del cascarón de la cápsula de acuerdo a la necesidad del usuario final y mezcla

1.4 Exclusiones

El trabajo de titulación se llevará a cabo junto con el departamento de Ingeniería Ambiental, quienes se encargan de realizar el tratamiento respectivo de las pilas para luego proceder a encapsularlas.

1.5 Entregables

1. Diseño de la mezcla de hormigón

2. Diseño del cascarón
3. Manual de fabricación de la cápsula de hormigón

1.6 Actividades

Se ha definido las siguientes actividades, con la finalidad de cumplir todos los objetivos definidos del trabajo.

1. Revisar literatura existente, normas de fabricación y ensayo.
2. Realizar el diseño de mezclas de prueba y fabricar especímenes.
3. Realizar los experimentos necesarios para obtener suficiente información.
4. Analizar los resultados experimentales.
5. Realizar el diseño del cascarón externo de la cápsula dependiendo el uso final
6. Elaborar el manual de fabricación.

2. DESARROLLO DEL TEMA

Previo llevar a cabo la investigación se realizó la revisión de literatura existente la misma que permita obtener información y mantenga el enfoque u objetivo similar al presente trabajo de titulación.

2.1 Revisión de literatura

2.1.1 Funcionamiento de una pila alcalina

Las pilas alcalinas son esenciales para el funcionamiento de diversos equipos electrónicos, generando gran demanda de consumo de las mismas y generalmente vienen en tamaños AAA, AA, C, D con voltaje de 1,5/celda y 9V. Los dispositivos contienen metales como manganeso, zinc, carbón, mercurio, potasio. La reacción oxidación-reducción que generan estos componentes permiten que las pilas conviertan la energía química en energía eléctrica w implica la transferencia de electrones de un material a otro por un circuito eléctrico (Ayala, 2017). La pila alcalina fundamentalmente se compone de una varilla de latón que está en contacto con el ánodo (negativo) que es el polvo de zinc, y una protección de acero en contacto con el carbono y MnO₂ como cátodo (positivo), además tiene una pasta de KOH como electrolito alcalino. En la figura 1 se presenta la caracterización de una pila alcalina (Bernardes, Espinosa, 2003)

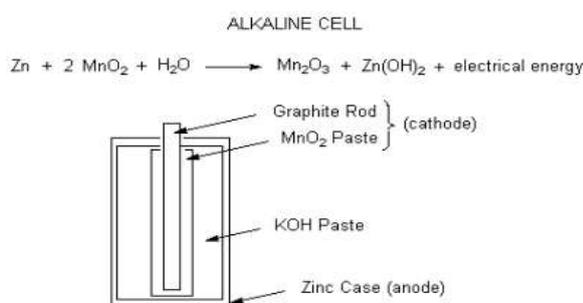


Figura 2: Caracterización de una pila alcalina

Fuente: Petrucci, Ralph. General Chemistry: Principles and Modern Applications. (2011)

2.1.2 Pilas alcalinas y el medio ambiente

La contaminación en el medio ambiente se produce desde el momento en el que las pilas son desechadas con la basura orgánica en los rellenos sanitarios. Las pilas al estar en contacto con los otros desechos sufren la corrosión de su capa de protección debido a los efectos del clima y a la fermentación de los desechos, provocando el derrame de todos los componentes internos de la pila. Los metales fluyen por el suelo contaminando el agua, vegetación y todo el entorno natural.

Los componentes que contienen las pilas alcalinas no son biodegradables, son contaminantes y pueden estar al aire libre por más de 50 años. (Canchari, Ortiz). Las pilas alcalinas afectan directamente al medio ambiente desde el momento de su producción. Marisa Jacott en el 2005 realizó una investigación sobre los efectos negativos producidos por las pilas concluyendo que: Fabricar una pila consume 50 veces más energía de la que estas produce. El 30% de materiales contenidos en pilas alcalinas son tóxicos y puede llegar a contaminar 167 mil litros, este valor es aproximadamente la cantidad de agua que bebe una persona durante su vida. En el caso de pilas con contenido de óxido de mercurio su contenido tóxico incrementa a 50% y pueden llegar a contaminar 600 mil litros de agua. De igual manera, afectan a la salud humana ya que los metales pesados al estar expuestos en el medio ocasionarían irritación en la piel, sabor metálico, sensibilidad en la piel y otros.

2.1.3 Tratamiento de pilas alcalinas

A consecuencia del gran impacto negativo que generan las pilas en el medio ambiente, diversas entidades han desarrollado métodos estratégicos con el objetivo de disminuir a futuro la contaminación del medio ambiente y salud humana.

Los métodos utilizados por algunas empresas internacionales para recuperar los metales de una pila son: método hidrometalúrgico, pirometalúrgico y destilación. El

método hidrometalúrgico consiste en la disolución parcial o total de metales en agua con ácidos o bases fuertes y extracción selectiva de metales, con el fin utilizar los elementos como materia prima en la industria metalúrgica. El método pirometalúrgico consiste en transformar y separar los componentes a partir en un tratamiento térmico del residuo en un medio reductor y la separación de los metales volátiles. La destilación es utilizada para la recuperación de metales, consiste en triturar a las pilas con una granulometría adecuada mediante una máquina de trituración y luego son sometidas a tratamientos térmicos.

En Ecuador, el MAE afirma que en el país los municipios no realizan el tratamiento directo de las pilas ya que lo deben realizar entidades autorizadas. Pero, el MAE asegura que las pilas son confinadas en celdas de seguridad, y luego son exportadas a otros países que dispongan de tecnologías apropiadas para el respectivo tratamiento (Diario El Universo, 2018)

A nivel internacional existen diversas empresas que realizan el tratamiento de pilas, por ejemplo: En Argentina, la Universidad de Plata desarrolló una planta de tratamiento para las pilas, en la cual garantizan la reutilización de todos los componentes mediante un proceso sustentable. El proceso inicia con la clasificación de pilas, luego mediante un método artesanal cortan la capa de hierro de la pila. Luego inician con el proceso para recuperar todos los componentes de la pila usando la solución de ácido sulfúrico generada por un proceso biotecnológico (2017). Además, en Bélgica, la empresa MMM- Sedema está desarrollando el reciclaje de baterías. En donde las baterías se procesan mecánicamente para recuperar una fracción metálica. En Francia, la empresa CITRON ha desarrollado un proceso de reciclaje basado en técnicas de pirolisis y reducción de metales. En Alemania la empresa NIREC, ha desarrollado un proceso de reciclaje basado en la separación de materiales por un método de molienda al vacío. Este sistema está

enfocado principalmente en la separación y recuperación del contenido de níquel de alta calidad (Bernardes, Espinosa, 2003). Todos los métodos buscan principalmente recuperar los metales que pueden ser reutilizados y de esta manera evitar que interactúen con el medio ambiente.

2.1.4 Disposición final de las pilas

Existen diversas alternativas para la disposición final de las pilas, principalmente por encapsulamiento de pilas.

En Ecuador, en la ciudad de Quito, la EMGIRS-EP tienen contenedores ubicados en diversos puntos de la ciudad para que los ciudadanos reciclen, Figura 2. Éstas pilas almacenan en celdas de seguridad y baterías para luego realizar el respectivo tratamiento. De igual manera la empresa pública ETAPA en la ciudad de Cuenca, desde el 2003 implementó un plan para recolectar, reciclar y desechar pilas. De acuerdo a Javier Crespo, administrador de Calidad Ambiental, hasta el año 2018 han recolectado tres millones de pilas. Con el material recolectado construyeron tres monumentos, una celda de seguridad para las pilas y actualmente están por licitar la construcción de la segunda celda con el objetivo de almacenar pilas usadas durante 10 años más. Mientras que, en la ciudad de Loja, el municipio recolecta las pilas en fundas oxobiodegradables de color naranja el último sábado de cada mes (Diario El Universo, 2018)

En España la fundación medioambiental Ecopilas y con la empresa colaboradora Recyclia y Recypilas (2007) recogió diariamente 320.000 pilas. Éstas pilas fueron enviadas a las fábricas de tratamiento en donde recuperan 1,5 y 2 toneladas de hierro y zinc respectivamente. Mientras que de las pilas alcalinas recuperan 17 gramos de materiales, los metales que principales son hierro (5 g) y zinc (6 g).

En Alemania la empresa que fabrica pilas por reglamento tiene que recoger y reciclar las pilas. Las empresas recogen las pilas y luego envían a fabricas para clasificarles según el tipo y finalmente envían a empresas que se enfocan en eliminar los residuos tóxicos. Las empresas encargadas de la eliminación de residuos son financiadas por impuestos que pagan las empresas que comercializan pilas (Díaz, 2006)

En Japón, los municipios tienen sistemas de recolección de pilas, con el fin de enviar a plantas de tratamiento. Mientras que en Estados Unidos más de 100 compañías se asociaron con el objetivo de formar la Asociación de pilas recargables portátiles. En los dos países desarrollan técnicas avanzadas como pirometalúrgicas para el tratamiento de pilas (Gómez, 2011)

En Suiza desde 1985 existen políticas que prohíben enterrar las pilas en rellenos sanitarios, promueven el uso de equipos recargables y por ley las pilas son consideradas como residuos peligrosos. Además, en 1992 una industria japonesa desarrolló una planta para recuperar mercurio, zinc y ferromagnesio (FOEN, 2018)

2.1.5 Hormigón como material de encapsulamiento

En esta sección se presenta la investigación realizada de los posibles materiales a utilizar para elaborar las mezclas de hormigones. Generalmente los materiales utilizados para hormigón convencional son árido grueso, árido fino, cemento y agua. Sus características son importantes para que no afecte al desempeño del esperado hormigón, además, se pueden modificar con el uso de aditivos, materiales cementantes, fibras de nylon u otros.

2.1.5.1 Áridos

Es importante verificar la calidad de los agregados, ya que al menos tres cuartas partes del volumen del concreto están ocupados por agregado (Neville, 2011). Si la

calidad del agregado no es la adecuada, afectará al hormigón porque la resistencia puede disminuir y, por ende, su durabilidad.

En los hormigones es importante que la unión del agregado y la pasta de cemento deban ser resistentes con el fin de ceder la transferencia de tensiones por medio de la pasta de cemento. En ensayos realizados se ha observado que las grietas que se genera por la aplicación de una carga pasan a través de las partículas de los agregados (Neville, 2011) Al momento de elegir los agregados, es importante verificar la forma del árido grueso ya que provienen de diversas canteras. Los agregados de canto rodado es una buena elección, así como los agregados chancados similares a cubos, prevenir las partículas elongadas ya que puede afectar a la trabajabilidad y resistencia. En la Figura 3, se presenta la relación entre el grado de compactación de la pasta de cemento con el agregado y el número de angularidad del agregado. Mediante este gráfico se verifica que el grado de compactación disminuye si el número de angularidad de los agregados incrementa (Neville, 2011)

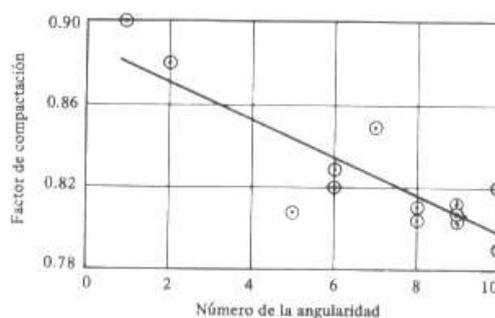


Figura 3: Relación entre el número de angularidad del agregado y el factor de compactación del concreto con el agregado dado.

Fuente: Neville, (2011).

Es importante el tamaño del agregado, según Neville, a medida que el tamaño del agregado incrementa se disminuye la cantidad de agua de la mezcla, de manera que, la relación agua/cemento disminuirá y consecuentemente la resistencia incrementa. En la Figura 4, se observa la influencia que tiene el tamaño del

agregado respecto a la resistencia del concreto a los 28 días, es una evaluación para hormigones con diferente resistencia (2011).

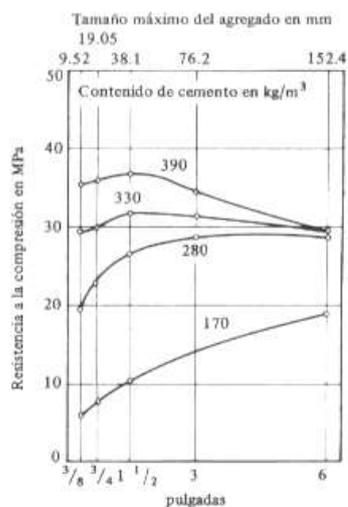


Figura 4: Influencia del tamaño del agregado en la resistencia del concreto a los 28 días, con diferentes contenidos de cemento.

Fuente: Neville, (2011).

Para verificar la calidad del agregado y clasificar dependiendo el uso, se debe aplicar los ensayos establecidos por las normas ASTM. El ASTM C127-04 es el ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados gruesos. Este ensayo es utilizado para determinar la densidad o la porción esencialmente sólida de un gran número de partículas de agregado y provee un valor promedio que representa a la muestra. El ASTM C33-03 es el ensayo para la especificación normalizada de agregados para concreto. Este ensayo es considerado para asegurar que los agregados sean satisfactorios para el concretos y permite definir la calidad del agregado y tamaño nominal máximo del agregado.

2.1.5.2 Materiales Cementantes

Todos los materiales cementantes tienen una característica en común, son tan finos como las partículas de cemento portland, y sus otras características dependen de su textura superficial o peso específico (Neville, 2011). Los materiales

cementantes pueden ser puzolanas, ceniza volante, cementos puzolánicos, humo de sílice, otros.

Las características de las puzolanas se encuentran en la norma ASTM 618-04a. Las puzolanas se forman a alta temperatura, tienen un alto contenido de vidrio principalmente de óxidos de aluminio (Al_2O_3), óxidos de sílice (SiO_2) que están asociados con óxidos de hierro (Fe). Poseen poco valor cementante, finamente dividido, y por la presencia de agua reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio para formar compuestos que poseen propiedades cementantes. La ventaja de las puzolanas es la resistencia del concreto al ataque por agua sulfatadas, agentes químicos y en particular al agua de mar y la desventaja es el desarrollo lento de la resistencia (Gálvez, 2000)

Las cenizas volantes son residuos de carbón bituminoso ardiendo, son partículas esféricas muy finas y su diámetro varía entre 1 μm y 100 μm . Su clasificación se encuentra en la norma ASTM C618. El cemento puzolánico tiene baja resistencia a los 7 y 28 días de 12 y 22.5 MPa respectivamente, sin embargo, tiene cierta resistencia al ataque de sulfatos y ácidos débiles (Neville, 2011). El humo de sílice incrementa el costo del hormigón, su caracterización se encuentra en la norma ASTM C1240; una ventaja es que las partículas son muy pequeñas y pueden discernirse en espacios entre las partículas de cemento, por ende, mejora el confinamiento (Neville, 2011).

Según Neville (2011), no existe el mejor cemento ya que hay muchos tipos o clase que se pueden usar. La elección depende de la disponibilidad, costo, mano de obra calificada, rapidez de construcción y sobre todo de las exigencias de la estructura y entorno. En Ecuador para obras de construcción es común utilizar el cemento tipo GU e IP. El cemento GU es un cemento por desempeño que cumple

con la norma ASTM C1157, y el cemento IP es un cemento compuesto que cumple con la norma ASTM C595.

2.1.5.3 Agua

La calidad del agua desempeña un papel importante para la fabricación del concreto, porque las impurezas del agua pueden afectar al fraguado del cemento, en consecuencia, afectará a la resistencia del hormigón (Gálvez, 2000). El agua tiene dos aplicaciones, para elaboración de las mezclas y como medio para curado del hormigón. En la norma ASTM C94-14 se encuentran los requisitos de calidad para la elaboración de hormigón. El agua aproximadamente representa entre el 10-25% del volumen del concreto recién mezclado. Por ende, no debe contener contaminantes ni constituyentes inorgánicos, es recomendable que el pH del agua varíe desde 6.0 a 9.0. La cantidad de agua a utilizar es importante considerar para el diseño de la mezcla, ya que este afecta directamente a la resistencia del hormigón. En la Figura 5, se observa que la resistencia incrementará mientras la relación agua cemento sea menor. Para el curado del hormigón es indispensable considerar la temperatura del agua con el objetivo de evitar los gradientes de temperatura entre el agua y hormigón, según el ACI 308 la temperatura constante 23 ± 2 °C por 28 días.

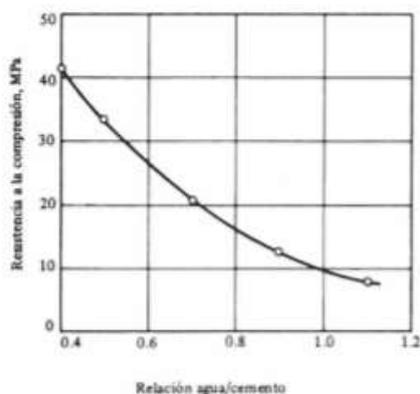


Figura 5: Relación entre la resistencia de siete días y la relación de agua cemento para hormigón con cemento portland de endurecimiento rápido.

Fuente: Neville. (2011)

2.1.5.5 Fibras de nylon

Las fibras se definen como un material de refuerzo y su parámetro más importante es la longitud dividida para un diámetro equivalente de la fibra. Las fibras de nylon ayudan a mejorar la resistencia al impacto, congelación y descongelación e incrementa la resistencia a la contracción plástica durante el curado y evita la propagación de grietas. En la Figura 6, se presenta el comportamiento mecánico de las fibras con el hormigón. Por ende, es importante considerar la longitud de la fibra, puesto que, si la longitud de la fibra es mayor la transferencia de esfuerzo también incrementará. (Saxena, 2015). En la Figura 7, se presenta una figura típica de esfuerzo deformación para hormigón reforzado con fibras.

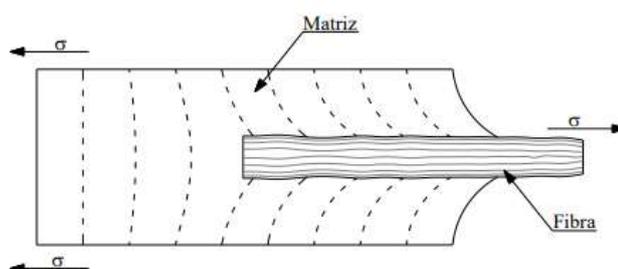


Figura 6: Patrón de transferencia de esfuerzos entre la fibra y el material de hormigón que le rodea.

Fuente: Bravo, (2003).

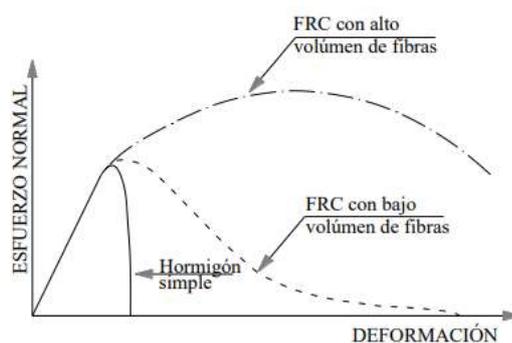


Figura 7: Curva de esfuerzo-deformación para hormigón reforzado con fibras.

Fuente: IMCYC. (2007)

Anil Saxena (2015), realizó un estudio con el objetivo de mejorar la resistencia del concreto convencional utilizando fibras de nylon, en el cuál caracterizó a las

fibras de nylon como un material suave y de peso liviano. Además, consideró que tienen características como: tenacidad, elasticidad y que el esfuerzo no disminuye con el tiempo. Saxena elaboró mezclas con diferentes proporciones de fibras de nylon desde 0,2 hasta 0,3 del volumen del concreto. Su conclusión fue que la resistencia a la compresión del hormigón convencional mezclado con fibras de nylon incrementó significativamente en todas las mezclas.

En otra investigación, concluyeron que al adicionar fibras de polipropileno a la mezcla de hormigón no afectó a la trabajabilidad sino afecto al asentamiento, ya que las fibras ayudan a generar mayor cohesión entre las partículas del hormigón permitiendo el incremento de resistencia a la segregación del hormigón. Sin embargo, las fibras agregadas al hormigón simple no influyeron significativamente en los resultados que obtuvieron ya que el incremento de la resistencia no fue representativo (Ramírez y Barros, 2012). La proporción utilizada fue de acuerdo a la ficha técnica del material y al reporte del ACI 544. 1R (Hormigón Reforzado por Fibras), es una concentración mínima de 0,1% con respecto al volumen del hormigón.

