



ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA UBICACIÓN ÓPTIMA DE UN CENTRO DE TRATAMIENTO DE HORMIGÓN CON ADITIVOS RETARDADORES

*Escuela de Obras Civiles. Facultad de Ingeniería. Universidad Andrés Bello,
Santiago, Chile, 2022*

*Alumna: Constanza Andrea Román Sepúlveda
Profesor guía: Gerardo Ureta Campos*

Resumen: Los materiales poseen una estrecha relación con el presupuesto de cualquier proyecto constructivo, ya que se consideran desde las primeras fases de producción debido a su participación en los costos directos de este, por lo que su ineffectividad de entrega se traduce en retrasos en obra, generando tanto consecuencias en la calidad como un aumento de costos. Los efectos producidos por el cambio climático son consecuencia de los métodos utilizados por las industrias para satisfacer las necesidades de la población, lo que va generando las inestabilidades ambientales conocidas. Durante los últimos años ha tomado relevancia un nuevo concepto de modelo económico: la economía circular, un sistema regenerativo en el que un producto pasa a estar inmerso en una economía industrial renovable, a partir de un flujo continuo de materias primas, energía, mano de obra e información, maximizando así la eficiencia y minimizando la producción de residuos. Para esta investigación se evalúa la viabilidad técnica y económica de la utilización de un aditivo controlador de hidratación del cemento presente en el hormigón; esto se espera realizar a partir de la localización óptima de una instalación donde se trate dicho material, con la finalidad de maximizar la utilidad del hormigón y, además, minimizar las pérdidas económicas. Se concluye que es posible instaurar este sistema, lo que permite una disminución a largo plazo los costos y, además, una reducción notable de los RCD de este material en el ámbito constructivo.

Palabras clave: Hormigón, Aditivo retardador de fraguado, Hormigón no colocado, Residuos, Sustentabilidad, Economía Circular, Plan Regulador, Facility Location, Python.

Abstract: The materials have a close relationship with the budget of any construction project, since they are considered from the first phases of production due to their participation in the direct costs of this, for which their delivery ineffectiveness translates into delays in the work, resulting in both quality consequences and increased costs. The effects produced by climate change are a consequence of the methods used by industries to meet the needs of the population, which will generate the known environmental instabilities. In recent years, a new concept of economic model has become relevant: the circular economy, a regenerative system in which a product becomes immersed in a renewable industrial economy, based on a continuous flow of raw materials, energy, work and information, thus maximizing efficiency and minimizing waste production. For this research, the technical and economic feasibility of using a cement hydration control additive present in concrete is evaluated; This is expected to be done from the optimal location of a facility where said material is treated, to maximize the usefulness of the concrete and, in addition, minimize economic losses. It is concluded that it is possible to install this system, which allows a long-term decrease in costs and, in addition, a notable reduction in the CDW of this material in the construction field, in addition to the indirect reduction in the use of illegal landfills.

Keywords: Concrete, Setting retarder admixture, Unplaced concrete, Waste, Sustainability, Circular Economy, Regulatory Plan, Facility Location, Python.

1. INTRODUCCIÓN

Los materiales poseen una estrecha relación con el presupuesto de cualquier proyecto constructivo, ya que se consideran desde las primeras fases de producción debido a su participación en los costos directos de este, por lo que su ineffectividad de entrega se traduce en retrasos en obra, generando tanto consecuencias en la calidad como un aumento de costos. A su vez, la sobreexplotación de materias primas ha generado consecuencias ambientales significativas. El nivel de población mundial ha aumentado exponencialmente desde el siglo XX, llegando actualmente a los casi 8000 millones de personas¹, generando que el consumo de recursos naturales vaya en aumento, así como los efectos negativos del cambio climático; consecuencias producto de los métodos utilizados por las industrias para satisfacer las necesidades de la población, lo que va generando las inestabilidades ambientales conocidas (Vinante et al, 2020). El enfoque en el que estas prácticas se basan es en el de modelos económicos lineales que se apoyan en la ideología de “tomar, fabricar, desechar”, los cuales consisten en la obtención de materiales de bajo costo y de fácil acceso, además del consumo de grandes cantidades de energía sin medición (EMF, 2015).

Durante los últimos años ha tomado relevancia un nuevo concepto de modelo económico: la economía circular, un sistema regenerativo en el que un producto pasa a estar inmerso en una economía industrial renovable, a partir de un flujo continuo de materias primas, energía, mano de obra e información, maximizando así la eficiencia y

maximizando así la eficiencia y minimizando la producción de residuos (Benachio et al 2020).

Es justamente esto lo que necesita la industria de la construcción en Chile ya que, al implementar esta metodología desde el comienzo del ciclo de vida del proyecto, los materiales a utilizar serán parte de un circuito cerrado durante un largo periodo de tiempo, reduciendo así un consumo innecesario de los recursos naturales (Gabriel Luiz Fritz Benachio et al, 2020); además, una correcta puesta en marcha de la economía circular dentro de la industria de la construcción permitiría reducir costos y tiempos, teniendo siempre presente que, en caso de no poder evitar la generación de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), el producto será apto para su reutilización o reciclaje. (Tomaszewska, J., 2020).

Debido a que el hormigón es de los elementos que más se utiliza dentro de la etapa de obra gruesa de una construcción, es también el que genera más residuos dentro del mismo (Alter, L. 2022), analizar una forma de reutilización ayudaría notablemente a lo comentado anteriormente. Por consiguiente, para este estudio, se evalúa la viabilidad técnica y económica de la utilización de un aditivo controlador de hidratación del cemento presente en el hormigón; esto se espera realizar a partir de la localización óptima de una instalación donde se trate dicho material, con la finalidad de maximizar la utilidad del hormigón y, además, minimizar las pérdidas económicas debido al hormigón no colocado y las externalidades negativas, como lo son los impactos ambientales del sector.

¹ Información obtenida a través de información presente en la página web del Banco Central.

El sector seleccionado para este estudio corresponde a la comuna de Las Condes, perteneciente a la Región Metropolitana.

2. METODOLOGÍA

La metodología para el desarrollo de este proyecto de investigación puede definirse con las siguientes fases:

FASE 1 – REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA:

Se realiza un estudio relacionado con los problemas presentes dentro del área de la construcción que no permiten un mejor desarrollo de este, donde se enfatiza los bajos niveles de sustentabilidad. De la misma forma, se busca información sobre los desarrollos recientes de la utilización de la economía circular dentro de la industria de la construcción, esto con el fin de idear posibles soluciones a lo mencionado anteriormente.

FASE 2 – ADITIVOS RETARDADORES:

Se investiga acerca de diferentes tipos de aditivos, de los cuales resaltan los aditivos retardadores, sustancia que permitiría reutilizar el hormigón en estado fresco.

FASE 3 – CHARLAS CON PLANTAS DOSIFICADORAS Y PÉRDIDAS DE HORMIGÓN:

Se acude a reunión con la jefa de torre de control de una central dosificadora de hormigón perteneciente a la Región Metropolitana, donde se comentó el porcentaje de anulaciones, de hormigón no colocado, así como las gestiones relacionadas con las anulaciones de pedidos y con los residuos de este.

FASE 4 – CÁLCULO DE COSTOS: En esta fase se realiza la selección de la comuna donde se encuentran los proyectos a considerar. Se realiza el cálculo del presupuesto necesario para la instalación de un centro de tratamiento de hormigón con sus respectivos APU 'S.

Además, se calculó el costo de envío desde una planta de hormigón cercana a la comuna de los proyectos seleccionados con los proyectos en sí. Adicionalmente a esto, se calcula la demanda aproximada de hormigón por proyecto, considerando los porcentajes de hormigón no colocado comentados en la fase anterior, así como el valor por metro cúbico [m^3] de retiro de escombros.

FASE 5 – BÚSQUEDA DE PUNTOS GEOGRÁFICOS CON SISTEMA QGIS:

A partir del sistema de coordenadas de referencias (SCR) de la comuna de Las Condes, se utiliza el sistema QGIS, donde se obtienen los puntos geográficos de los 287 puntos a utilizar, en unidades de latitud y longitud.

FASE 6 – REALIZACIÓN DE CÓDIGO EN PYTHON:

Se trabaja con un código de Python, el cual determina la mejor ubicación del centro de tratamiento de hormigón a situar, esto con el fin de minimizar los costos de transporte, considerando diferentes inputs y restricciones, los cuales se abordarán en el capítulo 9 de este trabajo. El código arroja las mejores ubicaciones de acuerdo con las coordenadas de cada una de las posibles locaciones, así como el valor del costo total de la instalación del centro y los costos adicionales como transporte del material.

FASE 7 - ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS:

Los resultados arrojados por el código en Python se analizan y se comparan con los costos calculados en la fase 4. Así, se puede verificar la viabilidad de lo presentado en esta investigación.

3. MARCO TEÓRICO

A continuación, se presentan conceptos fundamentales para comprender lo

realizado durante esta investigación:

HORMIGÓN: Material que resulta de la mezcla de agua, arena, grava, cemento, eventualmente aditivos y adiciones, en proporciones adecuadas que, al fraguar y endurecer, adquiere resistencia (NCh 170. Of.85, 2016).

FRAGUADO: Dicho de una masa, endurecerse o tomar consistencia. (RAE, s.f.).

SUSTENTABILIDAD: Proceso que tiene por objetivo encontrar el equilibrio entre el medio ambiente y el uso de los recursos naturales (CCGS, 2013).