2.1.5.6 Aditivos Impermeabilizantes

El hormigón absorbe agua porque la tensión superficial en los poros capilares de la pasta de cemento hidratado –absorbe- agua por succión capilar. Por ende, los aditivos impermeabilizantes son importantes para mejorar este efecto. (Neville, 2011). La función del aditivo impermeabilizante es evitar que se genere la penetración de agua en el hormigón. La acción de los aditivos impermeabilizantes es a través de la reacción con el hidróxido de calcio de la pasta de cemento hidratado. Un efecto secundario de algunos impermeabilizantes es, mejorar la trabajabilidad de la mezcla por la presencia de emulsiones bituminosas que incluyen un porcentaje de aire (Neville, 2011)

2.1.5.7 Aditivos reductores de agua

Los aditivos reductores de agua según la norma ASTM C494, son del tipo A si y solo si son reductores de agua, pero, si las propiedades reductoras de agua están relacionadas con efectos retardantes, se clasifican como tipo D. La principal función del aditivo es reducir el contenido de agua de la mezcla, frecuentemente disminuye desde 5-10% y en ciertos casos hasta el 15%. El propósito es permitir la reducción de la relación agua/cemento, por ende, mejorará su trabajabilidad y no afectará la resistencia a la de congelación y deshielo del hormigón. Sin embargo, el uso del aditivo puede generar la segregación y sangrado del hormigón. (Neville,2011)

2.1.5.8 Durabilidad del hormigón

La durabilidad es una propiedad mecánica indispensable en el hormigón, por ende, puede asociarse con la vida útil de una estructura en servicio. Las causas de la durabilidad del hormigón, ocurren por los efectos de los factores físicos, químicos o mecánicos. El daño mecánico es generado por la abrasión, erosión, cavitación o impacto. Mientras que los factores químicos ocurren por las reacciones álcali-sílice y álcali-carbonato. Las causas físicas se generan por la alta temperatura o de las diferencias de expansión térmica de los agregados o de la pasta de cemento endurecida (Neville, 2011). En consecuencia, de todos los factores, el tiempo de servicio del hormigón disminuirá con el tiempo. Con el fin de evaluar la durabilidad del hormigón, Feng, Dong, You –Sheng realizaron un estudio del comportamiento de especímenes de hormigón bajo los ataques de corrosión con solución de sulfatos. Sumergieron los especímenes en la solución, en dos grupos, un grupo sumergido con una concentración del 10% y otro con el 20%. En la Figura 8, se presenta los resultados obtenidos, concluyendo que el grado de daño del hormigón aumenta con el tiempo de inmersión.

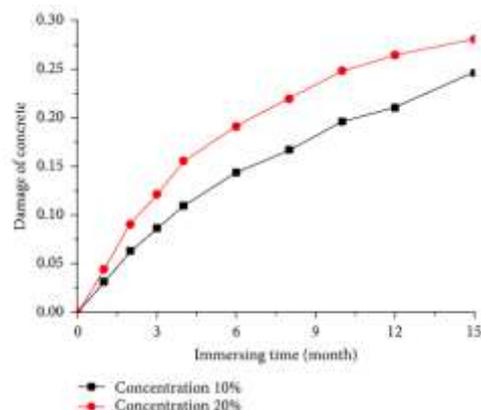


Figura 8: Daños en el hormigón con el tiempo de inmersión en la solución de sulfato.
Fuente: Feng, Dong, You –Sheng. (2016)

2.1.5.9 Transporte de fluidos

El agua pura o que lleva iones agresivos, dióxido de carbono y oxígeno son los tres fluidos importantes que pueden entrar en el hormigón. El movimiento de los fluidos a través del hormigón no se genera únicamente por el flujo a través del medio poroso, sino también por difusión, absorción o adsorción. La presencia de los poros es importante para la permeabilidad, ya que contribuyen al transporte de fluidos a través del concreto (Neville, 2011)

La difusión es importante ya que permite el movimiento de gases a través de un espacio lleno de agua o aire. El dióxido de carbono y oxígeno son gases de interés principal, porque el dióxido de carbono tiene la función de producir la carbonatación de la pasta de cemento hidratado. Mientras que el oxígeno se enfoca en generar el progreso de corrosión del acero. La absorción es generada por el efecto del movimiento capilar en los poros del hormigón que están abiertos al medio ambiente. El tamaño de los poros varía desde nanómetros hasta micrómetros, cuando los poros entran en contacto con el líquido, el líquido invadirá el poro debido a las fuerzas capilares presentes en cada poro (Bentz, Clifton, Ferraris, 1999)

La absorción no se puede utilizar como una medida para la calidad de hormigón, porque no puede ocurrir absorción capilar en hormigón completamente seco o

saturado. Para que ocurra esta acción el hormigón debe estar parcialmente húmedo. La prueba de capacidad de absorción determina la rapidez de absorción de elevación capilar de un prisma de hormigón que está sumergido únicamente 2 a 5mm. En la Figura 9, se presenta la relación entre el aumento de masa de agua por unidad de área y el tiempo empleado para calcular la capacidad de absorción (Neville, 2011)

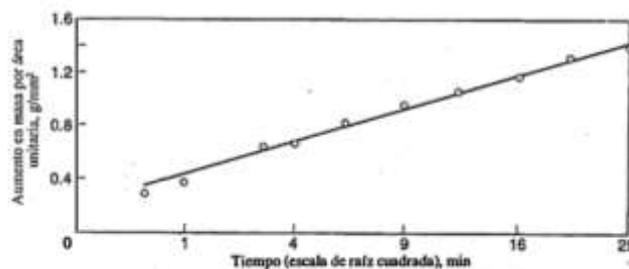


Figura 9: Relación entre el aumento de masa de agua por unidad de área y el tiempo empleado para calcular la capacidad de absorción.

Fuente: Neville, (2011)

2.1.5.10 Reacción álcali - sílice

Para la reacción álcali-sílice, la expansión perjudicial que se produce se debe a la formación de un gel, que es producto de la reacción de álcalis presentes en el cemento y de los componentes activos de la sílice del agregado. (Bentz, Clifton, Ferraris, 1999) La reacción comienza con el ataque de los hidróxidos de los hidróxidos alcalinos de los álcalis (Na_2O y K_2O) del cemento por los minerales silíceos del agregado. El resultado se forma un gel álcali-silicato en los poros del agregado o en la superficie de las partículas del agregado. Esto puede destruir la adherencia entre la pasta de cemento y agregado. Esta reacción ocurre solo ocurre con la presencia de agua. La reacción álcali-sílice es muy lenta, por ende, sus consecuencias no serán notables sino hasta después de muchos años (Neville, 2011)

2.1.5.11 Resistencia a la compresión

Las características como la durabilidad, impermeabilidad y estabilidad del volumen pueden ser importantes en algunos en algunos casos en el diseño de

estructuras de concreto, pero la resistencia es más importante. El endurecimiento es el proceso de crecimiento de la fuerza del hormigón y puede continuar incrementando durante meses en la Figura 10. Los factores que controlan la resistencia del hormigón son: calidad del agregado, gradación del agregado, tipo de cemento, método de la mezcla y colocación, curado del concreto y la más importante es la relación agua cemento (Hasan y Kabir, 2011). Sin embargo, el factor técnico principal es la relación agua/cemento, de acuerdo a la Figura 11. En esta gráfica se observa que mientras menor sea la relación agua/cemento la resistencia a compresión será mayor. El curado de hormigón es importante ya que incrementará la resistencia a compresión mientras los días de curado aumenten, Figura 12. Para determinar la resistencia de los hormigones, se realiza el ensayo desarrollado por la norma ASTM C39-14.

Compressive strength of concrete (MPa), A.					Predicted, B (MPa)	Ratio
7 day	14 day	21 day	28day	296 day		P/A
20.33	23.5	28.83	29.7	31.79		0.97
20.15	22.76	28.88	29.85	31.15		1.14
13.41	17.1	20.28	22.78	23.94		1.05
14.45	19.82	22.01	23.5	23.41		1.08
14.29	16.88	19.87	22.13	23.08		1.11
15.10	18.11	21.97	22.85	24.12		1.16
13.84	17.08	19.3	21.97	24.28		1.10
14.85	18.94	22.34	23.57	25.97		1.02
15.87	19.31	22.40	24.83	25.91		0.92
14.85	20.27	22	23.88	26.84		0.87
15.75	19.41	21.77	23.25	23.03		0.89
13.05	15.73	18.4	20.27	19.34		0.96
12.70	16.08	18.94	20.12	19.08		0.95
16.14	20.46	22.78	24	23.13		0.98
15.05	19.32	21.85	23.32	22.11		0.95
16.88	22.88	25.15	27.85	24.47		0.88

Figura 10: Predicciones de la resistencia a compresión del hormigón.
Fuente: Hasan y Kabir. (2011)

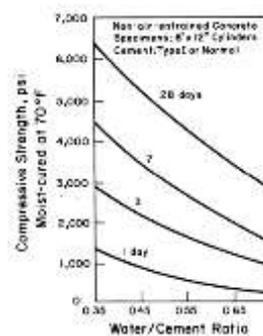


Figura 11: Relación entre la resistencia a compresión y agua/cemento.
Fuente: University of Washington – Concrete Technology

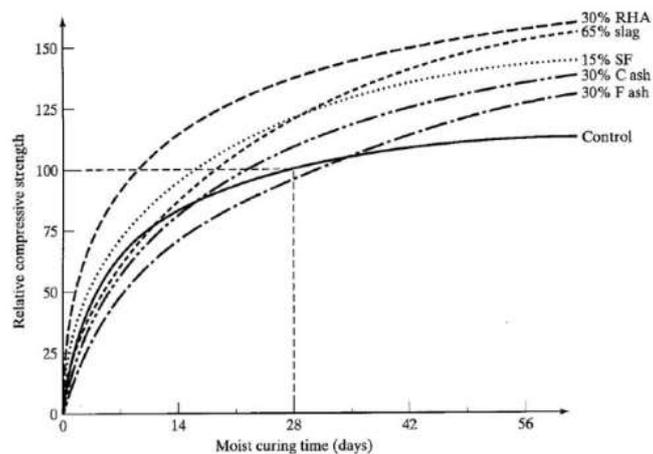


Figura 12: Curado del hormigón versus la resistencia a compresión.
Fuente: Taylor, Yurdakul, Ceylan, (2012).

2.1.5.12 Resistencia a la tensión

La resistencia a tensión es un parámetro importante para las propiedades de hormigón, y las estructuras de hormigón no reforzadas se basan completamente en la resistencia a tensión (Reinhardt, 2013). Es importante estudiar la resistencia a la tensión para conocer bajo que carga se desarrollará el agrietamiento en el hormigón. Los problemas del agrietamiento se generan cuando se presenta tensión diagonal por medio de esfuerzos cortante, por contracción diferencial o gradientes de temperatura que puede causar estrés propio en el hormigón y provocará grietas cuando se alcance la resistencia a tensión (Neville, 2011).

Las condiciones para elaborar los ensayos son importantes porque los valores medidos de una prueba uniaxial serán diferentes a los valores de una prueba a flexión. Uno de los ensayos para determinar la resistencia en flexión, es aplicando carga de dos puntos sobre una viga de concreto hasta que ocurra la falla. Otro tipo de prueba es aplicando una carga en el centro del claro, en este ensayo la falla ocurre cuando se ha agotado la resistencia del concreto en la fibra extrema bajo el punto de carga. El esfuerzo a tensión máximo teórico que alcanza la fibra inferior de la viga de prueba se denomina como módulo de ruptura. Otro método para

determinar la resistencia, es por el ensayo de tensión indirecta. Este ensayo consiste en aplicar una carga de compresión uniforme diametral a un espécimen cilíndrico (Neville, 2011)

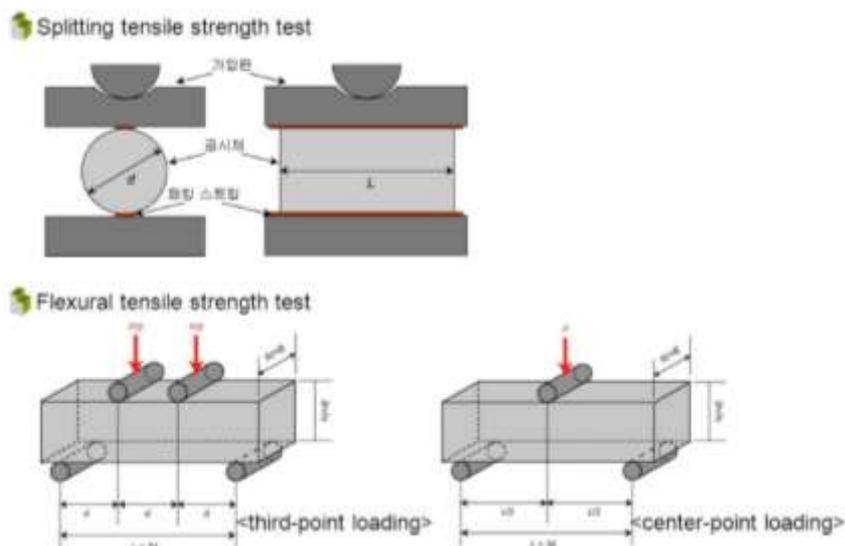


Figura 13: Ensayos para evaluar la resistencia a la tensión
Fuente: KAIST Concrete Lab.

2.1.5.13 Resistencia a la abrasión

Frecuentemente las superficies de concreto están sujetas a desgaste, por efectos del contacto superficial que tiene con otros objetos que generan rozamiento, deslizamiento, raspadura o percusión (Neville, 2011) Varios investigadores aseguran que existe una tendencia entre resistencia a la abrasión y la resistencia a la compresión. Uno de ellos fue Neville (2011) y explica que los hormigones resistencia muy alta presentan una gran resistencia a la abrasión, es decir, si se aumenta la resistencia a compresión de 50 a 100 MPa, la resistencia a la abrasión incrementa un 50%. Sin embargo, Scott y Safiuddin (2015) explican que la dependencia es una relación asintótica. La resistencia a la compresión supera los 60 MPa, el rendimiento de la resistencia a la abrasión con respecto a la compresión no

es significativa. Los materiales utilizados para elaborar las mezclas también generan efectos en la resistencia a la abrasión.

El agregado es un material que influye en la resistencia a la abrasión del hormigón, en ensayos realizados concluyeron que existe una fuerte correlación entre la dureza del agregado y la resistencia a la abrasión. Además, que los agregados más suaves y débiles sufrieron más pérdida por abrasión que los agregados más fuertes. En la Figura 14, muestra una gráfica que compara el módulo de elasticidad con la pérdida por abrasión de hormigones con agregados natural y reciclado. El hormigón con agregados reciclados se desempeñó mejor que con agregados naturales, además, el investigador explica que la resistencia mejoró por la unión de un buen agregado y pasta de cemento (Scott y Safiuddin, 2015). Los materiales cementantes también generan efectos en la resistencia a la abrasión, en pruebas experimentales obtuvieron que al incluir humo de sílice ayudó a reducir el porcentaje de pérdida. Sin embargo, los investigadores determinaron que su contribución es mínima ya que los factores más influyentes es la relación agua/cemento y el tipo de agregado (Scott y Safiuddin, 2015)

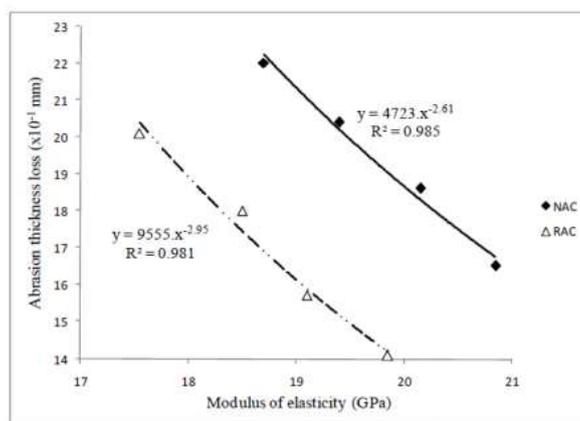


Figura 14: Pérdida por abrasión versus el módulo de elasticidad para agregado natural y reciclado.

Fuente: Scott y Safiuddin. (2015)

Las fibras son comúnmente seleccionadas cuando están diseñando hormigones con alto rendimiento. Debido a la variedad de material es difícil seleccionar un tipo de fibra, por, realizaron la prueba de abrasión de hormigón con fibras de acero y otro con fibras de polipropileno. De esta prueba obtuvieron que las fibras de acero se cortaban debido a los golpes o rozamiento, mientras que, las fibras de polipropileno ofrecían mayor adhesión a la mezcla creando una estructura más compacta y resistente (Scott y Safiuddin, 2015).

A continuación, se enlista los diversos ensayos para evaluar la resistencia a la abrasión del hormigón:

ASTM C 418-14, es un método de resistencia a la abrasión del hormigón mediante arenado.

ASTM C 944, es un método de prueba para obtener y ensayar núcleos perforados o vigas de hormigón.

ASTM C 799, es un método para evaluar la resistencia a la abrasión de superficies horizontales de concreto.

ASTM C1138, es un método para evaluar la resistencia a la abrasión del concreto – Método sumergido en agua.

2.1.6 Estudios de encapsulamiento con hormigón

2.1.6.1 Pilas

Previamente se mencionó sobre los impactos ambientales que se generan las pilas por su mala disposición final. Por este motivo, Catalina Ortiz (2009) realizó un estudio de solidificación de pilas y baterías de uso doméstico mediante la técnica de macro encapsulación. Para ello, desarrolló tres propuestas de mezcla de hormigón: simple, con aditivo impermeabilizante y otro usando sílice como agregado. Elaboró cápsulas con hormigón armado de dimensiones de 20x20x20 cm,

para que se utilicen como bloques ya sea para relleno u otros. Después de realizar los respectivos ensayos concluyó que la mejor propuesta es el hormigón con aditivo impermeabilizante.

En el 2015 María Zambrano, planteó diseñar bancas para parques y paradas de buses, gradas y pérgolas para el confinamiento de pilas. Zambrano no propone ningún tipo de mezcla de hormigón para llevar a cabo este proyecto, sino que plantea llenar botellas con pilas para luego ser fundidas en hormigón y fabricar las bancas. Sin embargo, esta propuesta todavía no se ha llevado a cabo.

Además, en la ciudad de Buenos Aires, desarrollaron el proyecto denominado Dobleblock que se enfoca en encapsular pilas en ladrillos, para luego construir bancas escolares. En este sistema impermeabilizan las pilas con plástico a través de un proceso de deshidratación, termosellado, termocompresión y finalmente lo recubren con hormigón ajustándole a la forma de un ladrillo. Aseguran que el Dobleblock es 100 veces más fuerte que un ladrillo y que cada banca construida evita la contaminación de 192 litros de agua (Defensoría del Pueblo Argentina, 2014)

2.1.6.2 Desechos radioactivos

En Reino Unido, la industria de Energía Nuclear Civil produce la mayor parte de residuos, incluyendo los residuos de uranio. Los desechos radioactivos se componen de VLLW (Very low wastes), ILW (Intermediate level wastes) y HLW (high level waste). Generalmente antes del acondicionamiento, los LLW contienen desechos de metales, suelos, cemento, escombros, plásticos, otros. El metal es el componente principal de los ILW y sus contribuyentes son el grafito de los núcleos del reactor. Mientras que los HLW, en forma de ácido nítrico que contiene desechos de la reprocesamiento de combustibles irradiados. Por esta razón, las entidades europeas para eliminar los desechos lo realizan por incineración y

encapsulación. Previo a la encapsulación, colocan los residuos en contenedores de metales y lo rellenan con cemento, después, colocan los contenedores en bóvedas revestidas de hormigón. (NIREX, 2002) Continuamente realizan estudios para eliminar estos desechos y uno de los estudios fue realizado por: UKAEA (2006), la autoridad de energía atómica del Reino Unido. Realizaron una alternativa para encapsular con fibras poliméricas los desechos radiactivos. Luego de realizar la mezcla de hormigón con fibras de polímero, concluyeron que es una opción ventajosa porque brinda características de alta resistencia, baja permeabilidad, es compatible con los desechos y sobretodo es tolerante a la radiación.

En Barcelona, la empresa Cementos Molins Industrial S.A. se enfoca en realizar soluciones a problemáticas que se relacionan con el cemento portland. Han desarrollado una manera económica para inhibir los desechos radiactivos. Fabricaron mortero, donde el residuo actúa como “árido” y el cemento portland como aglomerante y barrera física. Sin embargo, la solución no fue apropiada porque al mezclar el cemento portland, con los residuos se forman compuestos expansivos que causan fisuras y generan baja resistencia para el mortero. Después utilizaron cemento de aluminato de calcio denominado “electroland” que reacciona adecuadamente con los sulfatos y forman diferentes compuestos del tipo sulfoaluminatos los mismo que se acomodan en el mortero sin generar problemas. Este mortero impide la lixiviación o extracción del residuo porque logran cristalizar a los residuos dentro de la propia estructura cristalina del mortero (compuesto insoluble) (Milestone, 2005)

2.1.6.3 Otros

En Ecuador, la actividad petrolera genera gran cantidad de residuos sólidos los cuales provienen de la extracción, transporte, almacenamiento y proceso de refinación del crudo. Por ende, una técnica para eliminar los desechos sólidos, sin

embargo, las cenizas tienen grandes contaminantes tóxicos en su composición como el Pd, Cd, Zn. Por lo tanto, una solución para encapsular estos contaminantes es utilizando como sustituto de los agregados. Benavides, Luna y Montenegro (2015) experimentaron realizar un hormigón de baja resistencia con el objetivo de sustituir al agregado fino por cenizas que eran provenientes del proceso de incineración en bruto de residuos sólidos industriales. Realizaron mezclas con diferentes contenidos de cenizas para cada diseño de mezcla de hormigón de 210kg/cm². De los resultados obtenidos, concluyeron que al reemplazar 15 y 20% de ceniza, la resistencia a compresión fue mayor comparada con el hormigón tradicional. Mientras que, para los diseños de mezcla, en donde se sustituyó el 25% y 30% de cenizas, los resultados no fueron aceptables. No obstante, es una solución viable para este tipo de desechos que son tóxicos.