ECONOMÍA CIRCULAR: Alternativa atractiva que busca redefinir qué es el crecimiento, con énfasis en los beneficios para toda la sociedad. Esto implica disociar la actividad económica del consumo de recursos finitos y eliminar los residuos del sistema desde el diseño. Respaldada por una transición a fuentes renovables de energía, el modelo circular crea capital económico, natural y social y se basa en tres principios: Eliminar residuos y contaminación desde el diseño, mantener productos y materiales en uso y regenerar sistemas naturales (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

ADITIVOS: Materiales activos agregados al hormigón en pequeñas cantidades para modificar alguna de sus propiedades por acción física o química (NCh 170. Of.85, 2016).

ADITIVOS RETARDADORES DE FRAGUADO: Aquellos cuya función principal es retrasar el tiempo de fraguado del cemento (anfah, 2022).

HORMIGÓN NO COLOCADO: Residuos de hormigón fresco que no son utilizados para su propósito que se pierden principalmente por el retorno de los restos

de los camiones hormigonera, por pérdidas en la tubería y bombas agitadoras de hormigón, así como por la limpieza de los camiones y en las propias centrales dosificadoras (Kulakowski, M, Guerreiro, M, & González, M., 2012).

RESIDUOS: Sustancia u objeto que su generador desecha o tiene la intención u obligación de desear de acuerdo con la normativa vigente (NCh 3562, 2019).

RESIDUO INERTE: Residuo que no experimenta transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas, no es soluble, ni combustible, ni reacciona física ni químicamente, ni de ninguna otra manera, no es biodegradable, no afecta negativamente a otras materias con las cuales entra en contacto de forma que pueda dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicial a la salud humana (NCh 3562, 2019).

PROYECTOS INMOBILIARIOS: Resultado de contemplar una obra de construcción cuyo destino sea habitacional y/o de equipamiento. Es un proyecto porque debe partir de diferentes factores o elementos que deben ser tomados en cuenta, como son, el terreno, la factibilidad económica, ubicación, diseño, estudio de mercado, tiempo de ejecución y más (Rankia, 2021).

COSTO FIJO: Erogación en que la empresa debe incurrir obligatoriamente, aun cuando la empresa opere a media marcha, o no lo haga, razón por la que son tan importantes en la estructura financiera de cualquier empresa (R. Jacobi, s.f.).

OFERTA: Conjunto de bienes o mercancías que se presentan en el mercado con un precio concreto y en un momento determinado (RAE, s.f.).

DEMANDA: Cuantía global de las compras de bienes y servicios realizados

o previstos por una colectividad (RAE, s.f.).

PLAN REGULADOR: Instrumento constituido por un conjunto de normas sobre adecuadas condiciones de higiene y seguridad en los edificios y espacios urbanos, y de comodidad en la relación funcional entre las zonas habitacionales, de trabajo, equipamiento y esparcimiento (Observatorio Santiago, s.f.).

PRESUPUESTO:

Cómputo anticipado del coste de una obra o de los gastos y rentas de una corporación. (RAE, s.f.).

COSTO DE TRANSPORTE: Costos relacionados con el manejo de insumos o bienes, que incluye actividades como transporte, distribución, recolección y entrega (Maplink.global, 2021).

FACILITY LOCATION: Busca ubicar una cantidad de instalaciones para atender a una cantidad determinada de clientes; por lo tanto, hay un conjunto de ubicaciones de potenciales instalaciones; dicha instalación un costo fijo y una capacidad limitada o ilimitada de oferta disponible (Hindawi, 2020).

QGIS: Sistema de información geográfica (SIG) de código abierto licenciado bajo GNU – General Public License, el cual permite visualizar, gestionar, editar y analizar datos, y diseñar mapas imprimibles (qgis.org, 2022).

FÓRMULA DE HAVERSINE: Ecuación que proporciona distancias entre dos puntos en una esfera a partir de sus longitudes y latitudes. (Chopde, N. R., & Nichat, M., 2013).

DIÉSEL: tiene otras denominaciones como, diésel, gasoil o gasóleo. Y se trata de un hidrocarburo líquido que está compuesto por parafinas. Sus principales

usos son, como combustible para calentar los hogares, y también, en el sector de la automoción se emplea en los motores diésel (Hello Auto, 2022).

PYTHON: Python es un lenguaje de programación interpretado, orientado a objetos de alto nivel y con semántica dinámica. Su sintaxis hace énfasis en la legibilidad del código, lo que facilita su depuración y, por tanto, favorece la productividad (LUCA, 2020).

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Dentro de los artículos revisados a lo largo de la investigación, fueron tres en particular los que sobresalieron. En el primero, titulado “*Sustainable Construction Logistics in Urban Areas: A Framework for Assessing the Suitability of the Implementation of Construction Consolidation Centres*”, se comenta que la industria de la construcción, si bien es de gran importancia para la actividad económica a nivel mundial, es uno de los principales colaboradores de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI). En Chile, específicamente en la ciudad de Santiago, el sector de la construcción se centra en proyectos heterogéneos de edificios habitacionales, edificaciones no habitacionales y en obras de ingeniería pública y privada. A causa del aumento de volumen poblacional, esta industria es parte de los sectores más importantes dentro de la economía nacional. Hasta el 2018, constituía aproximadamente el 6.4% del Producto Interno Bruto, y proporcionaba un 8.5% de participación en el empleo². Debido a factores externos, el PIB nacional descendió drásticamente desde finales del 2019. Sin embargo, de acuerdo con el Informe del Sector de la

² WorldWide Governance Indicators, del Banco Mundial.