Otros desechos que se fabrica y utiliza en abundancia es el plástico, cuando finaliza la vida útil del material algunas entidades incineran o desechan en rellenos sanitarios. Estos desechos generan emisiones de CO₂ que llegan al entorno en el que vivimos. Por ende, una solución para disminuir el impacto ambiental generado por estos materiales es encapsular en hormigón. En España, realizaron un estudio de hormigones y morteros aligerados con agregados de plásticos como árido y carga en la mezcla. De los resultados obtenidos, concluyeron no contribuye significativamente a la resistencia, sin embargo, es posible usar el diseño de la mezcla para la construcción de elementos que soporten carga ligera, además puede disminuir el costo del hormigón (Pozo, 2012)

2.2 Consideraciones generales para el diseño de una mezcla

El diseño de una mezcla es importante de acuerdo al tipo de proyecto que se está elaborando, ya que la selección de la mezcla se basa en dos criterios: la

resistencia del concreto y durabilidad. Por otro lado, es importante considerar el diseño para que el costo no tenga un precio elevado, como se conoce el costo del cemento es más elevado que el agregado. Incluso, es importante desarrollar un buen diseño de mezcla que tenga buena trabajabilidad porque esto influye directamente en el costo de mano de obra. Al no tener una trabajabilidad adecuada dificulta la compactación así también el obrero necesita realizar esfuerzos más intensos para bombear la mezcla de hormigón. Para el proceso de elaborar el diseño de mezcla se enfocó en la teoría dada por Neville, además de diseños realizados para otros proyectos.

Se inicia, considerando los requisitos para durabilidad en este caso consiste en analizar la naturaleza del material, a qué edad se requiere la resistencia, requisitos térmicos y también el control de calidad para la resistencia. Todos estos factores son primordiales para elegir la relación de agua cemento que se utilizará, y mediante esta relación para cuantificar el contenido de cemento requerido. Por otro lado, para verificar la granulometría general del estado, se debe verificar la trabajabilidad requerida para el transporte, compactación y espaciamiento del refuerzo. Incluso el tamaño del agregado y forma y textura del agregado. Al considerar el contenido de cemento, granulometría y relación agua/cemento se puede ya obtener las proporciones que se necesitará para la mezcla de hormigón con las características buscadas.

2.3 Fase 1: Plan experimental

2.3.1 Matriz de experimentos

Para cumplir con los objetivos del presente trabajo de titulación, se diseñarán cuatro mezclas, a las cuales se les realizará ensayos para determinar sus propiedades mecánicas, resistencias y penetrabilidad de fluidos. En la tabla 1, se presentan las características de las cuatro mezclas, y en la tabla 2 la matriz de experimentos con los especímenes y ensayos a realizar para cada mezcla.

Tabla 1: Plan de mezclas a fabricar

ID	Cemento GU	Aditivo Impersan	Fibras de Nylon	Descripción
A	✓	-	-	Convencional
B	✓	✓	-	Con aditivo
C	✓	-	✓	Con fibras
D	✓	✓	✓	Con aditivo y fibras

Tabla 2: Matriz de experimentos para cada mezcla elaborada

Ensayo	Norma	Tamaño de la muestra	Dimensiones de especímenes (mm)	Edad (Días)
Resistencia a la compresión.	ASTM C39-14a	3 cilindros	Cilindros 100x200	28
Resistencia a la tracción indirecta.	ASTM C496-14a	3 cilindros	Cilindros 100x200	28
Módulo de elasticidad estático y coeficiente de Poisson.	ASTM C469	2 cilindros	Cilindros 150x300	28
Medición de la tasa de absorción de agua por hormigón de cemento hidráulico	ASTM C1585-04	2 discos	Discos 100 mm de diámetro X 50 mm de espesor	>60 días
Resistencia de la degradación del agregado grueso por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles	ASTM C131-14	9	Por peso	>60 días

2.3.2 Materiales

2.3.2.1 Árido grueso

El objetivo del trabajo es elaborar el hormigón con materiales disponibles en la ciudad de Quito, por ende, se eligió utilizar el agregado del Laboratorio de Hormigones de la Universidad San Francisco de Quito, ya que es de origen de la cantera de Pifo. Para los fines de construcción se eligió que el agregado grueso no sea superior a 3/8 (16mm), esto facilitara la colocación del material en la capsula y para la compactación. El árido grueso seleccionado es de buena calidad, no posee porosidades ni elementos que afecten a la mezcla del hormigón.

2.3.2.2 Árido fino

El árido fino que se utilizó proviene de la cantera de Pifo, por ende, se eligió utilizar este material debido a la gran disponibilidad del material para futuras replicas. Además, el árido fino tiene características considerables porque no contiene residuos orgánicos o elementos extraños que afecten a la mezcla.

2.3.2.3 Cemento

Se selecciona el cemento tipo GU debido a su disponibilidad local, costo, y diversidad de fabricantes. El producto se puede adquirir en diversas ferreterías de la ciudad. El cemento tipo GU está diseñado para todo tipo de construcción, las características dependen de las marcas, pero, al comparar entre algunas fichas técnicas de cemento mencionan que tiene excelente resistencia mecánica, y reduce el calor de hidratación (Holcim, Selva Alegre, 2017).

Es importante verificar la calidad del producto y que esté en condiciones adecuadas para su respectivo uso. El cemento hidráulico esta constituidos esencialmente por silicatos y aluminatos que, al ser mezclados con agua, generan

una reacción química provocando en el endurecimiento de la mezcla, por lo tanto, es importante que no tenga humedad. (Neville, 2011)

2.3.2.4 Fibras de Nylon

Las fibras de Nylon, son de 9 mm de largo. Para la dosificación, la empresa distribuidora recomendó que se divida en 4 partes iguales a la cantidad total. La cuarta parte de fibras se debe utilizar para mezclar con un saco de cemento de 50 kg. A pesar de que, las normas especifican proporciones específicas, se realizó la dosificación considerando lo dicho por la distribuidora. Además, recomiendan que se mezcle las fibras con el cemento para obtener una mezcla de hormigón más homogénea, y que las fibras se distribuyan en toda la mezcla.

Para fraccionar a las fibras, se pesó el paquete de fibras y éste peso dividió para cuatro. De esta manera, se obtuvo la fracción necesaria para utilizar con 1 saco de cemento de 50kg, sin embargo, para elaborar la cápsula no se requería utilizar todo el saco. Por lo tanto, mediante una relación entre el peso de las fibras y cantidad de cemento se obtuvo el peso oficial de las fibras a utilizar. Las fibras se desintegraron previo a mezclar directamente con el cemento, como se observa en la Figura 15.



Figura 15: Mezcla de fibras de nylon con cemento

2.3.2.5 Aditivos

Se seleccionó utilizar el aditivo Impersan, de la marca Aditec, debido a su disponibilidad en ferreterías principales de la ciudad. De acuerdo a su ficha técnica, es un plastificante e impermeabilizante integral para hormigón. Tiene un pH de 8 a

9, densidad $1,07 \pm 0,01$ (g/cm³), no contiene cloruros, y cumple con los requerimientos de la norma ASTM C-494 Tipo A (Especificación standard para aditivos químicos para hormigón). Además, facilita la colocación y vibrado, incrementa la resistencia mecánica hasta un 30%, además da impermeabilidad y durabilidad al hormigón.

Para la dosificación, se debe usar una dosis de 0,4% al 0,6% del peso del cemento. Es decir, 200cc a 300cc por saco de cemento considerando que el peso sea 50kg. El modo de empleo, no se debe añadir directamente al cemento o a los agregados secos, si no se debe agregar con un dosificador automático o manualmente el aditivo al restante de agua final de la mezcla, para obtener una mezcla más homogénea.

2.4 Metodología

A continuación, se describe la metodología utilizada para la fase experimental del presente trabajo de titulación.

2.4.1 Caracterización de los áridos

Se realizó el ensayo de granulometría aplicando la norma ASTM C33/33M-13 (Especificación Estándar para Agregados para Concreto). Este ensayo permite verificar el tamaño de las partículas que tiene el agregado. Para ello, se realizó la granulometría inversa del agregado grueso y fino con los tamices $\frac{3}{4}$, #4, #8, #16 y #50. Con los resultados obtenido se elabora la curva granulométrica presentada en la Figura 16 y se verifica que el material se ajusta a las condiciones del tamaño de piedra 9.

Para determinar la densidad y absorción del agregado se aplicó la norma ASTM C127-12 (Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Específica), y la Absorción de Agregados Gruesos) y

ASTM C128-04 (Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa -Gravedad Específica-, y la Absorción de Agregados Finos).

Tabla 3: Densidad y Absorción de los Agregados

Arena Fina		Arena Gruesa	
Absorción	2.2%	Absorción	2.1%
Densidad	2.7	Densidad	2.75

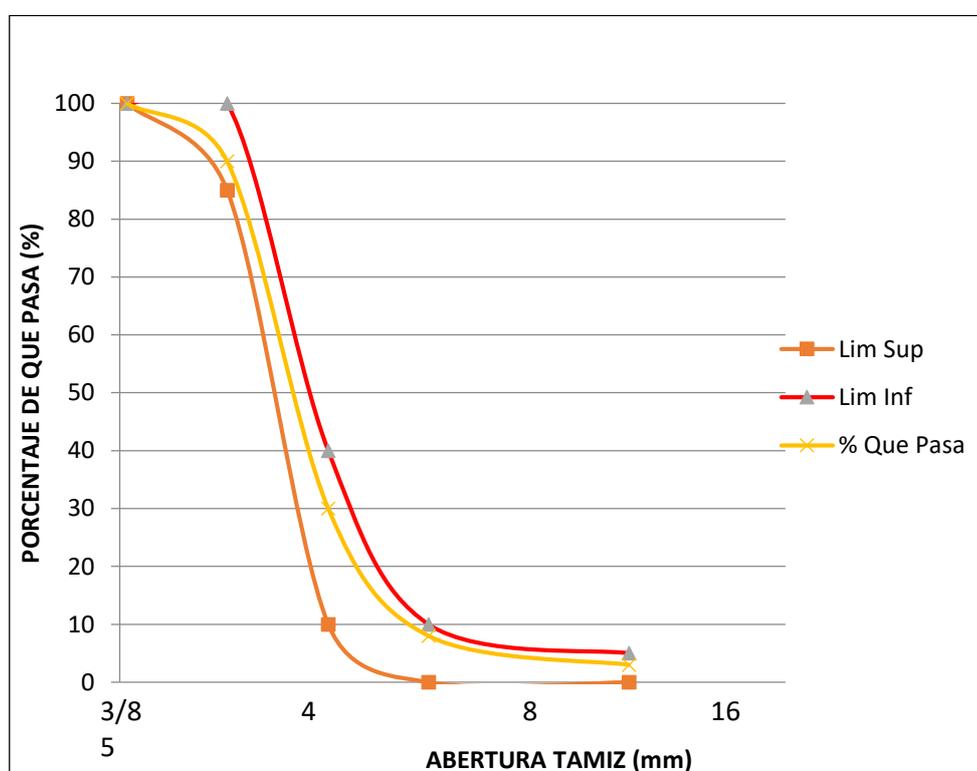


Figura 16: Granulometría de Piedra 9 de Acuerdo a la Norma ASTM C33-13

Para realizar el ensayo de granulometría se utilizó el agregado sin lavar, es decir, el material contenía cierto porcentaje de limos. Con la finalidad de que los resultados de laboratorio no varíen significativamente al de obra. A pesar de que, recomiendan lavar el agregado por la cantidad de limos que tiene, sin embargo, el costo de elaboración de la cápsula incrementaría y dificulta la capacidad para replicar el producto.

2.4.2 Diseño de mezclas

Las mezclas se diseñaron utilizando la metodología de la norma ACI 211.1 (2002) en base a los siguientes criterios:

- ✓ Buena trabajabilidad
- ✓ Relación agua-cemento cercana a 0,4
- ✓ Los criterios de la Tabla 1.

Para todos los diseños de mezclas se considera el uso del 60% de agregado grueso y 40% de agregado fino. El agregado grueso tiene una densidad de 2,75 g/cm³ y porcentaje de absorción de 2%, mientras que el agregado fino tiene densidad de 2,7 y porcentaje de absorción de 1,8%. Los aspectos técnicos son diferentes para cada mezcla porque depende de la relación agua/cemento y agregado/cemento, porcentaje de aire, densidad del aditivo, porcentaje de agua en el aditivo y densidad del cemento. En tabla 4, se presenta los datos utilizados para cada el diseño de cada mezcla.

Tabla 4: Datos técnicos para elaborar la dosificación

Aspecto Técnico / Mezcla	A	B	C	D
Agua/cemento	0,46	0,43	0,43	0,43
Agregado/cemento	2,3	2,3	2,3	2,3
% Cemento [%]	100	100	100	100
% Aditivo [%]		0,6	0,6	0,6
% Aire [%]	1	1	1	1
Densidad en aditivo [g/cm³]		1,071		1,071
% Agua en Aditivo [%]		70		70
Densidad de cemento [g/cm³]	2,4	2,4	2,4	2,4

2.4.3 Fabricación y preparación de especímenes

Para poder obtener los especímenes requeridos para cada ensayo, ver Tabla 2. Se elaboraron 7 especímenes de 150x200 mm para cada mezcla y 2 especímenes de 150x300 mm para cada mezcla. En total se elaboraron 28 cilindros de 100x200 mm y 8 cilindros de 150x200 mm. Las mezclas se realizaron aplicando la norma ASTM C192-14 y los cilindros se fabricación de acuerdo a la norma ASTM C39-14.

Después de 24 horas \pm 8 horas se debe remover los especímenes de los moldes, de acuerdo a la norma ASTM C192-14. Por lo tanto, se desencofró y etiqueto a los cilindros para evitar errores de identificación durante los ensayos.

Los especímenes fueron curados durante 28 días de acuerdo a la norma ASTM C192-14, a 23 ± 2 °C en agua saturada con hidróxido de calcio.

2.4.4 Ensayos

A continuación, se describe la metodología que se utilizó para elaborar los ensayos de los especímenes de hormigón.

2.4.4.1 Ensayo de resistencia a la compresión de los especímenes.

Aplicando la norma ASTM C39-14, el cual consiste en aplicar una carga de compresión axial a cilindros o núcleos a una velocidad dada dentro de un rango hasta que ocurra la falla, observar Figura 17. La fuerza de compresión se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada para el área de sección transversal del espécimen.



Figura 17: Ensayo De Resistencia a la Compresión

2.4.4.2 Ensayo de resistencia a la tracción indirecta de especímenes.

Aplicando la norma ASTM C496-14. De acuerdo a la norma este método consiste en aplicar una fuerza de compresión diametral a lo largo del espécimen a una velocidad específica hasta que ocurra la falla, observar la Figura 18. La carga provoca tensiones de tracción en el plano que resiste la carga aplicada y también fuerzas de compresión que son relativamente altas en el área alrededor de la carga aplicada.



Figura 18: Ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta

Para el desarrollo del ensayo se utilizó tiras finas de madera contrachapada con el fin de distribuir la carga aplicada a lo largo de todo el espécimen. Se realizaron trazos indicando el centro exacto del espécimen para colocar las tiras de madera alineadas y así obtener mejores resultados.

2.4.4.3 Ensayo de módulo de elasticidad estático del concreto en compresión.

Aplicando la norma ASTM C469-14. Este método de prueba proporciona un valor de relación tensión / deformación y una relación de deformación lateral a longitudinal para endurecido concreto a cualquier edad y condiciones de curado pueden ser designada.



Figura 19: Ensayo de Módulo de Elasticidad y coeficiente de Poisson.

Los especímenes de 150x300 mm se utilizaron para realizar esta prueba, y para obtener resultados más efectivos se procedió a pulir las áreas transversales de cada espécimen. De esta forma se evita que la carga transmitida no sea interferida por ninguna irregularidad presente en los especímenes, Figura 19.

En las tablas presentadas a continuación se detalla las dimensiones de los especímenes y que tipo de carga se aplicó. Porque, según la norma al momento de realizar la prueba el cilindro se debe someter al 40% de la carga obtenida por el método de compresión del hormigón.

2.4.4.4 Ensayo de medición de la tasa de absorción de agua por hormigón de cemento hidráulico.

Se aplica la norma ASTM C1585-04, este ensayo se mide el aumento de la masa de una muestra como resultado de la absorción de agua en relación con el tiempo. Manteniendo solo una cara del espécimen en contacto con el agua.

Además, determina la susceptibilidad del hormigón no saturado a la penetración del agua.

2.4.4.5 Ensayo de resistencia de la degradación del agregado grueso por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles.

Este ensayo fue elaborado con la norma ASTM C131-14, (Resistencia por abrasión de los agregados), debido a que el laboratorio de hormigones de la

Universidad San Francisco de Quito no dispone del equipo para elaborar el ensayo como específico la norma ASTM C944 o ASTM C1138. Los fundamentos de la norma ASTM C131-14, permite obtener la resistencia a la degradación de los agregados gruesos con un tamaño mayor a 37.5 milímetros. Es importante realizar este ensayo ya que incluye la combinación de diversas acciones en las que incluye abrasión, desgaste, impacto y molienda en un tambor de acero.

De acuerdo a la norma ASTM C 131-14, se fraccionó a los especímenes de hormigón en formas triangulares y simétricas, para colocar en la máquina de los Ángeles. Los cubos de hormigón fueron extraídos de los cilindros especímenes elaborados para cada mezcla. Primero, se dividió a los cilindros en 4 discos de 15 cm de espesor, después se fraccionó en 4 partes a los discos, como se observa en la Figura 20.



Figura 20: Muestra para elaborar ensayo por abrasión de hormigón

De acuerdo a la norma ASTM C131-14; se utilizó 11 esferas, 500 revoluciones por minuto. El peso de las 11 esferas es de 4533, por tanto, el peso de cada muestra tenía que estar en rangos cercanos. Entonces, se utilizaban cubos de hormigón necesarios para obtener un peso aproximado al de las esferas.

En la máquina de los Ángeles, se colocó la muestra de cubos de hormigón junto con la carga (esferas), y se esperó que complete las 500 revoluciones. Al finalizar, se colocó la muestra de hormigón en un tamiz de 3/8 para separar a las partículas

finas. Finalmente, se pesó los cubos de hormigón, como se observa Figura 21 y también la cantidad de material fino. El objetivo fue obtener un porcentaje de diferencia entre el peso inicial y final de los cubos de hormigón después de realizar el ensayo de resistencia a la abrasión.

Es importante recordar, que los resultados finales no son exactos ni es el proceso es el adecuado para medir el desgaste del hormigón. Sin embargo, los resultados obtenidos facilitaron obtener información para comparar el desgaste del hormigón de las 4 mezclas.



Figura 21: Muestra de hormigón después del ensayo por abrasión

2.5 Resultados

2.5.1 Ensayo de resistencia a la compresión de los especímenes.

En la Tabla 5 se presenta los resultados individuales de cada mezcla, y en la Figura 22, se presenta los resultados promedios para cada mezcla.

Tabla 5: Resultados Obtenidos del Ensayo de Resistencia a Compresión para los Especímenes de todas las Mezclas.

Mezcla	Espécimen	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Mpa	Promedio
"A"	1	102,7	200,5	31,2	33,7
	2	101,7	201,6	39,7	
	3	101,8	201,6	30,3	
"B"	1	100,3	203,0	53,2	52,3
	2	101,0	202,0	52,3	
	3	101,0	203,0	51,4	
"C"	1	101,8	203,3	41,1	36,6
	2	102,5	200,7	35,9	
	3	102,8	202,0	32,9	
"D"	1	102,6	202,5	56,5	57,3
	2	102,9	202,0	57,29	
	3	102,6	203,9	57,97	

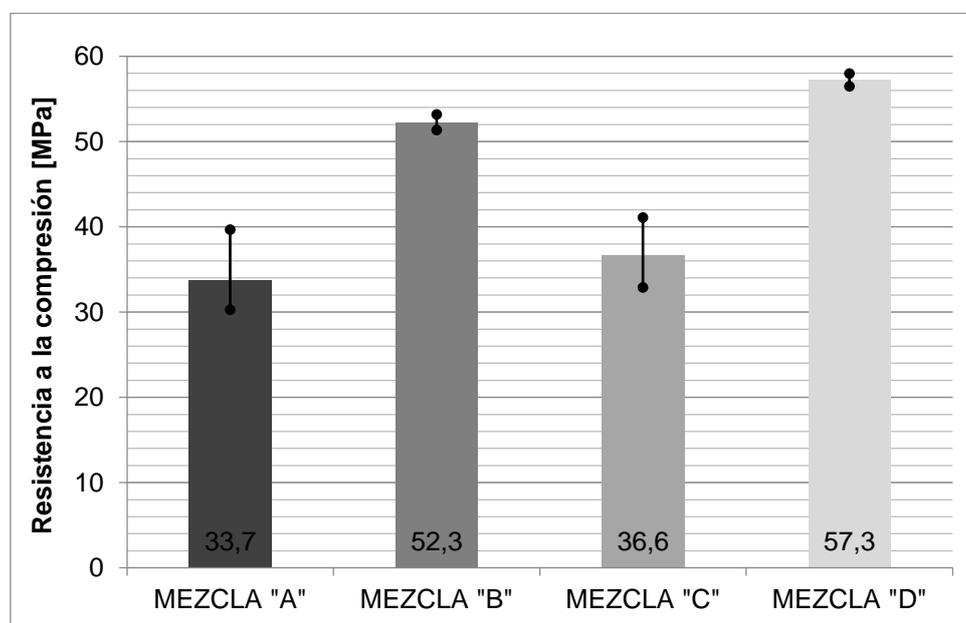


Figura 22: Resumen de Resultados Obtenidos del Ensayo de Compresión para los Especímenes de todas las Mezclas

2.5.2 Ensayo de resistencia a la tracción indirecta de especímenes.

En la Tabla 6, se presenta los resultados individuales de cada mezcla, y en la Figura 23, se presenta los resultados promedios para cada mezcla.