Construcción del Centro de Estudios de la Ciudad y Territorio del Minvu, el PIB aumentó un 6.8% en el cuarto trimestre del 2021 en comparación al trimestre anterior. Si bien no hay reportes de datos sobre la cantidad exacta sobre el nivel de contaminación del rubro, es posible estimar una cantidad certera; considerando que, nivel internacional, el sector de la construcción genera cerca de un 30% del total de los GEI, el Tercer Informe Bienal de actualización sobre el Cambio Climático (2018), proyecta que este sector es responsable del 23% del total de emisiones de GEI a nivel nacional (CChC, *“El Sector de la Construcción ante el Desafío Climático Global”*, 2019).

El segundo artículo se titula *“Polish Transition towards Circular Economy: Materials Management and Implications for the Construction Sector”*. En este se comenta la complejidad de la implementación de cambios en la forma en que opera la economía; en países desarrollados de Europa, como Polonia, se han generado diversos cambios en la esencia de la economía para las materias primas utilizadas en el ámbito constructivo, como, por ejemplo, extendiendo el ciclo de vida de los productos o creando posibilidades de reparación. En Chile, los últimos gobiernos, junto con la Cámara Chilena de la Construcción (CChC), el Instituto de la Construcción (IC) y el programa Construye 2025 de la Corfo, junto con la facilitación técnica de la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT), están desarrollando un plan de acción al 2025, donde invitan a los representantes de la industria a impulsar diferentes medidas que buscan disminuir la demanda de recursos, el impacto ambiental, regenerar el medioambiente y la protección al mismo, a partir del fomento de la economía circular (*Ministerio del Medio Ambiente, s. f.*).

El último artículo relevante corresponde al titulado *“Viabilidad de utilización de aditivo estabilizador de hidratación (AEH) para el reciclaje del hormigón en estado fresco – Estudio de caso en el sur de Brasil”*; se comenta sobre la generación de residuos de hormigón en las Plantas de Hormigón, los cuales se originan con la devolución de los residuos de los camiones mixer, en la limpieza de los mismo, en las pérdidas en las tuberías y en los agitadores de bombas de hormigón y por situaciones presentes dentro de la misma planta. Dichos residuos son eliminados por compañías encargadas de la disposición final del material, pero que finalmente no es reutilizado. Si bien existen diferentes procedimientos para el tratamiento o reciclado de residuos de hormigón fresco, en este artículo se verifica la viabilidad técnica y económica de la reutilización parcial de hormigón a partir de un aditivo retardador, disminuyendo considerablemente el volumen de residuos que se depositan en vertederos, no afectando a las propiedades mecánicas del material, disminuyendo el costo generado por el traslado de residuos y además, permitiendo notables beneficios ambientales.

5. ADITIVOS RETARDADORES

De los aditivos presentes en el país, se consideraron dos en particular que servirían para el propósito de esta investigación. El primero corresponde a un estabilizador de la hidratación del cemento llamado Sikatard de la empresa Sika Chile®. De acuerdo con la ficha técnica del material, este aditivo permite que las mezclas de hormigón (preferiblemente hormigón proyectado) conserven una gran fluidificación durante largos periodos de tiempo sin perder su calidad, esto a partir del retraso de la hidratación del cemento durante un periodo de tiempo que varía de acuerdo a

la cantidad de aditivo por utilizar. Este material no genera corrosión en armaduras de acero de acuerdo con la norma EN 480-14, lo cual beneficiaría el uso para hormigón armado. Se comenta, además, que el aditivo se añade a la mezcla en dosis comprendidas entre el 0.2 y el 2% del peso del cemento, donde la mezcla con el hormigón debe ser de al menos 1 minuto por cada metro cúbico [m³] de hormigón. Adicional a esto, la nueva mezcla de hormigón debe re-amasarse por lo menos un minuto por m³ de hormigón previo a su descarga.

El otro aditivo estudiado es el aditivo controlador de fraguado para hormigón de la empresa DELVO® llamado Delvo Stabilizer, el cual, al igual que el anterior, es un aditivo líquido, el cual permite que el tiempo de fraguado se alargue a partir del controlamiento de la hidratación del cemento utilizado en el hormigón. Este aditivo en particular se puede utilizar en diversos tipos de hormigón (bombeado, reforzado, prefabricado, pretensado) pero considerando la utilización exclusiva de cemento Pórtland aprobados según las especificaciones de American Association of State Highway and Transportation (AASHTO). De acuerdo con su ficha técnica, Delvo Stabilizer cumple con las especificaciones ASTM C494 para aditivos retardantes, el rango de dosificación recomendado es de 260± 65 ml/100 [kg] de cemento para la mayoría de las mezclas de hormigón, sin embargo, debido a sus abundantes usos antes mencionados, se genera mucha variabilidad, por lo que los rangos de dosificación difieren considerablemente. Al igual que Sikatard, este aditivo no corroe el acero reforzado presente en el hormigón armado.

Es importante mencionar que, para ambos aditivos, las condiciones de almacenamiento exigen mantener el envase del aditivo a temperaturas que pueden variar entre 1 y 35°C, siempre

protegido del sol y de las heladas, por lo que es imperioso que dichos elementos sean conservados en lugar específico, es por lo que en esta investigación se presenta una potencial instalación donde se trate dicho material.

6. PLANTAS DOSIFICADORAS E INFORMACIÓN SOBRE PÉRDIDAS DE HORMIGÓN

Durante la investigación, fue posible contactar a la jefa de Torre de Control de una Planta de Hormigón perteneciente a la Región Metropolitana. En las reuniones generadas, se conversó acerca de un término del que se habla en la memoria mencionada en el capítulo 4 de esta investigación conocido como “anulaciones”, lo cual ocurre por diversos factores: uno puede ser cuando el camión mixer no llega dentro del plazo estipulado por lo que el cliente no acepta el material. Cuando ocurre esto, el producto puede ser vendido a un menor precio, sin embargo, debe ser vendido dentro de las horas previas al fraguado del hormigón.

Las anulaciones están presentes tanto en la memoria del 2013 como en la actualidad. De acuerdo con la información entregada de la Planta de Hormigón, sus niveles de anulación de este año corresponden a un 20% aproximadamente, mientras que en la memoria se comentan que existe una cancelación del 32.6%, lo que equivale a una gran pérdida monetaria de ingresos.

Sin embargo, la gran diferencia, de acuerdo con la entrevista realizada, es que esta empresa posee un gran nivel de seguimiento de sus productos, por lo que difícilmente las anulaciones se deben a retrasos y/o problemas de parte de la Planta, sino que ocurren por razones internas de los clientes, por lo que las pérdidas monetarias son adquiridas por ellos.

Ilustración 1: Porcentaje de anulaciones de pedidos de hormigón del año 2022 de Planta Dosificadora de Hormigón.



Fuente: Planta Dosificadora de Hormigón.

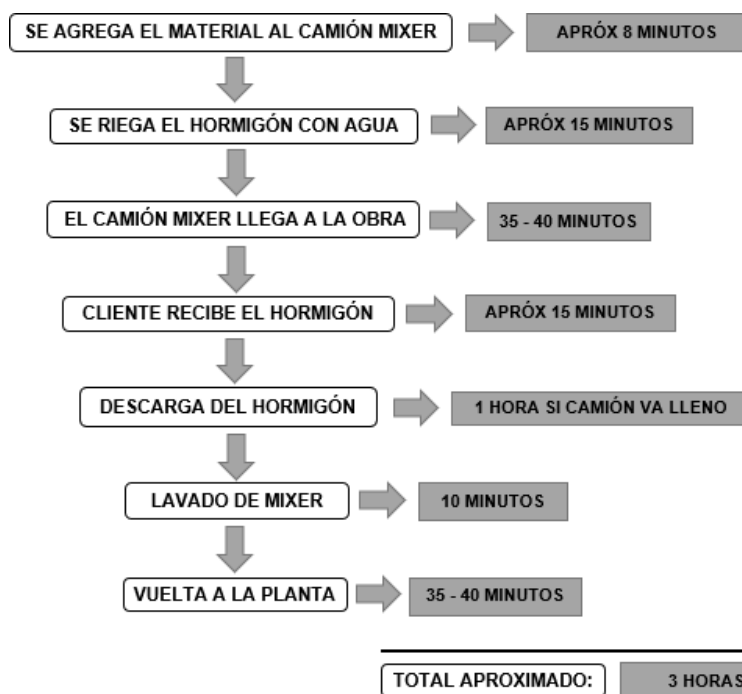
De esta entrevista se interioriza acerca de un concepto conocido como hormigón no colocado, el cual está presente en el marco teórico de esta investigación. De acuerdo con la información entregada y con información encontrada memoria realizada en el 2008 por estudiantes de la Universidad de Chile titulado “*Estudio para minimizar las pérdidas de materiales*

en obras de edificación en extensión”, el promedio de pérdidas entre hormigón y mortero es del 11%. Así mismo, se presenta además el tiempo estimado del proceso productivo, desde la mezcla de materiales hasta la vuelta del camión mixer a la planta de hormigón, el cual corresponde a 3 horas aproximadas.