Tabla 6: Resultados Obtenidos del Ensayo de Resistencia a Tracción Indirecta

Mezcla	Espécimen	Diámetro [mm]	Altura [mm]	Resistencia [MPa]	Promedio [Mpa]
"A"	1	102,5	201,1	4,3	4,8
	2	102,5	202,4	5,0	
	3	102,8	201,7	5,1	
"B"	1	101,0	203,0	5,1	4,6
	2	102,0	203,0	4,3	
	3	103,0	200,0	4,5	
"C"	1	102,8	203,9	4,3	4,6
	2	102,4	202,8	4,4	
	3	102,2	202,7	5,0	
"D"	1	102,1	202,5	5,2	5,3
	2	102,5	202,6	5,0	
	3	102,5	201,4	5,8	

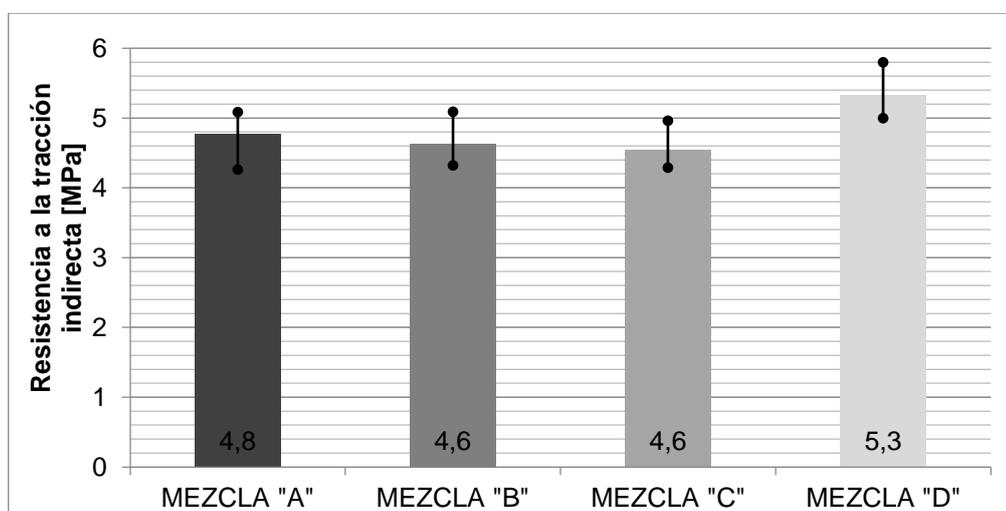


Figura 23: Resumen de Resultados Obtenidos del Ensayo de Resistencia a Tracción Indirecta

2.5.3 Ensayo de módulo de elasticidad estático del concreto en compresión.

En la Tabla 7, se presenta los resultados individuales de cada mezcla, y en la Figura 24 y 25, se presenta los resultados obtenidos del promedio de 2 cilindros.

Tabla 7: Informe de resultados obtenidos del Ensayo de Módulo de Elasticidad

Mezcla	Espécimen	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Módulo de Elasticidad [GPa]	Promedio [GPa]	Coefficiente de Poisson	Promedio
"A"	1	152,5	300,0	21,0	20,8	0,2	0,2
	2	152,0	302,0	20,6		0,2	
"B"	1	152,5	303,0	22,6	21,1	0,2	0,2
	2	153,0	303,0	19,6		0,3	
"C"	1	152,0	299,0	18,0	18,5	0,2	0,2
	2	152,5	300,0	19,0		0,2	
"D"	1	152,0	301,0	20,8	21,5	0,2	0,2
	2	152,0	302,0	22,2		0,2	

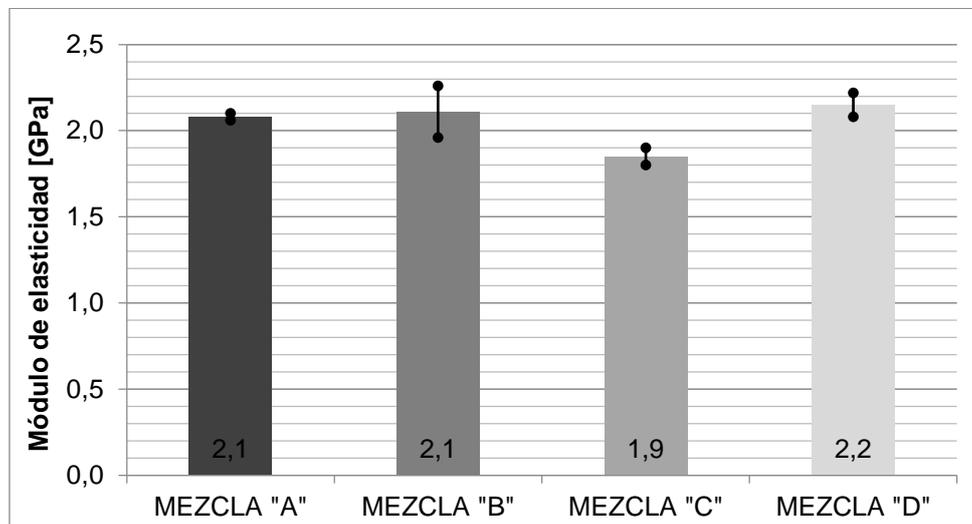


Figura 24: Resultados obtenidos del Ensayo de Módulo de Elasticidad (GPa)

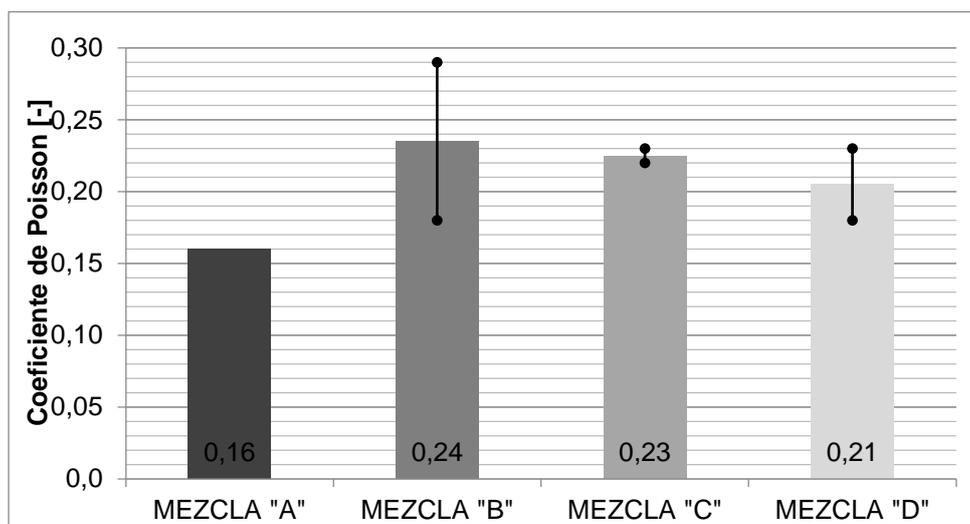


Figura 25: Resultados obtenidos del coeficiente de Poisson

2.5.4 Ensayo de medición de la tasa de absorción de agua por hormigón de cemento hidráulico.

A continuación se presenta el reporte de resultados obtenidos:

Tabla 8: Informe de resultados de la absorción de los especímenes A1 y A2

Tiempo de ensayo		Tiempo ^{1/2} [s]	Mezcla "A" - Espécimen 1			Mezcla "A" - Espécimen 2		
			Masa [g]	Δmasa [g]	Δmasa/area/dW I [mm]	Masa [g]	Δmasa [g]	Δmasa/area/dW I [mm]
Días	s							
	0	0	926,0	0,0	0,0000	845,10	0,00	0,0000
	60	8	928,0	2,0	0,2424	846,95	1,85	0,2271
	300	17	929,5	3,5	0,4310	848,00	2,90	0,3559
	600	24	930,2	4,2	0,5191	848,63	3,53	0,4333
	1200	35	931,4	5,4	0,6587	849,52	4,42	0,5425
	1800	42	932,1	6,1	0,7506	850,17	5,07	0,6223
	3600	60	933,7	7,7	0,9379	851,23	6,13	0,7524
	7200	85	935,1	9,1	1,1191	852,17	7,07	0,8678
	10800	104	936,3	10,3	1,2660	852,91	7,81	0,9586
	14400	120	937,0	11,0	1,3517	853,44	8,34	1,0237
	18000	134	937,8	11,8	1,4423	853,83	8,73	1,0715
	21600	147	938,4	12,4	1,5158	854,17	9,07	1,1133
1	92520	304	944,1	18,1	2,2113	857,26	12,16	1,4925
2	193200	440	946,9	20,9	2,5529	858,99	13,89	1,7049
3	268500	518	948,6	22,6	2,7610	860,22	15,12	1,8558
5	432000	657	949,7	23,7	2,9043	861,15	16,05	1,9700
6	527580	726	950,7	24,7	3,0292	862,79	17,69	2,1713
7	622200	789	951,5	25,5	3,1210	862,46	17,36	2,1308
8	691200	831	952,0	26,0	3,1834	862,74	17,64	2,1651

Tabla 9: Informe de resultados de la absorción de los especímenes B1 y B2

Tiempo de ensayo		Tiempo ^{1/2} [s]	Mezcla "B" - Espécimen 1			Mezcla "B" - Espécimen 2		
			Masa [g]	Δmasa [g]	Δmasa/area/dW I [mm]	Masa [g]	Δmasa [g]	Δmasa/area/dW I [mm]
Días	s							
	0	0	883,08	0,00	0,0000	795,46	0,00	0,0000
	60	8	885,09	2,01	0,2468	797,07	1,61	0,1981
	300	17	886,00	2,92	0,3586	797,90	2,44	0,3002
	600	24	886,64	3,56	0,4372	798,30	2,84	0,3494
	1200	35	887,21	4,13	0,5072	798,70	3,24	0,3987
	1800	42	887,66	4,58	0,5624	799,23	3,77	0,4639
	3600	60	888,18	5,10	0,6263	800,02	4,56	0,5611
	7200	85	888,75	5,67	0,6963	800,85	5,39	0,6632
	10800	104	889,12	6,04	0,7417	801,67	6,21	0,7641
	14400	120	889,43	6,35	0,7798	802,21	6,75	0,8305
	18000	134	889,69	6,61	0,8117	802,60	7,14	0,8785
	21600	147	889,81	6,73	0,8264	803,02	7,56	0,9302
1	92520	304	891,31	8,23	1,0107	806,76	11,30	1,3904
2	193200	440	891,92	8,84	1,0856	808,38	12,92	1,5897
3	268500	518	892,56	9,48	1,1642	809,58	14,12	1,7374
5	432000	657	892,9	9,82	1,2059	810,15	14,69	1,8075
6	527580	726	893,16	10,08	1,2378	811,42	15,96	1,9638
7	622200	789	893,36	10,28	1,2624	811,78	16,32	2,0081
8	691200	831	893,49	10,41	1,2784	812,14	16,68	2,0523

Tabla 10: Informe de resultados de la absorción de los especímenes C1 y C2

Tiempo de ensayo		Tiempo ^{1/2} [s]	Mezcla "C" - Espécimen 1			Mezcla "C" - Espécimen 2		
Días	s		Masa [g]	Δmasa [g]	Δmasa/area/dW I [mm]	Masa [g]	Δmasa [g]	Δmasa/area/dW I [mm]
	0	0	944,61	0,00	0,0000	795,46	0,00	0,0000
	60	8	947,26	2,65	0,3275	797,07	1,61	0,1981
	300	17	948,99	4,38	0,5413	797,90	2,44	0,3002
	600	24	950,28	5,67	0,7007	798,30	2,84	0,3494
	1200	35	952,25	7,64	0,9442	798,70	3,24	0,3987
	1800	42	953,33	8,72	1,0777	799,23	3,77	0,4639
	3600	60	955,94	11,33	1,4003	800,02	4,56	0,5611
	7200	85	958,99	14,38	1,7772	800,85	5,39	0,6632
	10800	104	961,06	16,45	2,0330	801,67	6,21	0,7641
	14400	120	962,69	18,08	2,2345	802,21	6,75	0,8305
	18000	134	963,69	19,08	2,3581	802,60	7,14	0,8785
	21600	147	965,03	20,42	2,5237	803,02	7,56	0,9302
1	92520	304	975,56	30,95	3,8251	806,76	11,30	1,3904
2	193200	440	978,72	34,11	4,2156	808,38	12,92	1,5897
3	268500	518	980,12	35,51	4,3886	809,58	14,12	1,7374
5	432000	657	981,00	36,39	4,4974	810,15	14,69	1,8075
6	527580	726	981,69	37,08	4,5827	811,42	15,96	1,9638
7	622200	789	982,25	37,64	4,6519	811,78	16,32	2,0081
8	691200	831	982,70	38,09	4,7075	812,14	16,68	2,0523

Tabla 11: Informe de resultados de la absorción de los especímenes D1 y D2

Tiempo de ensayo		Tiempo ^{1/2} [s]	Mezcla "D" - Espécimen 1			Mezcla "D" - Espécimen 2		
Días	s		Masa [g]	Δmasa [g]	Δmasa/area/dW I [mm]	Masa [g]	Δmasa [g]	Δmasa/area/dW I [mm]
	0	0	902,54	0,00	0,0000	795,46	0,00	0,0000
	60	8	903,72	1,18	0,1443	797,07	1,61	0,1981
	300	17	904,55	2,01	0,2459	797,90	2,44	0,3002
	600	24	905,07	2,53	0,3095	798,30	2,84	0,3494
	1200	35	905,68	3,14	0,3841	798,70	3,24	0,3987
	1800	42	906,21	3,67	0,4489	799,23	3,77	0,4639
	3600	60	906,93	4,39	0,5370	800,02	4,56	0,5611
	7200	85	907,80	5,26	0,6434	800,85	5,39	0,6632
	10800	104	908,47	5,93	0,7254	801,67	6,21	0,7641
	14400	120	908,96	6,42	0,7853	802,21	6,75	0,8305
	18000	134	909,34	6,80	0,8318	802,60	7,14	0,8785
	21600	147	909,67	7,13	0,8721	803,02	7,56	0,9302
1	92520	304	913,40	10,86	1,3284	806,76	11,30	1,3904
2	193200	440	916,11	13,57	1,6599	808,38	12,92	1,5897
3	268500	518	917,93	15,39	1,8825	809,58	14,12	1,7374
5	432000	657	919,27	16,73	2,0464	810,15	14,69	1,8075
6	527580	726	920,11	17,57	2,1492	811,42	15,96	1,9638
7	622200	789	921,33	18,79	2,2984	811,78	16,32	2,0081
8	691200	831	921,86	19,32	2,3632	812,14	16,68	2,0523

En la Figura 26, se presenta las gráficas de la relación de absorción y raíz cuadrada del tiempo, para todas las mezclas.

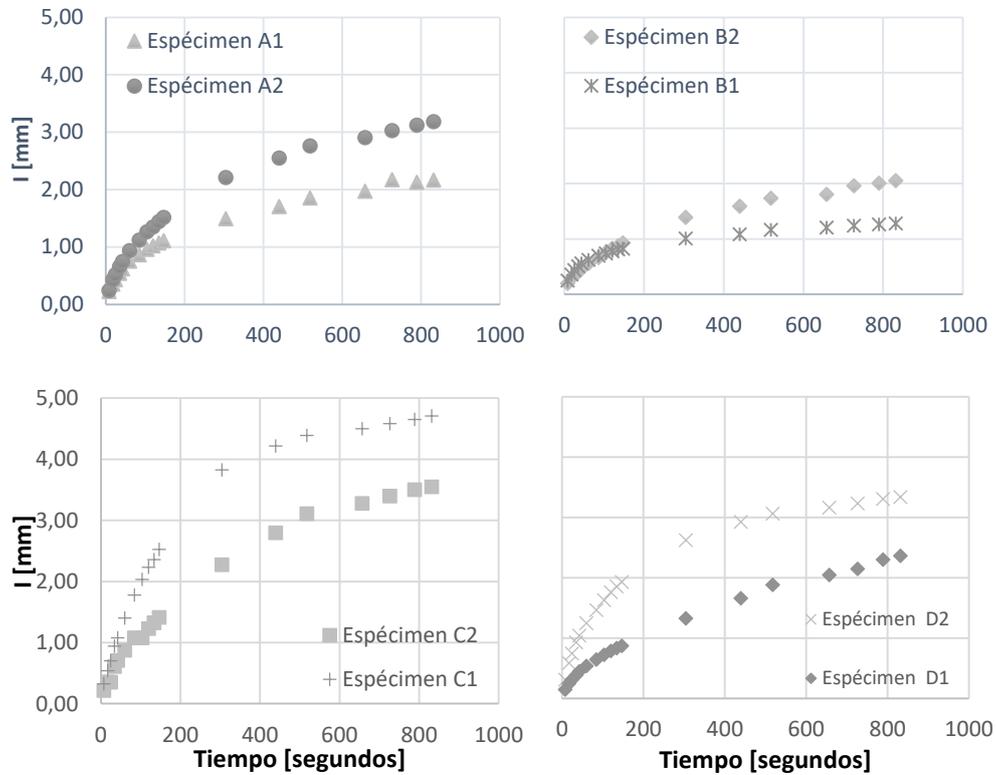


Figura 26: Gráfica de absorción, I , en mm versus la raíz cuadrada de tiempo en $s^{1/2}$

En la Tabla 12, se presenta los resultados promedios de la tasa de absorción inicial y secundaria de cada mezcla. En la Tabla 30, se presenta la comparación entre la tasa de absorción inicial y final.

Tabla 12: Resultados de la tasa de absorción inicial y secundaria para todas las mezclas

	Si: Tasa de Absorción inicial [mm/s ^{1/2}]	Ss: Tasa de Absorción secundaria [mm/s ^{1/2}]
A1	0,0094	0,0018
A2	0,0067	0,0009
Promedio	0,0081	0,0013
B1	0,0045	0,0005
B2	0,0055	0,0012
Promedio	0,0050	0,0009
C1	0,0163	0,0015
C2	0,0088	0,0023
Promedio	0,0126	0,0019
D1	0,0054	0,0019
D2	0,0118	0,0013
Promedio	0,0086	0,0016

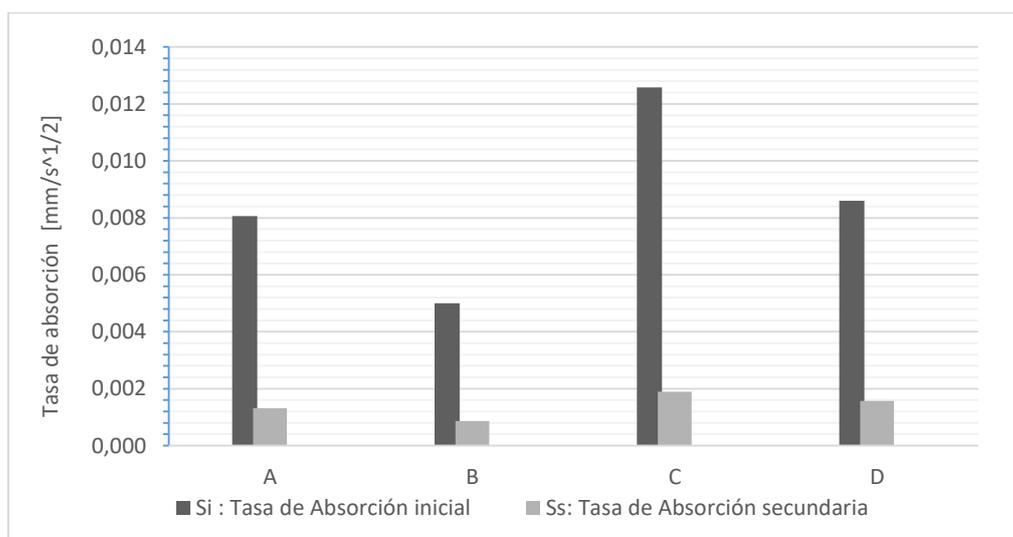


Figura 27: Comparación de tasa inicial versus secundaria para cada mezcla

2.5.5 Ensayo de resistencia de la degradación del agregado grueso por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles.

En la Tabla 13, se presenta el porcentaje de desgaste para cada mezcla.

Tabla 13: Resultados Ensayo de Resistencia de la Degradación del Hormigón, por Abrasión e Impacto en la Máquina de los Ángeles de Acuerdo a la Norma ASTM C131-14

MEZCLA	#	A	B	C	D
<i>Carga [g]</i>	11	4533,5	4533,5	4533,5	4533,5
<i>Peso inicial de la mezcla [g]</i>		4336,5	4419	4350	445
<i>Se ensaya a 500 revoluciones</i>					
<i>Peso de mezcla puro [g]</i>		3578	3395	3633,5	3893
<i>Peso de material suelto [g]</i>		14,5	71,5	15	4,5
<i>Peso total de la mezcla [g]</i>		3592,5	3466,5	3648,5	3897,5
<i>Peso de material fino [g]</i>		757	938	694	545
<i>Peso (Oven Dry) [g]</i>		3545,5	3342	3617	3854,5
<i>Porcentaje de desgaste [%]</i>		18,2	24,4	16,9	13,5

2.5.6 Costo por metro cúbico de las mezclas de hormigón

En esta sección se presenta el resultado de costo por metro cúbico de las cuatro mezclas de hormigón, Tabla 15, 16, 17, 18. Para el análisis se consideró los precios comerciales de cada material presentados en la Tabla 14.

Tabla 14: Precios comerciales de los materiales para fabricar el hormigón

Materiales	Cantidad	Unidad	Costo	Costo/ Unidad
Cemento	50	kg	8,25	0,1650
Ripio	48	kg	1,00	0,0208
Arena	48	kg	1,13	0,0235
Aditivo	4	kg	5,62	1,4050

Fibras	608	g	7,84	0,0129
Agua	1	m3	0,28	0,2800

Tabla 15: Costos por metro cúbico de hormigón para la mezcla A

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO [USD/Kg]	C.U. [USD/m3]
Cemento GU	kg	554,7	0,1650	91,53
Ripio	kg	781,5	0,0208	16,26
Arena	kg	519,5	0,0235	12,21
Agua	m3	0,280	0,2800	0,08
COSTO TOTAL				120,07

Tabla 16: Costos por metro cúbico de hormigón para la mezcla B

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO [USD/Kg]	C.U. [USD/m3]
Cemento GU	kg	563,7	0,1650	93,01
Ripio	kg	794,3	0,0208	16,52
Arena	kg	527,9	0,0235	12,41
Aditivo Impersan	kg	3,380	1,4050	4,75
Agua	m3	0,266	0,2800	0,07
COSTO TOTAL				126,76

Tabla 17: Costos por metro cúbico de hormigón para la mezcla C

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO [USD/Kg]	C.U. [USD/m3]
Cemento GU	kg	564,2	0,1650	93,09
Ripio	kg	794,9	0,0208	16,53
Arena	kg	528,4	0,0235	12,42
Fibras de Nylon 9mm	g	1.372	0,0129	17,70
Agua	m3	0,268	0,2800	0,08
COSTO TOTAL				139,82

Tabla 18: Costos por metro cúbico de hormigón para la mezcla D

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO [USD/Kg]	C.U. [USD/m3]
Cemento GU	kg	542,1	0,1650	89,45
Ripio	kg	761,5	0,0208	15,84
Arena	kg	508,7	0,0235	11,95
Aditivo Impersan	kg	3,250	1,4050	4,57
Agua	m3	0,292	0,2800	0,08
Fibras de Nylon 9mm	g	1.318	0,0129	17,00

	COSTO TOTAL			138,89

2.6 Análisis de resultados

2.6.1 Criterios para matriz de decisión

En esta sección, se define los rangos para cada criterio que será utilizado para realizar la matriz de decisiones.

La resistencia a la compresión es una característica de gran importancia que se busca en el hormigón, por ende, mientras mayor sea la resistencia el puntaje será mayor.

Tabla 19: Criterios ponderados para resistencia compresión

Resistencia [MPa]	Alta (>40)	Normal (40-30)	Baja (30-20)	Muy Baja (20-0)
Puntaje	4	3	2	1

Una característica fundamental en el hormigón buscado es que la resistencia a tensión sea lo suficientemente resistente para evitar fisuras o agrietamientos. Por lo tanto, el puntaje será mayor mientras la resistencia sea mayor.

Tabla 20: Criterios ponderados para resistencia a tensión

Resistencia [MPa]	Alta (>5)	Normal (5-3)	Baja (3-2)	Muy Baja (<2)
Puntaje	4	3	2	1

Se considera que el desgaste del hormigón debe ser menor para incrementar la durabilidad del hormigón. Por ende, el puntaje será mayor si el porcentaje de pérdida es menor.

Tabla 21: Criterios ponderados para resistencia a la abrasión

Porcentaje de Pérdida [%]	Alto (>20)	Normal (20-15)	Bajo (15-5)	Muy Bajo (<5)
Puntaje	1	2	3	4

Se considera que mientras menor sea el módulo de elasticidad, mayor será el puntaje. Por efectos de las características del hormigón buscado. La cantidad de energía que resistirá el hormigón después de imponer una carga será mayor mientras el módulo sea menor.

Tabla 22: Criterios ponderados para módulo de elasticidad

Módulo Elástico	Alto (>24)	Normal (24-22)	Bajo (22-20)	Muy bajo (0-20)
Puntaje	1	2	3	4

El coeficiente de Poisson proporciona la medida del estrechamiento de una sección de hormigón. Por lo tanto, el puntaje disminuye a medida que el coeficiente va aumentando. Se evalúa de esta manera porque las deformaciones de la sección aumentan.

Tabla 23: Criterios ponderados para coeficiente de poisson

Descripción	Alto (>0.2)	Normal (0.2-0.1)	Bajo (<0.1)	Muy bajo (0)
Puntaje	1	2	3	4

La tasa de absorción inicial es importante porque mide el incremento de agua durante las primeras 6 horas del ensayo. Por lo tanto, el puntaje será menor mientras la tasa de absorción sea mayor.

Tabla 24: Criterios ponderados para tasa de absorción inicial

Tasa de absorción inicial	Alto (>0.01)	Normal (0.01 -0.008)	Bajo (0.008 – 0.006)	Muy Bajo (<0.006)
Puntaje	1	2	3	4

La tasa de absorción secundaria permite mantener el control del incremento de agua durante la vida útil del hormigón. Por lo tanto, si la tasa de absorción es menor el puntaje será mayor.

Tabla 25: Criterios ponderados para tasa de absorción secundaria

Tasa de absorción secundaria	Alto (>0.001)	Normal (0.001 -0.0008)	Bajo (0.0008 – 0.0006)	Muy Bajo (<0.0006)
Puntaje	1	2	3	4

El costo otro criterio de gran importancia, por lo tanto, se evalúa que si el costo por metro cúbico de hormigón es menor a 120 tendrá el puntaje máximo. Pero si incrementa el costo, el puntaje disminuirá.

Tabla 26: Criterio para costo unitario

Costo Cápsula [\$]	Alto (>140)	Normal (140-130)	Bajo (130-120)	Muy Bajo (<120)
Puntaje	1	2	3	4

2.6.2 Matriz de decisión

A continuación, en la Tabla 27 se presenta la matriz de decisiones para elegir la mezcla de hormigón adecuada.

Tabla 27: Matriz de decisión

Criterios	Resistencia Compresión [MPa]	Resistencia Tensión [MPa]	Desgaste por Abrasión [%]	Módulo de Elasticidad [GPa]	Coefficiente Poisson [-]	Tasa de Absorción Inicial [mm/s ^{1/2}]	Tasa de Absorción Secundaria [mm/s ^{1/2}]	Costo Unitario [USD]	Puntaje total
Puntaje de Importancia	10	10	8	2	1	8	5	10	54
A	33,7	4,8	18,2	20,5	0,15	0,0081	0,0013	120,77	
	3	3	3	3	2	2	1	4	
	30	30	24	6	2	16	5	40	153
B	52,3	4,6	24,4	22,1	0,21	0,005	0,0009	127,48	
	4	3	1	2	1	3	2	3	
	40	30	8	4	1	24	10	30	147
C	36,6	4,6	16,9	17,9	0,17	0,0126	0,0019	140,54	
	3	3	3	4	2	1	1	1	
	30	30	24	8	2	8	5	10	117
D	57,3	5,4	13,5	20,3	0,21	0,0086	0,0016	139,57	
	4	4	4	3	1	2	1	2	
	40	40	32	6	1	16	5	20	160

2.7 Fase 2: Diseño de la cápsula

Para elaborar el diseño de la cápsula se evaluaron diferentes factores como: uso, forma, dimensiones, y materiales.

2.7.1 Conceptualización y uso

El diseño de la cápsula se conceptualizó con los siguientes criterios:

- a) Forma y dimensiones que permitan utilizar las capsulas para mobiliaria urbano, paisajismo, o sistemas de contención pequeños.
- b) Que permita un manejo fácil con equipo liviano, y que a la vez restrinja el hurto.
- c) Resistente a impactos y vandalismo que pueda darse durante la vida útil como mobiliario urbano, o durante la carga, transporte y descarga de las cápsulas en particular si son erróneamente descargados como escombros en escombreras o rellenos sanitarios.
- d) Que permita un proceso constructivo fácil y replicable.
- e) Con considerable resistencia al impacto, a la abrasión y con baja transportabilidad de fluidos para evitar el contacto de las pilas y su lixiviación con los elementos externos, en particular el agua.

2.7.2 Forma de la cápsula

Se evaluaron diversas propuestas como ovalada, rectangular, cuadrada y otras figuras asimétricas. En cada una de ellas se evaluó que la cantidad de pilas a colocar dentro sea lo suficiente para justificar su uso.

Considerando que la cápsula sea ovalada, dificultaba la construcción del encofrado y el proceso constructivo. Las posibilidades de uso eran mínimas, sin embargo, la cantidad de pilas a colocar podría ser significativa. También, se analizó construir figuras rectangulares como se observa en la Figura 28. Tiene 4 lados rectos, por lo tanto, facilitaría el proceso constructivo del encofrado y cápsula. Sin embargo, se consideró

como una figura muy básica y típica. No obstante, por su forma las posibilidades de aplicación eran varias, como: muros, bancas, mesas, etc.



Figura 28: Muro de contención de hormigón

Fuente: (Eurobeton, 2011)

También se analizó elaborar bloques en forma de legos. Las aplicaciones de uso era varias como: paredes, formar bancas o mesas, y cualquier figura. No obstante, la forma de lego dificulta la construcción del encofrado por las asimetrías en la parte superior y dificultaría la colocación de pilas. En la Figura 29, se presenta la opción de bloque de hormigón en forma de lego.



Figura 29: Bloques de concreto o lego

Fuente: (Empresa ArcusGlobal, 2016)

Elaborar una cápsula similar a un adoquín fue otra de las opciones, considerando que se aplicaría únicamente para construir vías peatonales y de ciclistas. La forma del

adoquín es simétrica de 6 lados rectos, por lo tanto, facilita el proceso constructivo y la elaboración del encofrado. En la Figura 30, se presenta la forma típica del adoquín.



Figura 30: Adoquín de 6 lados rectos.

Fuente: (Diseñadora Arctectum, s/f)

Después de analizar las ventajas y desventajas de las 4 formas, se desarrolló un resumen de todas las ideas y de esta manera definir la forma final de la cápsula. Por tanto, la forma ovalada y rectangular de bloque de lego se descartó debido a la asimetría de las dos formas, ya que complicaría la construcción del encofrado y proceso constructivo de la cápsula. La forma rectangular se descartó porque es una forma tradicional y simple.

Se escogió la forma hexagonal ya que permite jugar al constructor con la forma de legos. Además, tiene 6 lados iguales que facilitan el proceso constructivo y elaboración del encofrado. En la Figura 31, se muestran algunas configuraciones analizadas, y la versatilidad que ofrece un prisma hexagonal.

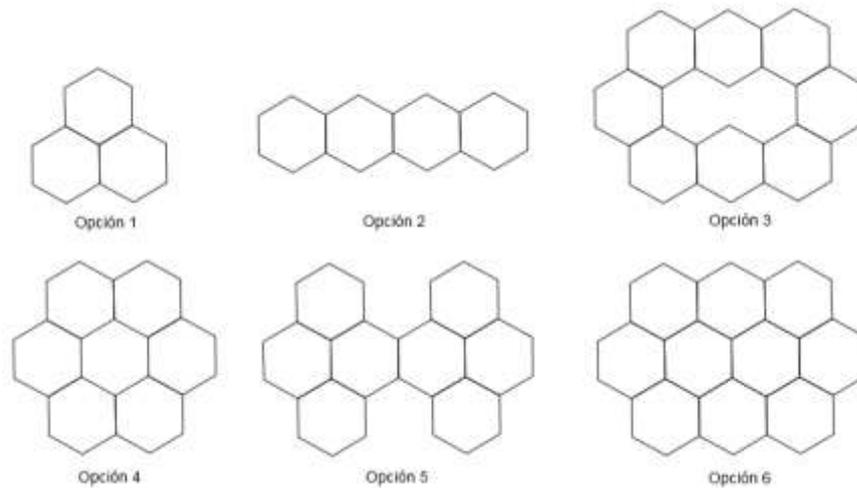


Figura 31: Configuraciones analizadas con la forma hexagonal.

2.7.3 Ergonomía de la cápsula

Se realizó el diseño ergonómico de la cápsula considerando su forma predefinida. Para que su uso sea de mobiliaria urbano se analizó la ergonómica, de manera, que puedan usarse como banca. El diseño ergonómico es aquel que considera las dimensiones antropométricas del usuario final. “La aplicación de los criterios antropométricos al diseño mobiliario se basa en el establecimiento de determinadas relaciones entre las dimensiones del mueble y las dimensiones relaciones del usuario” (Vergara, Page, 1998). El criterio de diseño para una banca se enfoca en la postura normalizada estándar, Figura 32.



Figura 32: Postura sentada normalizada
Fuente: (Vergara, Page, 1998).

En Ecuador realizaron un estudio de antropometría en la región sierra con el objetivo de utilizar la información para el diseño de maquinarias, instalaciones públicas, etc. De este estudio se obtiene los siguientes datos antropométricos: La altura de la rodilla de un individuo es de 52,39 cm para hombres y 48,50 cm para mujeres. El ancho de las caderas (posición sentado) para mujeres es 35,63 cm y para hombres 35,62 cm. La información obtenida representa al porcentaje mayor de ciudadanos ubicados en la zona urbana, de igual manera, representa al 50% de la población que se encuentra en un rango de edad entre 20 y 40 años (Lema, 2013).

De acuerdo a tablas de dimensiones antropométricas para elementos de descanso que favorecen un uso mayoritario se destacan los siguientes datos: altura del asiento debe estar entre 38 – 40 cm, la profundidad entre 40 – 42 cm (Vergara, Page, 1998). Es importante considerar estas medidas porque la altura de una banca implica en la acción de levantarse ya que produciría inestabilidad al momento de impulsarse y también el usuario debe descansar los pies en el piso. El ancho de una banca se considera para que las caderas del usuario no sobresalgan lateralmente de la silla. Por ende, se consideró que la altura sea 50 cm y el ancho de 30 cm. El ancho se considera de 30 cm porque se utilizarán dos capsulas para formar una silla. La altura de 50 cm considerando que 10 cm será para empotrar la banca.

Además, se limitó las medidas para evitar que incremente el peso de la cápsula. Sin embargo, el peso de cápsula supera los 25 kg, siendo este el peso máximo que recomiendan para que el personal pueda manipular la carga (Sepruma, 2006).

En general las personas pueden manipular cargas de 25 kg, pero, en circunstancias especiales los trabajadores entrenados físicamente podrían manipular cargas de hasta 40kg siempre que la tarea se realice con la protección adecuada (Sepruma, 2006). Por lo tanto, la movilización de la cápsula lo debe realizar aproximadamente tres personas, para que la distribución de carga sea aceptable y evitar problemas de salud físicos. Estás

medidas también se han escogido con el fin de evitar el hurto o vandalismo. En la Figura 36 y 37 se presenta el diseño y dimensionamiento definido para la cápsula.

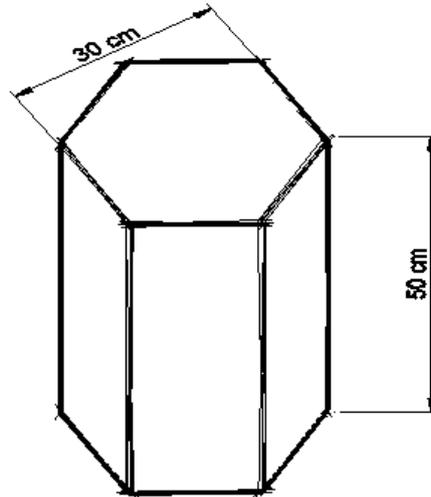


Figura 33: Vista frontal del diseño y dimensionamiento de la cápsula

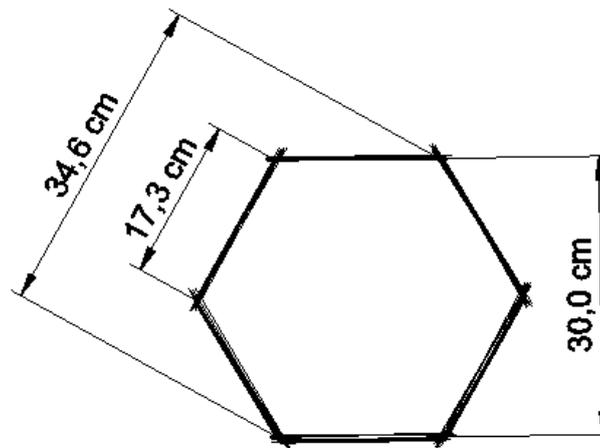


Figura 34: Vista en planta del diseño y dimensionamiento de la cápsula

2.7.4 Análisis del contenedor de pilas

El objetivo es encapsular la máxima cantidad de pilas posibles, por lo tanto, se analizó diversos contenedores para que encajen de acuerdo a las dimensiones definidas de la cápsula. Además, el contenedor debe ser de bajo costo y tiene que servir como protección para las pilas y de esta manera, evitar la interacción entre los elementos del hormigón y las pilas.

Las fundas plásticas se descartaron porque son muy frágiles y durante el proceso de construcción se pueden romper. Los contenedores de material de polipropileno también fueron descartados debido a que el costo es representativo.

Finalmente se consideró encapsular en botellas plásticas recicladas, son resistentes porque su materia prima es el polietileno, el costo no es representativo, y se encuentran en diversas formas y tamaños. Se eligió encapsular en una botella de 6 litros porque encaja con las dimensiones definidas de la cápsula, Figura 38. La botella tiene una altura de 35 cm y diámetro de 24 cm. La botella llena de pilas alcalinas pesa 7,2 kilogramos.



Figura 35: Botella de agua de 6 litros

Fuente: Vivant Ecuador

El ACI 318-14, recomienda para elementos que estarán en contacto directo con zonas húmedas deben tener un recubrimiento mínimo de 10cm. Por ende, las dimensiones de la botella permiten considerar el recubrimiento requerido. El recubrimiento en la base será de 10 cm y en la parte superior el valor restante. Las paredes de la cápsula tendrán un recubrimiento de 3 cm en los 6 lados, sin embargo, en las esquinas el recubrimiento de hormigón será mayor a 3 cm.

2.7.5 Programa para análisis computacional de la resistencia de la cápsula

Luego de haber definido su forma, dimensiones y disposición final se procedió a realizar un análisis mecánico de la cápsula para verificar que los esfuerzos esperados no generen fallas. Se realizó los siguientes escenarios: El primero, simulando que una persona ocupa como banca, Figura 35. El segundo caso, simulando que la cápsula es transportada con una grúa, Figura 36. El tercer caso, simulando que sobre una cápsula se coloca cuatro cápsulas, Figura 37. El cuarto caso fue similar al tercero, pero, se realizó un análisis transversal de la cápsula, Figura 38. Finalmente, se evaluó la presión máxima que soporta la cápsula en los dos sentidos (horizontal y vertical), Figura 39.