Ilustración 2: Proceso de fabricación del hormigón en plantas dosificadoras



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 3: Ciclo aproximado de traslado de hormigón

Fuente: G. Melo Montenegro, 2013

Junto con lo anterior, se le consultó a un ingeniero que trabaja en la Oficina Técnica de un proyecto presente en un proyecto constructivo respecto a la utilización de aditivos retardadores, el cual comenta lo siguiente: “El retardador se solicita a planta calculando previamente si va a requerirlo. Nunca se pide para que se aplique en terreno, ya que el chofer del camión no está capacitado para dosificar en terreno cualquier aditivo. Cuando el retardador se aplica en planta es bastante confiable y cumple su cometido. Yo lo he solicitado en líneas de transmisión donde he calculado que el acceso es complicado y sé que se demorará en llegar el hormigón y su vaciado”³.

³ Se le consultó al profesor de Hormigón Armado de la Universidad, el cual proporcionó el contacto y la respuesta del ingeniero mencionado.

7. CÁLCULO DE COSTOS E INFORMACIÓN RELEVANTE

Esta sección se subdividirá de acuerdo a los datos necesarios para el código utilizado en la Fase 6, comentado en el capítulo 3 de esta investigación.

7.1. Información de los proyectos a considerar

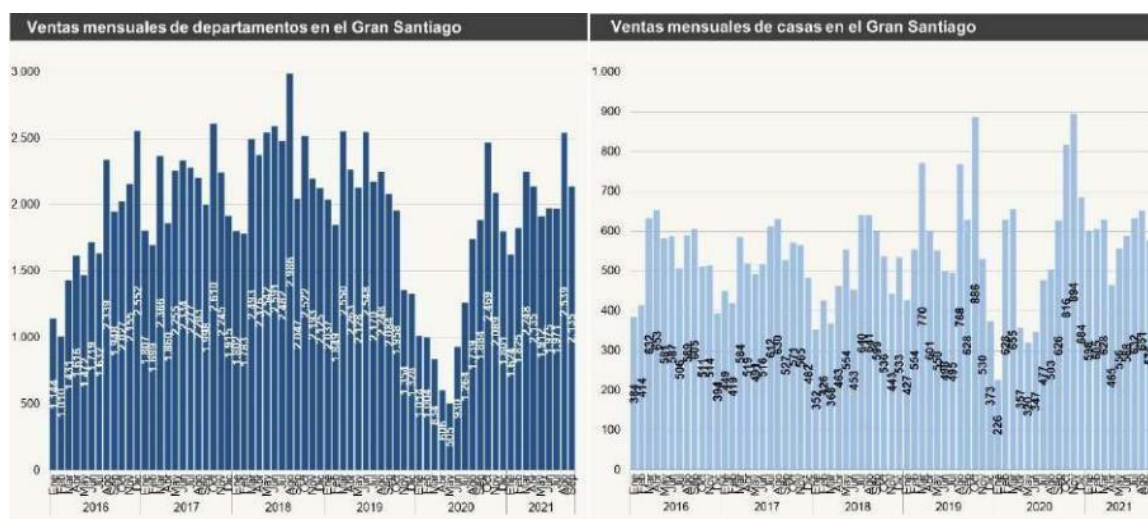
7.1.1. Definición del tipo de edificación y del lugar de estudio

Antes que nada, es importante definir y acotar el alcance de este estudio. De acuerdo con la información sobre los proyectos inmobiliarios pertenecientes a la Región Metropolitana entregada por la CChC en su Informe del Sector

Inmobiliario en el Gran Santiago del 2021, tanto la comercialización como la demanda de viviendas tipo departamentos tuvo un aumento del 13% en contraste con su año anterior, esto en comparación con el descenso de comercializaciones y el nivel de demanda de viviendas tipo casas de un 8% durante ese mismo año. Este aumento se justifica con la

recuperación del sistema productivo nacional luego del primer año de la crisis sanitaria la cual ha estado presente en el país desde marzo del año 2020, la cual generó un gran impacto sobre la actividad económica tanto internacional como nacional debido a las medidas impuestas durante la cuarentena.

Ilustración 4: Ventas mensuales de departamentos y casas en el Gran Santiago



Fuente: CChC

Dicho esto, se define que, para este estudio, se utilizará información sobre viviendas tipo departamentos en la Región Metropolitana.

Así mismo, el informe presenta una comparación sobre la distribución de

ofertas por comunas entre junio del 2020 y junio de 2021, junto con el promedio histórico de ofertas de cada una de las comunas presentes en la Región Metropolitana.