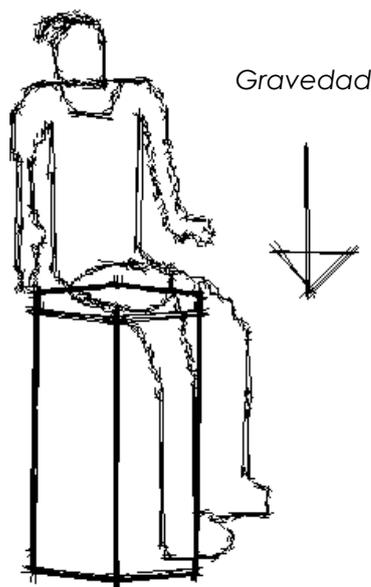


Figura 36: Primer escenario, uso de la cápsula para mobiliario urbano

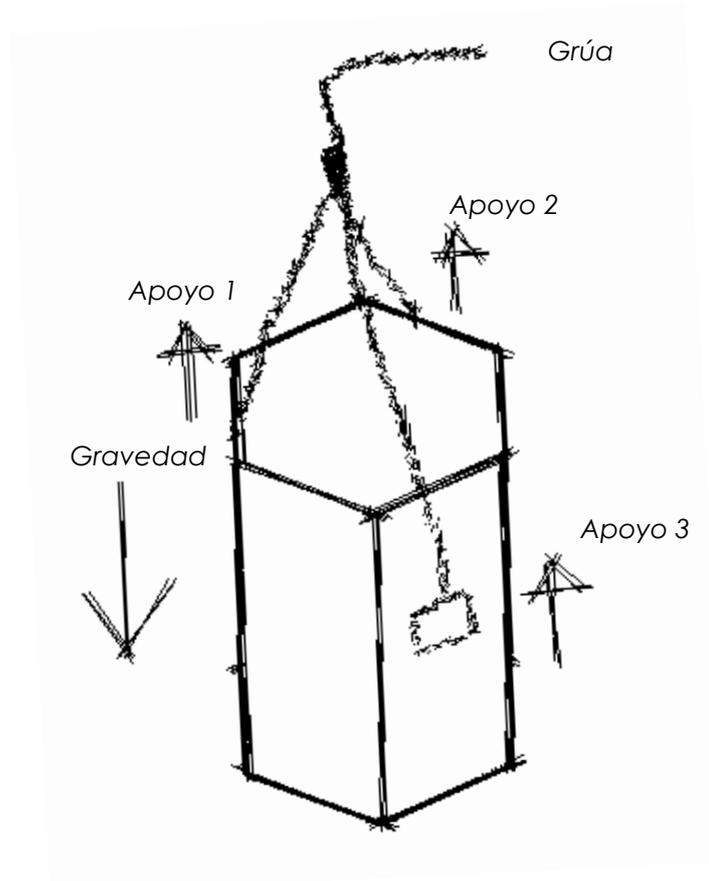


Figura 37: Segundo escenario, simulación de levantamiento de la cápsula con una grúa

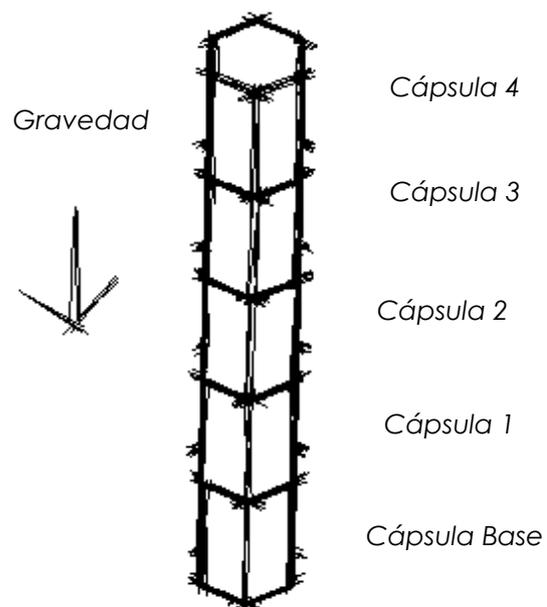


Figura 38: Tercer escenario, se coloca cuatro cápsulas sobre la cápsula empotrada

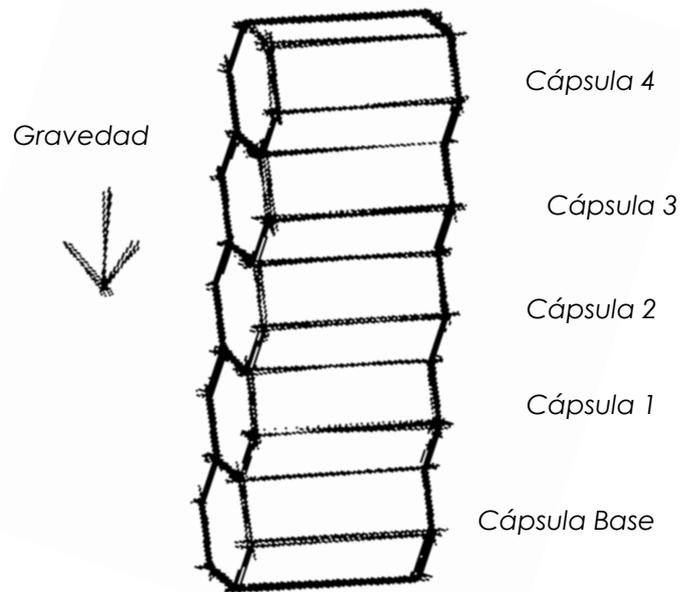


Figura 39: Cuarto escenario, se coloca cuatro cápsulas sobre el área transversal de la cápsula

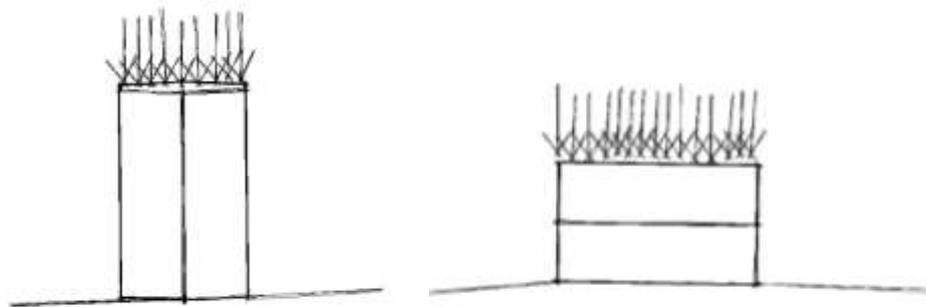


Figura 40: Análisis para evaluar la presión máxima que soporta la cápsula, en el sentido horizontal y vertical.

Se realizó el análisis de resistencia utilizando el programa mecánico “Inventor” ya que permite evaluar los diferentes escenarios de modelo estático. El programa permite dimensionar a las figuras en 2D y 3D, además, permite caracterizar introducir las características del material del elemento.

Primero, se realizó un hexágono en 3D, con las medidas establecidas. Además, se coloca chaflanes en todas las esquinas para evitar la concentración de esfuerzos, Figura 44 y se simula las manijas para levantar la cápsula como se presenta en la figura 45.

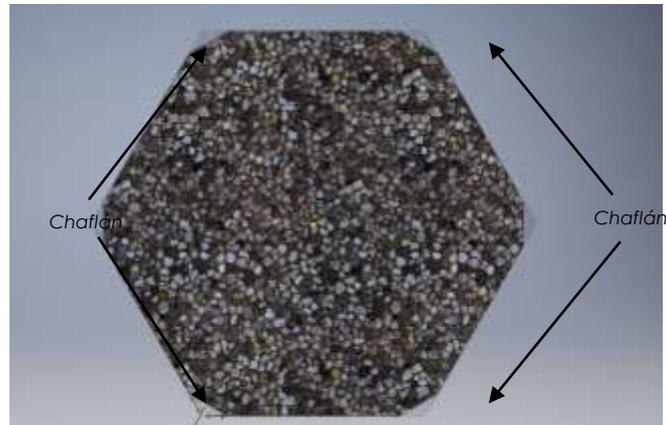


Figura 41: Chaflanes en las esquinas de la cápsula



Figura 42: Versión final de cápsula de hormigón simulada en Inventor

Luego de definir todas las características finales se procede a realizar el análisis de esfuerzos considerando los tres casos.

Primer escenario, se asume que la cápsula esta fija en el suelo y se aplica la presión que una persona de peso promedio ejercería sobre la cápsula (55 kg). De esta manera, se observa en la Figura 43, la cápsula tiene la capacidad para soportar a una persona.



Figura 43: Configuración para aplicación de la carga distribuida sobre la cápsula.

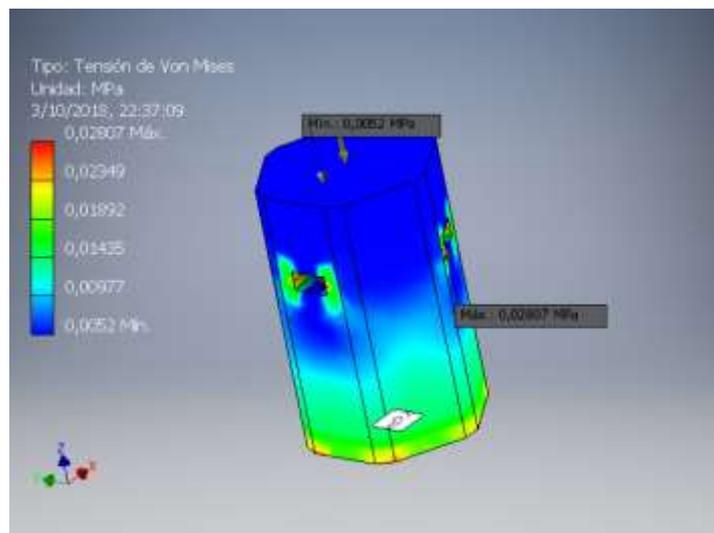


Figura 44: Análisis de tensión de Von Mises para primer escenario, carga de 539 N.

Segundo escenario, se fija la base y se aplica tres cargas iguales en las manijas de la cápsula. El peso de la cápsula es de 88 kilogramos, por tanto, este peso se dividió en tres puntos de apoyo, como se presenta en la Figura 44. De este análisis se obtiene los esfuerzos son significativos en las esquinas, lo cual generaría fisuras mínimas, sin embargo, la cápsula no colapsaría.

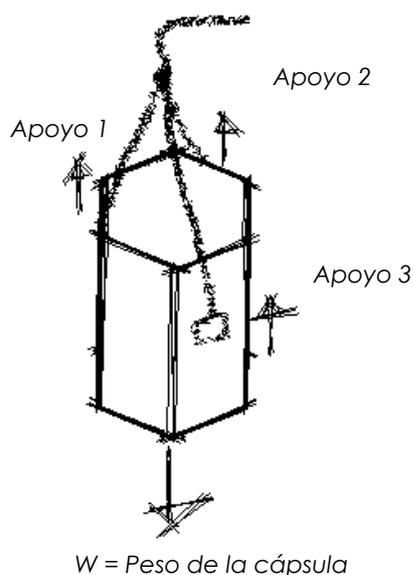


Figura 45: Configuración para aplicación de cargas puntuales en las manijas

El tercer escenario, se fija la cápsula base y sobre el área superior se aplica una carga distribuida en sentido de la gravedad equivalente al peso de cuatro cápsulas de hormigón, como se presenta en la Figura 45. El peso por cápsula es de 88 kilogramos, generando un total de 352 kg equivalente a 3449 Newton. La figura 46, muestra el resultado de esfuerzos generados en la cápsula. Determinando que, la primera cápsula está soportando esfuerzos significativamente en las esquinas. Sin embargo, no provocará efectos de colapso.

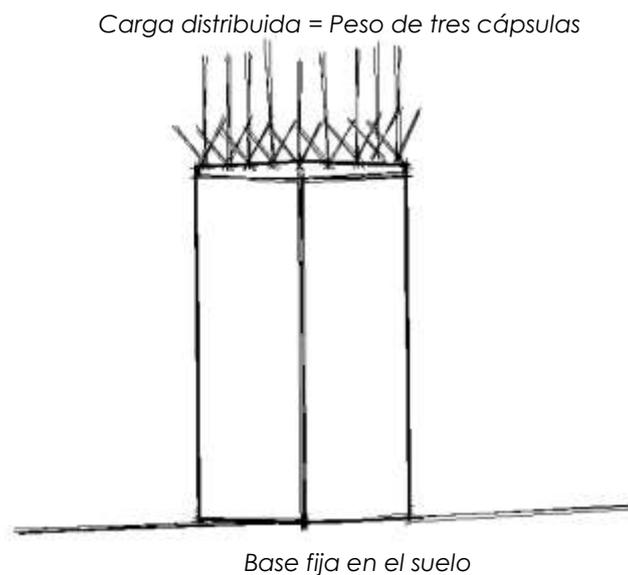


Figura 46: Configuración para aplicación de la carga distribuida sobre la cápsula

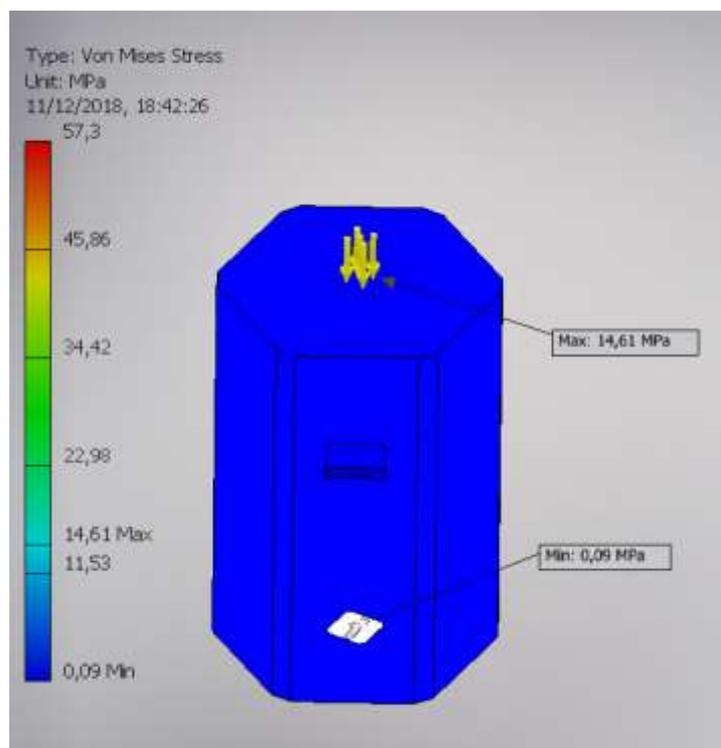


Figura 47: Capacidad de la cápsula para soportar cuatro cápsulas.

En el cuarto caso, consiste fijar el área transversal de la cápsula y aplicar una fuerza distribuida equivalente al peso de cuatro cápsulas, Figura 47. Los resultados del análisis se presentan en la Figura 48.

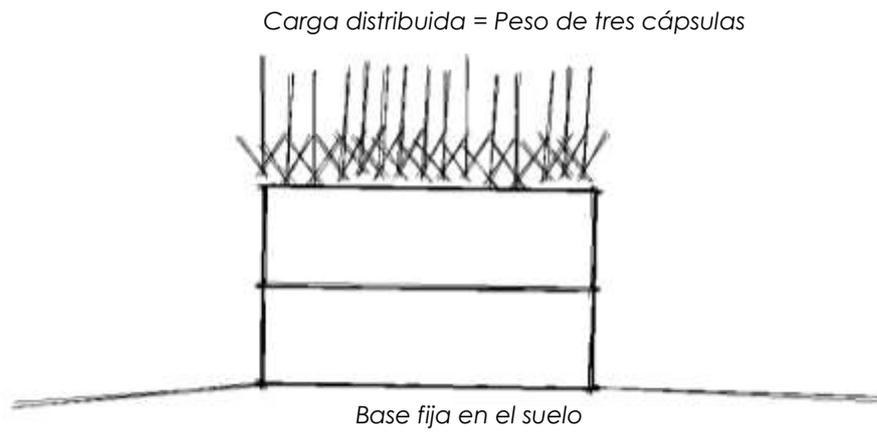


Figura 48: Configuración para aplicación de la carga distribuida sobre el área transversal de la cápsula

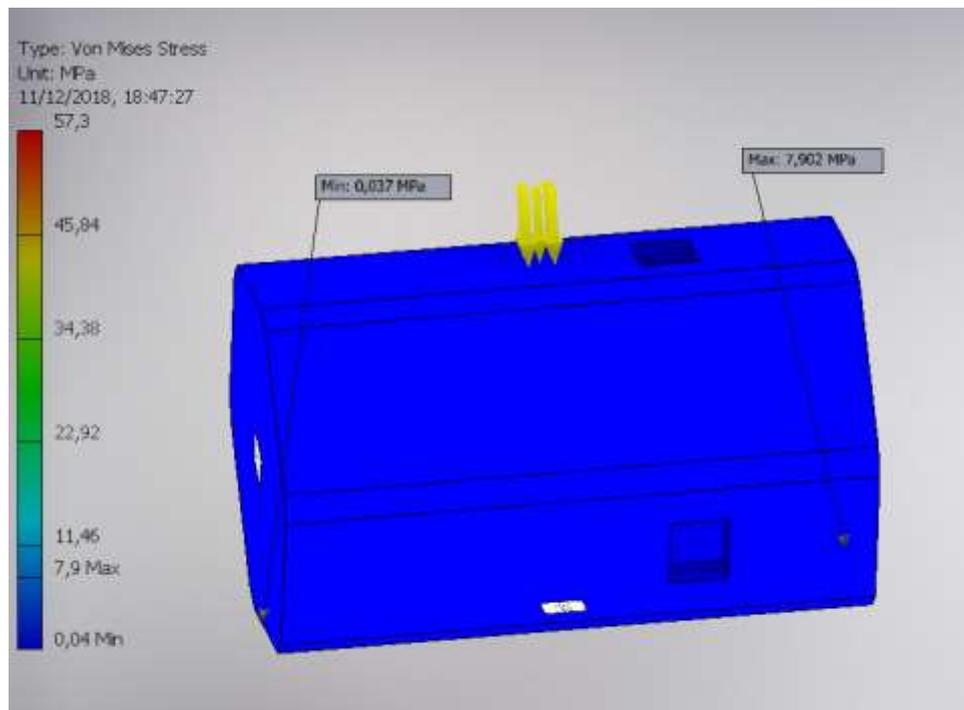


Figura 49: Capacidad de la cápsula para soportar el peso de cuatro cápsulas.

Finalmente, se realizó el análisis para evaluar la presión máxima que soportará la cápsula en el sentido horizontal y vertical. En la Figura 49 y 50, se presenta los resultados obtenidos, la presión máxima que soportará es de 6 MPa en los dos sentidos.

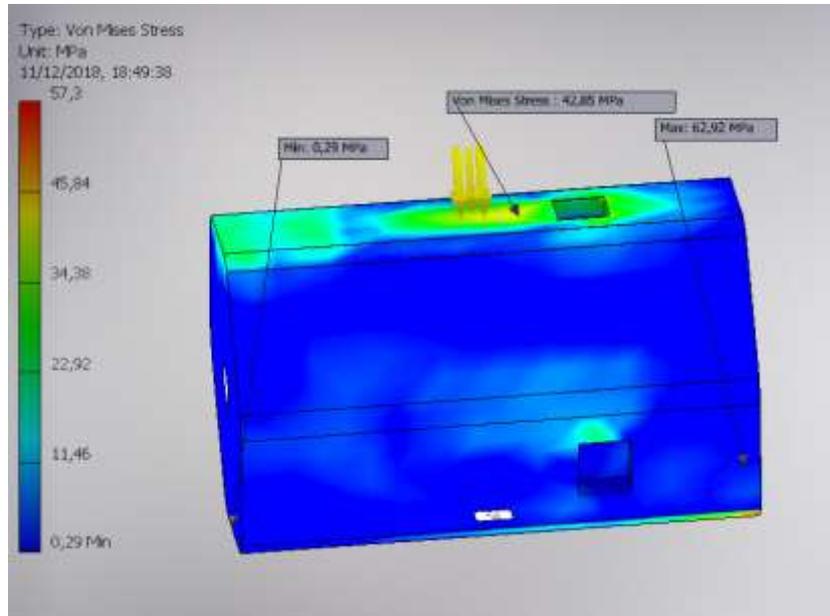


Figura 50: Análisis de tensión de Von Mises, máxima presión en el sentido transversal.

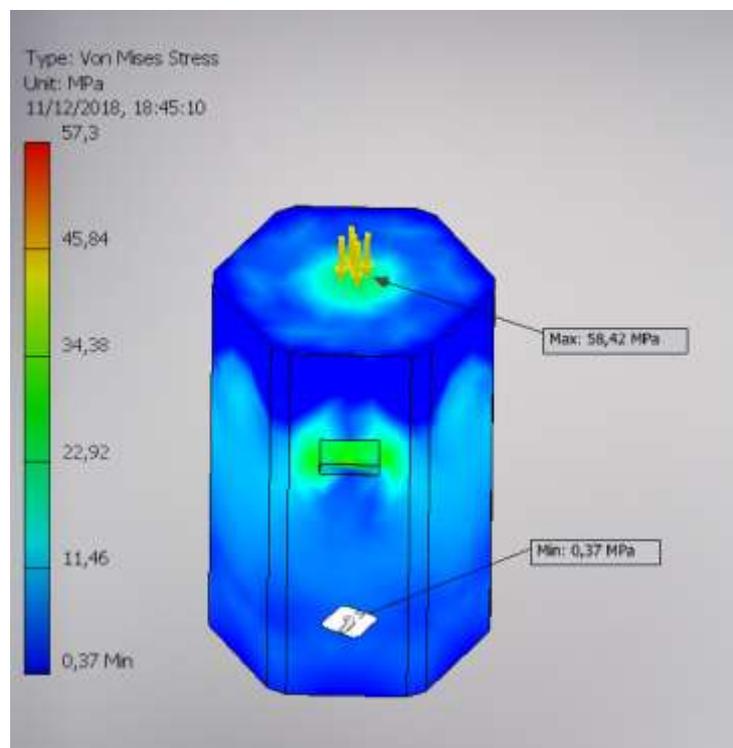


Figura 51: Análisis de tensión de Von Mises, máxima presión en el sentido vertical.

2.7.6 Análisis de costo para fabricar la cápsula

Se elaboró el análisis del costo total de la cápsula con las diferentes mezclas, en este análisis el material de mayor costo es el cemento seguido por el agregado. En la Tabla 28 se presenta el resultado.

Tabla 28: Análisis de costo para construcción de la cápsula

HERRAMIENTA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Concreteira	hr.	1,0	3,00	3,00
Herramienta menor (5 % de M.O.)	%			0,69
Encofrado	Caja	1,0	30,0	30,00
Acero de 8 mm	cm	20,0	0,0041	0,08
SUB-TOTAL HERRAMIENTA Y EQUIPO				33,77
MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Albañil D2	hr.	2,0	3,41	6,82
Peón E2	hr.	2,0	3,45	6,90
SUB-TOTAL MANO DE OBRA				13,72
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
DESCRIPCION				
Cemento GU	kg	19,47	0,1650	3,21
Ripio	kg	17,91	0,0208	0,37
Arena	kg	26,87	0,0235	0,63
Aditivo Impersan	kg	0,12	1,4050	0,17
Agua	m3	0,01	0,2800	0,00
Fibras de Nylon 9mm	g	47,37	0,0129	0,61
		SUBTOTAL		5,00
		2 % de pérdidas		5,10
SUB-TOTAL MATERIALES				10,10
COSTO DIRECTO TOTAL				58,00

2.8 Fase 3: Construcción de prototipo y manual de construcción

2.8.1 Construcción del prototipo

La fase 3 del Proyecto comprendió en fabricar el primer prototipo de cápsula. Para efecto fabricó en una carpintería el encofrado y se desarrolló en dos etapas; La primera etapa consistió en fabricar la base hexagonal con la altura de 10 cm y la segunda etapa se fundamentó en fabricar el cuerpo hexagonal de la cápsula de 40 cm de altura.