Ilustración 5: Mercado de departamentos por Comuna

Mercado de departamentos Comuna	Junio 2021		Junio 2020		Promedio histórico	
	Oferta	Meses	Oferta	Meses	Oferta	Meses
Nuñoa	9.523	27	8.022	48	5.079	29
La Reina/Peñalolén	954	66	1.532	290	741	35
Providencia	1.607	27	1.180	92	1.140	24
Las Condes	2.019	75	1.829	123	2.103	24
Lo Barnechea	1.255	31	1.348	69	936	37
Vitacura	1.704	35	1.655	107	1.091	30
Macul	3.072	23	2.707	59	2.018	35
Santiago Centro	9.084	33	6.518	117	8.735	26
San Miguel	1.807	30	2.859	68	3.329	23
La Cisterna	2.979	13	3.197	55	1.256	26
Puente Alto/San Joaquín/La Granja/Buín	2.283	61	703	32	1.105	23
Independencia	1.748	9	1.150	32	1.841	28
Huechuraba/Quilicura/Lampa	2.311	27	2.887	38	1.241	30
La Florida	5.189	24	3.730	16	2.243	22
Estación Central	3.798	30	4.463	73	4.956	42
Quinta Normal/Maipú/Cerrillos/Pudahuel	2.135	24	1.696	28	1.985	22

Fuente: CChC

De la tabla presentada se puede ver que las comunas de Las Condes y la de Vitacura son la que presentan menos variabilidad entre las fechas estipuladas (10.38% y 2.96% respectivamente), en comparación a otras comunas como Providencia, Santiago Centro y La Florida, con un porcentaje de aumento de ofertas de un 36.18%, un 39.4% y un 39.11% respectivamente.

Por lo tanto, se decide trabajar con Las Condes, ya que representa el porcentaje de variabilidad de aumento de ofertas más cercano a la mediana de los 16 valores considerados (10%), lo que puede interpretarse como un valor constante que no cambiará en corto periodo de tiempo, esto contemplando externalidades que pudieran cambiar dichos valores.

Ilustración 6: Porcentaje de Variabilidad de mercado de departamentos

Porcentaje de variabilidad de Mercado de departamentos			
Nuñoa	18.71%	San Miguel	-36.80%
La Reina/Peñalolén	-37.73%	La Cisterna	-6.82%
Providencia	36.19%	Puente Alto/San Joaquín/La Granja/ Buín	224.75%
Las Condes	10.39%	Independencia	52.00%
Lo Barnechea	-6.90%	Huechuraba/Quilicura/Lampa	-19.95%
Vitacura	2.96%	La Florida	39.12%
Macul	13.48%	Estación Central	-14.90%
Santiago Centro	39.37%	Quinta Normal/Maipú/Cerrillos/Pudahuel	25.88%
San Miguel	-36.80%	-	-
MEDIANA		10%	

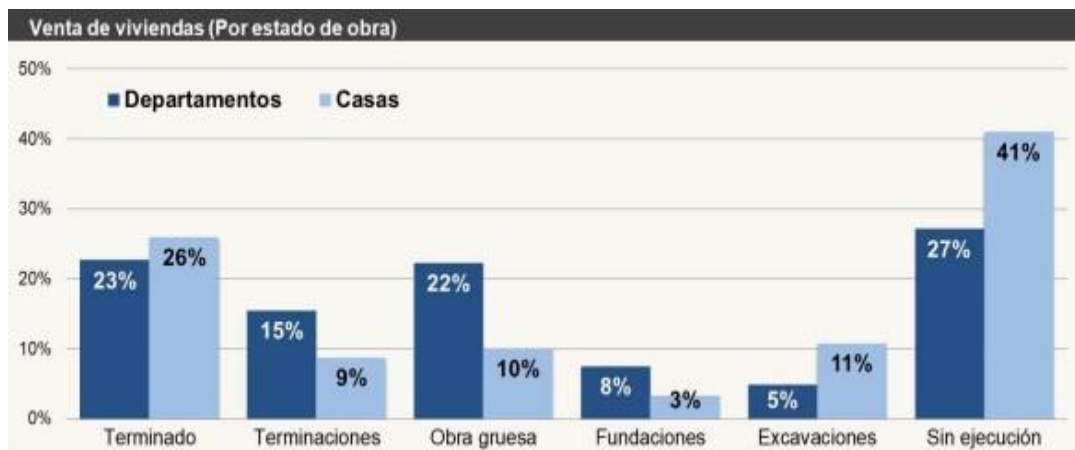
Fuente: Elaboración propia

7.1.2. Definición del partida y material

A partir del mismo informe antes mencionado, se presenta la tendencia de venta de viviendas de acuerdo con el estado en el que se encuentra la obra. Sin considerar la venta de

departamentos sin ejecución, terminaciones y obra gruesa son las partidas en las que más se generan ventas:

Ilustración 7: Comparación venta de viviendas de acuerdo al estado de la obra.



Fuente: CChC

De acuerdo con la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), la obra gruesa corresponde a *la parte de una edificación que abarca desde los cimientos hasta la techumbre, incluida la totalidad de su estructura y muros divisorios, sin incluir las instalaciones, las terminaciones y cierres de vanos*. Considerando la magnitud de tiempo, costos e importancia que posee la obra gruesa en un proyecto constructivo, se decide trabajar con dicha partida.