2.8.1.1 Elaboración del encofrado

Los materiales utilizados para fabricar el encofrado fueron: tiras de madera, cartón prensado de 6 milímetros de espesor, martillo, clavos, pegamento, sierra.

Para la primera etapa se cortó: La base de cartón prensado de 50x50 cm para fijar la cápsula. Para las paredes de la base de la cápsula se cortó 6 rectángulos de cartón prensado de 173,2 mm x 100mm. Para los chaflanes se cortó 6 tiras de madera de forma triangular con vértice de 15 mm y 6 apoyos para sujetar las paredes de la base.

En la Figura 51 se observa el encofrado con cada elemento y en la Tabla 29 se resume las medidas para cada elemento.

Tabla 29: Medidas para el hexágono base, de la primera fase

Detalle	Medida	Unidad
Altura	100	mm
Lados	173,2	mm
Ancho	300	mm
Vértice	15	mm

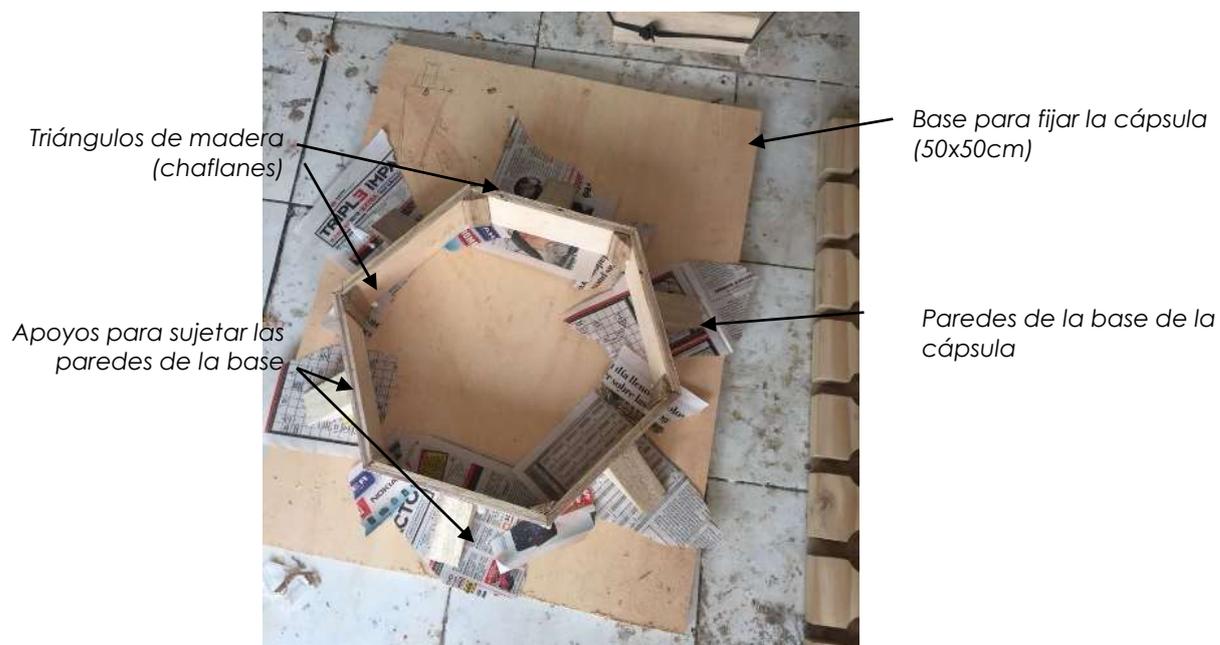


Figura 52: Encofrado para la primera etapa

Luego de haber cortado los materiales, se procede a armar la etapa 1 como se observa en la Figura 51. Primero, con el pegamento se fijaron las paredes en la base, después se ubicó a los 6 apoyos en el centro de cada pared y se atornillaron a la base con un taladro. Finalmente, se utilizó pegamento para fijar las tiras de madera en cada esquina del hexágono.

Para la segunda etapa se cortó: 6 rectángulos de cartón prensado de 173,2 mm x 400mm, para las paredes del cuerpo de la cápsula. Para los chaflanes, 6 tiras de madera de forma triangular con vértice de 15 mm y 6 tiras de 200 mm para los soportes externos evitando que el encofrado colapse por la presión que ejerció el hormigón en las paredes.

En la Figura 52 se observa el encofrado con cada elemento y en la Tabla 30 se resume las medidas para cada elemento.

Tabla 30: Medidas para el hexágono base, segunda etapa

Detalle	Medida	Unidad
Altura	400	mm
Lados	173,2	mm
Ancho	300	mm
Vértice	150	mm

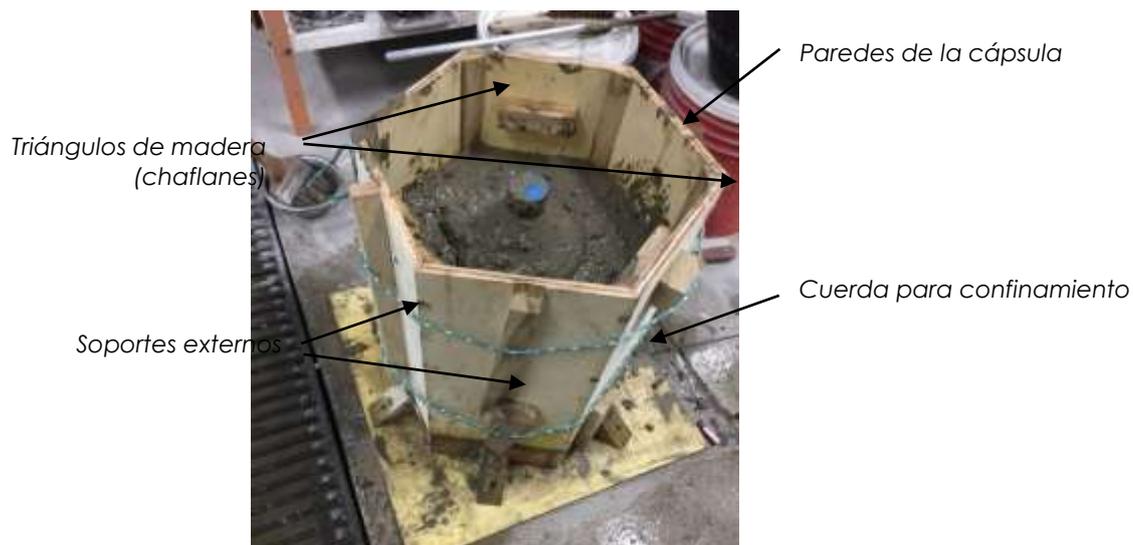


Figura 53: Encofrado para la primera fase

Luego de haber cortado los materiales, se procede a armar la etapa 2, como se observa en la Figura 52. Primero, con el pegamento se unieron las paredes de la cápsula. Después con pegamento se colocó a los 6 soportes en el centro de cada pared, pero, para asegurar el confinamiento se envolvió con una cuerda todo el encofrado. Finalmente, se utilizó pegamento para fijar las tiras de madera en cada esquina del hexágono. Previo a realizar la mezcla y fundir la cápsula, con la ayuda de una brocha se colocó homogéneamente el desmoldante en el encofrado de la base.

2.8.1.2 Elaboración de la mezcla

Los materiales que se utilizaron para elaborar la mezcla de hormigón fueron:

- Cemento Tipo GU
- Árido grueso (menor a 3/8)
- Árido fino (arena)
- Fibras poliméricas de 9 milímetros
- Aditivo Impersan (Aditec)
- Agua (Debe estar libre de impurezas)
- Concretera
- Balanza o equipo para pesar el material
- Baldes
- Palas

La cantidad utilizada para fabricar la cápsula se presenta en la tabla 31, 32.

Tabla 31: Cantidad de material para construir la primera etapa de la cápsula

MATERIAL	PESOS [gr]
CEMENTO	4276
AGUA	2305
ÁRIDO GRUESO	3934
ÁRIDO FINO	5901
ADITIVO IMPERSAN	26
FIBRAS	10,40

Tabla 32: Cantidad de material para construir la segunda etapa de la cápsula

MATERIAL	PESOS [gr]
CEMENTO	15192
AGUA	8189
ÁRIDO GRUESO	13977
ÁRIDO FINO	20965
ADITIVO IMPERSAN	91
FIBRAS	36,95

Primero, se pesó todos los materiales para las dos etapas (cemento, arena, fibras, aditivo y agregados) y se humedeció los equipos (concretera y palas).

Primero se elaboró la mezcla de la primera etapa, considerando el siguiente procedimiento: Se colocó el cemento en un contenedor junto con las fibras, se mezcló desintegrando cuidadosamente las fibras hasta obtener una mezcla homogénea. Para la mezcla en la concretera primero se añadió el agregado grueso, un porcentaje de agua y se encendió la concretera. Mientras giraba se colocó cuidadosamente la arena fina, el cemento mezclado con las fibras y agua. Consecuentemente, se añadió el agua restante junto con el aditivo impersan. Después de haber añadido todos los materiales se cronometró por 3 minutos y se apagó la concretera. Al instante se dejó reposar durante 3 minutos y se cubrió la concretera para evitar la evaporación. Finalmente se encendió la concretera durante 2 minutos.

2.8.1.3 Elaboración de la cápsula

Inmediatamente de finalizar la mezcla, se procedió a fundir la base de la cápsula y al finalizar se ubicó 4 varillas de 8 mm de diámetro en el perímetro de la cápsula. Debido a que se desarrolló en dos etapas de fundición, se colocó las varillas para que la cápsula trabaje monolíticamente. Finalmente se cubrió la base de hormigón fresco hasta el día siguiente.

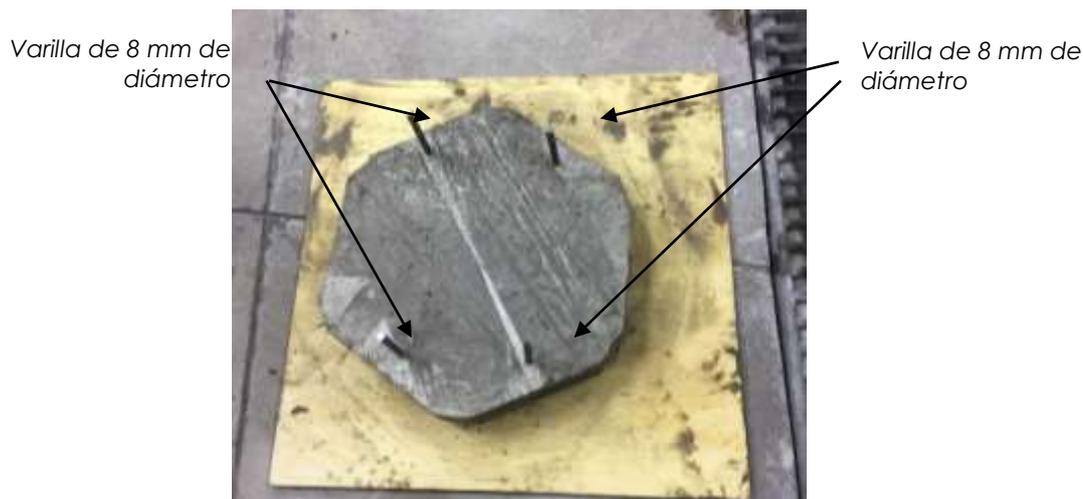


Figura 54: Base de hormigón de la primera fase

Al día siguiente, se desencofró la base de hormigón, se cubrió la superficie de hormigón con el aditivo Adibond (une hormigón fresco con hormigón endurecido) y se situó a la botella llena de pilas en el centro del hexágono. Además, y se colocó desmoldante en el encofrado para la etapa 2 y se ubicó sobre la base de hormigón.

Después, se procedió a elaborar la mezcla para la segunda etapa. La mezcla del hormigón en la concretera fue igual al procedimiento de la etapa 1, pero, cambió la cantidad de material. Finalizada la mezcla, se continuó con el proceso de fundición de la cápsula, con la ayuda de una varilla se vibraba la mezcla para mantener la homogeneidad. Se dio el acabado final de la superficie y se cubrió con plástico.



Botella de 6 litros llena de pilas

Figura 55: Cápsula en la etapa de fundición del hormigón



Hormigón fresco

Figura 56: Acabado final de la cápsula

Después de 24 horas de haber finalizado la fundición, se desencofró cuidadosamente para no dañar la forma de la cápsula. Finalmente, se cubrió toda la cápsula con plástico para el curado respectivo.



Figura 57: Curado de la cápsula

Una semana después, se retiró el plástico para proceder a decorar respectivamente. Se cubrió con capas de pintura blanca impermeabilizante.



Figura 58: Prototipo final de la cápsula

2.8.2 Manual de construcción

Con la experiencia de la construcción del prototipo, y las lecciones aprendidas, se procedió a elaborar un manual de fabricación de la cápsula. Este manual se presenta en el apéndice A del presente trabajo de titulación.

2.9 Posibles Aplicaciones

En esta sección, se presenta sketch de las posibles aplicaciones de la cápsula.

El diseño se encuentra en el apéndice B

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Conclusiones

A continuación, se enlista las conclusiones obtenidas tras el desarrollo del presente trabajo de titulación:

Fase 1

- De la mezcla A de hormigón tradicional se obtuvo que la resistencia fue baja con respecto a la mezcla B, C y D, de igual manera, la tasa de absorción inicial y secundaria fue alta respecto a la mezcla B y C. El costo por metro cubico es 120,77 USD.
- Con la adición de aditivo impermeabilizante en la mezcla B, la resistencia a compresión incrementó significativamente con relación a la mezcla A y C. Además, la tasa de absorción inicial y secundaria disminuyó al comparar con la mezcla A, C, y D.
- Las fibras de nylon adicionas en la mezcla C no generaron efectos significativos en la resistencia a compresión y en la tasa de absorción. Sin embargo, la resistencia a tensión incremento y el porcentaje de desgaste si disminuyó al comparar con la mezcla A y B respectivamente.
- Con la adición de fibras de nylon y el aditivo impermeabilizante en la mezcla D, la resistencia a compresión y tensión incremento significativamente con relación a la mezcla A, B, C. Además, disminuyó el porcentaje de desgaste del hormigón. Sin embargo, el costo por metro cúbico del hormigón incremento a 138.87 USD.

Fase 2

- La cápsula se utilizará principalmente para mobiliario urbano. Por tanto, se diseñó una cápsula de forma hexagonal de 50 cm de alto, y la apotema de 15 cm.

- La cápsula se puede transportar y movilizar con maquinaria liviana o manualmente 3 personas pueden levantar la carga, debido a que el peso total de la cápsula es de 88kg.
- Del análisis de esfuerzos realizado en la cápsula se concluyó que tiene la capacidad de soportar a una persona de peso promedio de 55kg.
- Además, se concluyó que la presión máxima que soportará la cápsula es de 6 MPa, ya que, al aplicar este valor, la cápsula ya colapsaría y se presentarían fisuras visibles.

Fase 3

- Se construyó un prototipo y manual de guía para construcción de la cápsula.

Conclusiones generales

- Para cumplir con los objetivos del trabajo de titulación se eligió la mezcla D, porque cumple con las características necesarias para elaborar un sistema de encapsulamiento en hormigón. Las propiedades mecánicas de la mezcla seleccionada son:
 - La resistencia a compresión y tracción indirecta.
 - El porcentaje de desgaste es menor al 20% gracias a la adición de fibras.
 - Baja tasa de absorción inicial y secundaria
- El costo de la cápsula es USD 58.00
- La forma y dimensiones de la cápsula permiten elaborar diferentes configuraciones, por tanto, incrementa las posibilidades para elaborar diseños de mobiliario urbano.

3.2 Recomendaciones

De la realización del presente trabajo de titulación se recomienda lo siguiente:

- Existe otro tipo de fibras que pueden mejorar las características de la mezcla, por tanto, para futuras investigaciones elaborar una mezcla de hormigón utilizando fibras de acero.
- Este trabajo de titulación tiene un indicador para medir la resistencia a la abrasión, por ende, para futuras aplicaciones se debe realizar el ensayo de resistencia a la abrasión de la mezcla combinada con fibras de nylon y aditivo impermeabilizante.
- En el diseño de la cápsula se debe incorporar un gancho en la parte superior de la cápsula para facilitar el transporte y subir las cápsulas.
- Elaborar el diseño de un encofrado que sea reutilizable.
- Diseñar un manual con tríptico pedagógico, para realizar capacitaciones prácticas.
- Para futuras aplicaciones tanto para muros como para columnas, se debe perfeccionar el diseño de la cápsula para que funcionen monolíticamente.
- Elaborar el análisis de la capacidad de la cápsula para utilizar construir muros de gaviones.
- Para la aplicación de pos-tensionamiento se debe realizar una investigación analítica.
- Realizar el análisis de la neutralización alcalina, en este caso la interacción de los elementos de la pila y la cápsula de hormigón.

4. REFERENCIAS

4.1 Referencias bibliográficas

- Beltran, L. (1986). Hormigón Reforzado con fibras de polipropileno. Tesis de grado de la Escuela Politécnica Nacional, pp. Quito. Extraído desde: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/517/1/T-UCE-0011-21.pdf>
- Benavides Luna, Montenegro. (2015). Efecto de la sustitución de agregado fino por cenizas provenientes del proceso de incineración en bruto de residuos sólidos industriales en la elaboración de hormigón de baja resistencia. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiente. Extraído desde: <https://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen36/tomo3/EfectodelaSustituciondeAgregadoFinoporCenizaProvenientedel.pdf>
- Bentz, Clifton, Ferraris. (1999). Transport properties and durability of concrete: literature review and research plan. National Institute of Standards and Technology. Gaitheraburg, Maryland.
- Bravo, J. (2003). “Comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibra de vidrio: Influencia del porcentaje de fibra adicionado”, Departamento de Ingeniería de los materiales de la Universidad de Chile.
- Canchari, Ortiz. (2010). Sistema de Gestión de Residuos Peligrosos (Pilas y Baterías) en la Facultad de Ingeniería Geológica, minera, metalúrgica y geográfica de la Universidad Nacional Mayor San Marcos. Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalúrgica y Ciencias Geográficas. Vol 13. Num. 26.

Chattopadhyay, Condit. (Agosto, 2002). Advances in Encapsulation Technologies for the Management of Mercury-Contaminated Hazardous Wastes. Environmental Protection Agency.

Díaz, C. Reciclaje de pilas [en línea]. Cámara de Industria y Comercio Ecuatoriano – alemana, septiembre de 2006. Disponible en: http://www.ahkecuador.org/span/events/proyecto_pilas.html

Diseñadora Arctectum. (s/f). Adoquinas de Concreto. Diseño y Fabricación desde 1963. Extraído desde: <http://arctectum.com.pe/adoquines-de-concreto/>

El Universo. (junio, 2018). “Solo el 5% de los hogares desechan pilas de forma adecuada en el Ecuador”. Ecología. Extraído desde: <https://www.eluniverso.com/vida/2018/06/10/nota/6801557/solo-5-hogares-desechan-pilas-forma-adecuada-ecuador>

Emgirs-Ep, (22/Enero/2018), 150 Contenedores Para Recolectar Pilas Y Baterías

Empresa Arcus Global. (2016). Construir con bloques de concreto lego. Extraído desde: <http://www.arcus-global.com/wp/construir-con-bloques-de-concreto-lego/>

Eurobeton.(2011). Muro de contención de hormigón prefabricado, barreras construidas en New Jersey. Extraído desde: <http://www.archiexpo.es/prod/eurobeton/product-105175-1033149.html>

Extraído Desde: <https://www.emgirs.gob.ec/index.php/noticiasep/418-150-contenedores-en-la-ciudad-para-recolectar-pilas-y-baterias-usadas>

Feng, Dong, You –Sheng. (November, 2016) “Mechanical and durability Evaluation of concrete with sulfate solution corrosion”, Advances in materials science and engineering.

FOEN. (2018). Batteries. Federal Office for the environment FOEN. Extraído desde: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/waste/guide-to-waste-a-z/batteries.html>

- Gálvez, G. (2000). Bondades de las puzolanas en las reacciones degradantes del concreto. Tesis de grado de la Universidad de Sonora. Extraído desde: <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=8650>
- Gómez, M. (2011). Posibilidades en el tratamiento de residuos de pilas y baterías. Técnicas y procedimientos para mejorar su gestión. Universidad de Murcia. Publicado en Interempresas. Extraído desde: <http://www.interempresas.net/Reciclaje/Articulos/58972-Posibilidades-en-el-tratamiento-de-residuos-de-pilas-y-baterias.html>
- Hasan, Kabir. (2011). Prediction of compressive strength of concrete from early age test result. Departament of Civil Engineering Bangladesh University of Engineering and Technology. Dhaka, Bangladesh.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (Diciembre / 2017) Documento Técnico – Modulación de Información Ambiental en Hogares. Extraído desde: Extraído desde: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Encuestas_Ambientales/Hogares/Hogares_2017/DOC_TEC_MOD_AMBIENTAL_ENEMDU%202017.pdf
- MAE. (s/f). Sumate a la campaña Ponte pilas recopila. Ministerio del Ambiente. Extraído desde: <http://www.ambiente.gob.ec/sumate-a-la-campana-ponte-pilas-recopila/>
- Milestone, N. (2005). Reactions in cement encapsulated nuclear wastes: need for toolbox of different cement types. Institue of Materials, Minerals and Mining. UK.
- Neville, A.M (2011). Properties of Concrete. Pearson Education Limited, Essex.
- NIREX. (octubre, 2002). Radioactive waste in the UK: A summary of the 2001 inventory. Departament for Enviroment Food & Rural Affairs. United Kingdom.

- Ortiz, C. (Juli0/2009). Estudio de Solidificación de Pilas y Baterías de uso doméstico mediante la técnica de macro encapsulación. Proyecto para obtención de Título de Ingeniero Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional.
- Petrucci, Ralph. *General Chemistry: Principles and Modern Applications*. 10th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Canada, 2011. Print.
- Pozo, A. (2012). Estudio de hormigones y morteros aligerados con agregados de plásticos reciclado como árido y carga en la mezcla. Master en Arquitectura, Energía y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Ramírez, Barros, Garzón. (2012). Diseño de hormigones con fibras de polipropileno para resistencias a la compresión de 21 y 28 MPa con agregados de la cantera de Pifo. Quito. Extraído desde: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/517>
- Reinhardt, H. (2013). Factors affecting the tensile properties of concrete. Science Direct. University of Stuttgart, Alemania.
- IMCYC. (2007). “El hormigón en la obra: problemas, causas y soluciones”, Revista del Instituto Mexicano del cemento y el hormigón.
- Saxena, A. (febrero, 2015). Enhancement the strength of conventional concrete by using nylon fibre. <http://www.researchinventy.com/papers/v5i2/H52056059.pdf>
- Scott, Safiuddin. (septiembre, 2015). Abrasion resistance of concrete – Design, construction and case study. Vol. 6 (3) Concrete Research. Canada
- Sepruma. (marzo, 2006). Manual para manipulación de cargas. Universidad de Malaga. España
- SOGAMA. (2007). Ecopilas recoge cada día en España 320.000 pilas, garantiza así su correcta gestión. Sociedad Galega do Medio Ambiente. España. Extraído desde: <http://www.sogama.gal/es/noticia/ecopilas-recoge-cada-dia-en-espana-320000-pilas-garantizando-asi-su-correcta-gestion-ambient>

Taylor, Yurdakul, Ceylan, (Julio, 2012). Development of performance properties of ternary mixtures and concrete pavement mixture design and analysis (mda): effect of paste quality on the fresh and hardened properties of ternary mixtures. Iowa State University. Texas, Wisconsin.

UKAEA. (2006). Polymer encapsulation of nuclear waste: Alternatives to grout. United Kingdom Atomic Energy Authority.

Universidad de la Plata. (noviembre, 2017). Planta de tratamiento para pilas usadas. Universidad Nacional de la Plata. Extraído desde: <https://unlp.edu.ar/municipios/planta-de-tratamiento-para-pilas-usadas-8687>

Vergara, Page. (Enero, 1998). Evaluación ergonómica de sillas. Criterios de evaluación basados en el análisis de postura. Tesis doctoral de Ingeniería Industrial. Universitat Jaume.

Vivant Ecuador. Catálogo: Botella de 6 litros. Extraído desde: www.vivant.com.ec

4.2 Normas

ASTM C39-14^a - Resistencia a la compresión de los especímenes.

ASTM C496-14^a - Resistencia a la tracción indirecta de especímenes.

ASTM C469 - Módulo de elasticidad estático y relación de Poisson del concreto en compresión.

ASTM C131-14 - Resistencia de la degradación del agregado grueso por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles

ACI 318S-14.- Requisitos de reglamentos para concreto estructural

ACI 544 1R – Report on Fiber Reinforced Concrete.

ASTM C1585-04 - Medición de la tasa de absorción de agua por hormigón de cemento hidráulico.

ACI 211.1-91. - Práctica estándar para seleccionar proporciones para concreto normal,
pesado y en masa.

ANEXO A: MANUAL DE CONSTRUCCIÓN

MANUAL DE FABRICACIÓN DEL CÁPSULA DE HORMIGÓN PARA ENCAPSULAR PILAS ALCALINAS



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Milagros Jiménez
Diciembre – 2018

INTRODUCCIÓN

En el siguiente manual se presenta el proceso para la fabricación de la cápsula de hormigón, que tiene finalidad de encapsular pilas alcalinas con el fin de disminuir el impacto ambiental. De acuerdo a información emitida por el INEN (2017), en la ciudad de Quito existe aún el 84% de población que desecha las pilas alcalinas con la basura orgánica y solo un cierto porcentaje recicla.

El manual brinda información suficiente para elaborar correctamente el diseño de la mezcla, ya que es la base principal para obtener los resultados esperados. Asimismo, especifica claramente los valores de medidas, pesos, unidades, tipo de materiales, entre otros. Se recomienda seguir el orden de fabricación establecido y considerar los consejos de cuidado que se describen en el manual. Los pasos presentados son tanto para elaboración del cascarón como encofrado.

Los materiales están establecidos para realizar en el Distrito Metropolitano de Quito, si desea replicar en otra ciudad se recomienda considerar la disponibilidad del material.

ELABORACIÓN DEL ENCOFRADO

Elaborar en dos etapas, la primera etapa se construir la base de la cápsula y en la segunda etapa, el cuerpo de la cápsula de hormigón.

Los materiales necesarios para fabricar el encofrado son: tiras de madera, cartón prensado de 6 milímetros de espesor, martillo, clavos, pegamento, sierra.

En la primera etapa debe cortar lo siguiente: La base de cartón prensado de 50x50 cm para fijar la cápsula. Para las paredes de la base de la cápsula, 6 rectángulos de cartón prensado de 173,2 x 100mm. Para los chaflanes, 6 tiras de madera de forma triangular con vértice de 15 mm y 6 apoyos para sujetar las paredes de la base. Observar la Tabla 1.

Tabla 33: Dimensiones para elementos de la etapa 1

Detalle	Medida	Unidad
Altura	100	mm
Lados	173,2	mm
Ancho	300	mm
Vértice	15	mm

En la segunda etapa debe cortar lo siguiente: Para las paredes, 6 rectángulos de cartón prensado de 173,2 x 100mm. Para los chaflanes, 6 tiras de madera de forma triangular con vértice de 15 mm y 6 apoyos para sujetar las paredes de la base. Observar la tabla 2.

Tabla 34: Dimensiones para elementos de la etapa 2

Detalle	Medida	Unidad
Altura	400	mm
Lados	173,2	mm
Ancho	300	mm
Vértice	150	mm

Para la primera etapa debe armar el hexágono de 10 cm de altura con los elementos previamente cortados.

En la base de 50x50 cm fije las 6 paredes de 10 cm de altura, utilice pegamento.

En el centro de la pared fijar con tornillos los apoyos. Es importante colocar los soportes verticales externos ya que el hormigón fresco presionará las paredes del encofrado y provocará el colapso de todo el material. Finalmente, pegue los triángulos en las 6 esquinas del hexágono.

Observar las Figuras 1, 2, 3. Se presenta las medidas y configuración del encofrado.

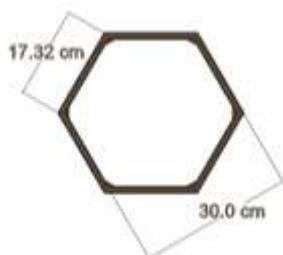


Figura 59: Vista frontal del encofrado

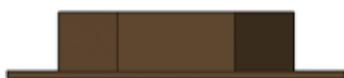


Figura 60: Vista lateral del encofrado

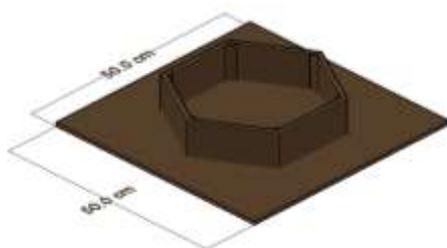


Figura 61: Encofrado para primera etapa

En la segunda etapa debe armar el hexágono de 40 cm de altura con los elementos previamente cortados.

Armar el hexágono con las 6 paredes de 40 cm de altura, utilice pegamento para fijar las esquinas. Después, con pegamento fije los apoyos verticales en el centro de cada pared, y confinar la cápsula con una soga. Finalmente,

adhiera las tiras de madera triangulares en las 6 esquinas del hexágono.

En esta fase, ubique los tres rectángulos en 3 caras internas del encofrado a una altura de 30 cm desde la base de la cápsula. El propósito es dejar un vacío para que sirva de soporte al momento de movilizar la cápsula. Las medidas establecidas no consideran el espesor del encofrado.

En las figuras 4 y 5, se presenta la forma y configuración para el encofrado.



Figura 62: Vista frontal del encofrado, etapa 2



Figura 63: Vista lateral del encofrado, etapa 2

ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN

MATERIALES PARA ELABORAR LA MEZCLA DE HORMIGÓN

- Cemento Tipo GU
- Árido grueso (menor a 3/8)
- Árido fino (arena)
- Fibras poliméricas de 9 milímetros
- Aditivo Impersan (Aditec)
- Agua (Debe estar libre de impurezas)
- Concretera
- Balanza o equipo para pesar el material
- Baldes
- Palas
- Desmoldante
- Brocha

CANTIDAD DE MATERIAL

En la tabla 1 y 2, está la cantidad de material que necesitará pesar para construir la cápsula. Considerar que estas cantidades ya consideran un porcentaje de pérdida que generalmente se produce por diversos factores durante la elaboración de mezcla. Por lo tanto,

para evitar gastos extras o mucho desperdicio de material, utilice el peso exacto presentado en las tablas 3 y 4.

Tabla 35: Cantidad de material para construir la primera etapa de la cápsula.

MATERIAL	PESOS [gr]
CEMENTO	4276
AGUA	2305
ÁRIDO GRUESO	3934
ÁRIDO FINO	5901
ADITIVO IMPERSAN	26
FIBRAS	10,40

Tabla 36: Cantidad de material para construir la segunda etapa de la cápsula.

MATERIAL	PESOS [gr]
CEMENTO	15192
AGUA	8189
ÁRIDO GRUESO	13977
ÁRIDO FINO	20965
ADITIVO IMPERSAN	91
FIBRAS	36,95

PROCESO PARA MEZCLA DE HORMIGÓN

Para la elaboración de la mezcla, se describe una serie de pasos a seguir para facilitar la construcción. El proceso es para elaborar con una mezcladora mecánica (concretera), no es para un proceso de mezclado manual.

Este procedimiento se repite para elaborar la mezcla en las dos etapas, como se mencionó previamente. La primera etapa consiste en elaborar la base de la cápsula y la segunda finalizar con la construcción de la cápsula.

1. Pesar todos los materiales y tener listo todos los equipos necesarios. Se recomienda humedecer todos los equipos, antes a realizar la mezcla. Al momento de pesar los materiales realizar en diferentes bandejas como se observa en la Figura 8



Figura 64: Materiales para elaboración de hormigón

2. Antes de colocar los materiales en la concretera, debe mezclar las fibras de nylon con el cemento como se observa en la figura 8. Las fibras deben ser separadas y desintegradas para obtener una mezcla homogénea con el cemento. Observar la figura 9.



Figura 65: Mezcla de cemento con fibras

3. Verificar que no exista grumos de fibras de nylon, porque limitará para cumplir su función.
4. Una vez finalizada la mezcla de fibras con el cemento, se procede a colocar todos los materiales en la concretera, considerando el siguiente orden:
 - Agregado grueso
 - Un porcentaje de agua
 - Encender la concretera
 - Colocar la arena fina y cemento y otra cantidad de agua
 - Encender la concretera
 - Colocar el agua restante con el aditivo impersan
 - Apagar la concretera después de 3 minutos de haber colocado todos los materiales.
 - Reposar por un tiempo de 3 minutos y cubrir la concretera para evitar la evaporación.
 - Finalmente, encender por dos minutos.

Recuerde humedecer la concretera o el espacio donde requiera realizar la mezcla antes de colocar el material.

5. Finalmente, verificar la homogeneidad de la mezcla y verificar que no falte agua. En caso de no requerir ningún cambio, apagar la concretera. Se recomienda que cuando la concretera este en movimiento no introducir las manos. Figura 10.
6. Coloque todo el material mezclado sobre un bandeja o carretilla humedecida.



Figura 66: Colocar materiales en la concretetera



Figura 67: Mezcla de hormigón fresco

PROCESO PARA FUNDIR LA CÁPSULA

1. Primero se debe construir una base de 10 centímetros de altura. Colocar desmoldante y después se procede a fundir colocando la mezcla en el encofrado de la etapa 1. Debido a que se realizará en dos partes se coloca 4 varillas con la longitud de desarrollo suficiente para que la capsula trabaje monolíticamente. En la figura 11, observa la base finalizada.



Figura 68: Base de hormigón de la primera etapa

2. Para proceder a la segunda fase, es recomendable dejar que fragüe el hormigón o continuar con el trabajo cuando ya esté endurecido el hormigón. Al finalizar esta etapa, se debe proceder a pesar los materiales de la tabla 4 y seguir el mismo proceso de mezcla. Coloque la mezcla sobre una bandeja o carretilla húmeda.
3. Con la mezcla obtenida, se coloca la botella con pilas sobre la base de hormigón y verificar que este centrada. Colocar el encofrado superior sobre la primera fase y continúe con el proceso

de fundición como se observa la figura 12. Finalizar con el vaciado del hormigón en la capsula y dar el acabado adecuado.



Figura 69: Cápsula en etapa de fraguado de hormigón.

4. Después de 24 horas de haber finalizado la fundición se debe desencofrar con cuidado para no dañar la forma de la capsula, Figura 14.
5. Para finalizar, cubrir con plástico la capsula como observa en la Figura 15 para el curado respectivo del hormigón.



Figura 70: Desencofrado de la capsula



Figura 71: Curado de la capsula

1. Finalmente, pintar o decorar a la capsula dependiendo la disposición final. Aunque, se recomienda pintar la capsula con pintura impermeabilizante para mejorar las características buscadas.



Figura 72: Cápsula con la capa final de pintura impermeabilizante

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- Previo a realizar toda la fundición, debe tener listo la botella de plástico (6 litros) lleno de pilas.
- Se recomienda que las botellas con pilas estén en buen estado.
- El encofrado es importante realizar chaflanes en todas las esquinas para evitar la concentración de esfuerzos.
- Realizar un encofrado desarmable.
- Coloque suficiente desmoldante ya que se presentará la dificultad de desencofrar

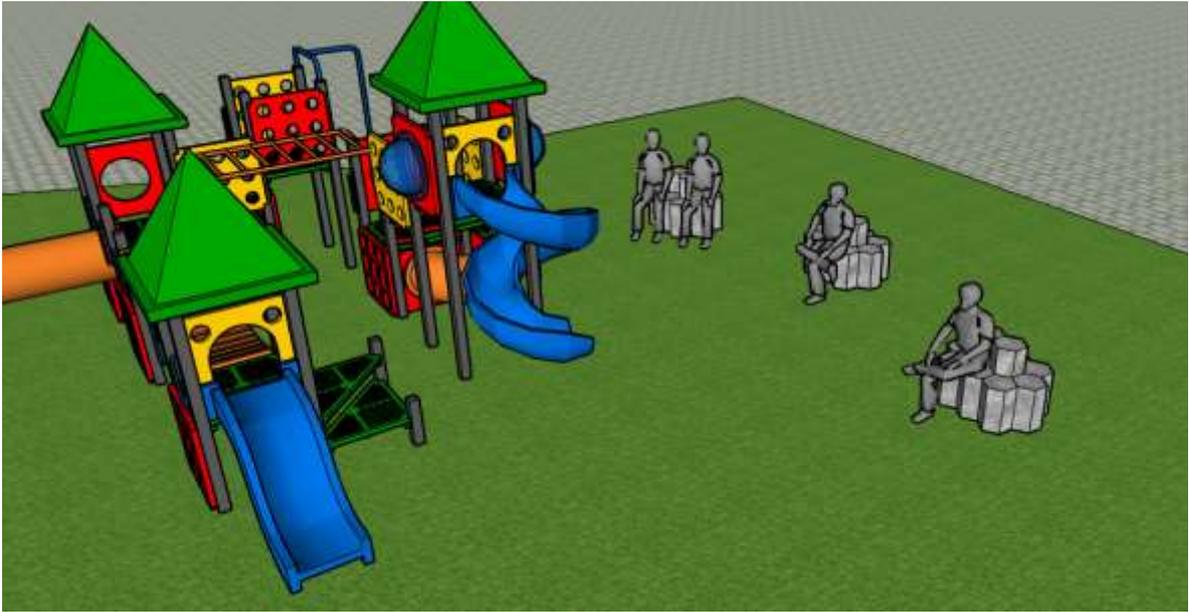
ANEXO B: POSIBLES APLICACIONES

Figure 1: Mobiliario Urbano, bancas para parques

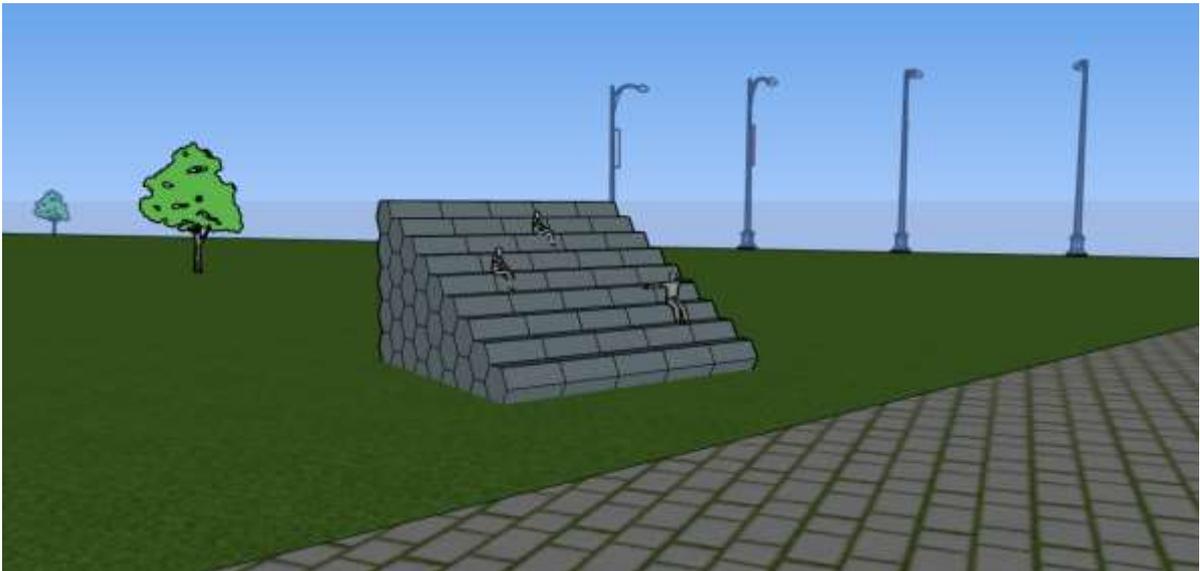


Figure 2: Graderios de descanso para mobiliario urbano



Figure 3: Columnas de 2,50 m para casetas de parques

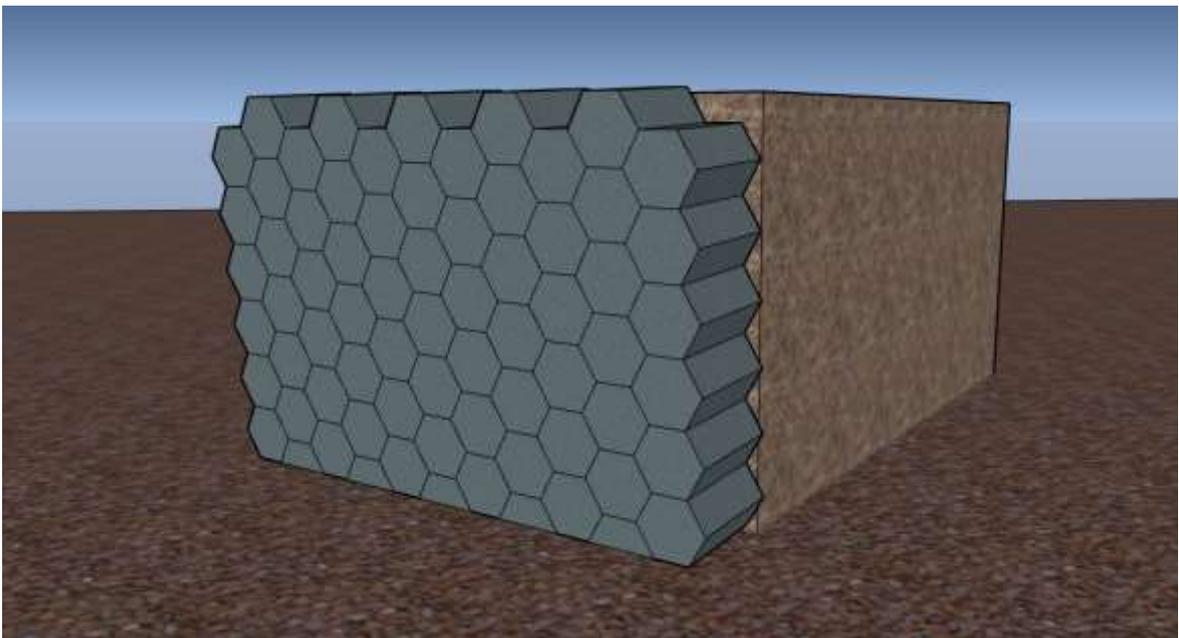


Figure 4: Sistemas de muros de contención