Igualmente, se puede mencionar que, de acuerdo con diversos estudios realizados tanto en Chile como en otras partes del mundo³, los elementos triturados son los que generan más

demanda dentro de la industria constructiva. La grava, específicamente, se utiliza para la creación de cemento y hormigón, siendo este último de los materiales más utilizados después del agua; esto principalmente debido a la gran variedad de usos que se le puede dar dentro de un proyecto edificacional, desde fundaciones hasta la infraestructura de este, la edificación en altura, entre otras.

Dada esta información, se concluye que el estudio a realizar es considerado para el hormigón utilizado en viviendas tipo edificio en la comuna de Las Condes, Región Metropolitana.

³ Holmberg, 2008; Gómez, Orobio, 2021; Rivera, 2015.

De la página web Portal Inmobiliario se consideraron 10 proyectos en proceso de construcción con características relativamente similares, los cuales están ubicados a lo largo de la comuna elegida. Los proyectos tienen una fecha de entrega estipulada que considera desde el segundo semestre del 2022 hasta el segundo semestre del 2024, precios en [UF] desde los 5600 hasta los 13171 y metros cuadrados [m²] útiles desde los 90.11 hasta los 146 [m²] aproximadamente. Los datos por presentar fueron encontrados y

considerados desde el 25 de abril del 2022. En la página antes mencionada se encuentran las direcciones de cada uno de los proyectos, los cuales fueron ingresados a *mymaps*, servicio de Google, donde es posible agregar mapas personalizados para uso propio o para compartir. Por lo tanto, las ubicaciones de cada uno de los proyectos pueden visualizarse en la siguiente imagen, donde el símbolo rojo corresponde a la ubicación de cada uno de los proyectos.

Ilustración 8: Información de los proyectos considerados para la investigación.

PROYECTOS					
FECHA: 25-04-2022					
NÚMERO	NOMBRE	INMOBILIARIA	PRECIO DESDE (UF)	[m ²] ÚTILES	FECHA ENTREGA
1	Edificio Zamora 3221	Almahue	5600	90.11	2° Semestre 2022
2	Isidora & Benjamín	Exacon	9287	103.3	2° Semestre 2024
3	Siena Christensen 838	Siena	8811	99.33	1° Semestre 2024
4	Mirador Martín de Zamora	Numancia	8423	97.995	2° Semestre 2024
5	Moller Edificio Río Guadiana 8745	Moller & Pérez-Cotapos	11970	124.955	2° Semestre 2023
6	Life Apartments	Deisa	6721	78.215	2° Semestre 2022
7	Alderete Cook I	Almagro	9990	101.3	1° Semestre 2023
8	Edificio Angular	CBS	9064	145.71	2° Semestre 2022
9	Edificio Martín de Zamora 4253	Simonetti	6000	72.185	2° Semestre 2023
10	Las Malvas	Santafe	13171	125.485	2° Semestre 2022

Fuente: Portal Inmobiliario

Ilustración 9: Información de los proyectos considerados para la investigación



Fuente: Google MyMaps

7.2. Presupuesto

Para la realización del itemizado del presupuesto, se consideraron elementos indispensables para la instalación del centro de tratamiento de hormigón.

Es importante comentar que las unidades de cada partida a utilizar son parte del Sistema Internacional (SI), y varían de acuerdo con la magnitud del elemento por cuantificar; las más utilizadas generalmente son: unidades [uní], kilogramo [kg], metro [m], metro cuadrado [m²], metro cúbico [m³] y litro [l]. Para este presupuesto en particular se utiliza metro cuadrado [m²] y unidades [uní] debido a la simplicidad de la instalación. Una de las unidades especiales que se utiliza en esta investigación es la unidad global [gl] la cual corresponde a un valor globalizado, es decir, que no posee un desglose; este se utiliza para las partidas que contienen muchos elementos, como lo son las desconexiones y las demoliciones. Debido a que se desconoce el posible terreno en el cual se trabajará, se considera 1 [m²] para los trabajos previos y para el despeje y limpieza del terreno, y 1 [m] para el cierre perimetral. Se espera un presupuesto mucho más detallado en caso de que se genere la instalación de dicho centro.

El precio unitario corresponde al precio por un bien o un servicio, en este caso,

por las operaciones que se realizan durante el proyecto, el cual contempla los materiales, el equipo y la maquinaria necesaria para una correcta ejecución. Estos precios son desglosados y detallados en el Análisis de Precios Unitarios (APU) para cada una de las partidas del presupuesto, en donde se identifica cada recurso mediante su descripción, ya sea para materiales, como para mano de obra, herramientas y maquinarias.

Cada uno de los APU'S se encuentran en el anexo de esta investigación. Es importante mencionar que para la mano de obra se consideran las leyes sociales del 36%, el cual corresponde al valor que se les paga a los trabajadores por cotizaciones por sobre su sueldo líquido. Además, se comenta que los precios unitarios fueron recolectados a partir de la guía de precios

www.chile.generadordeprecios.info.

Los precios del presupuesto fueron encontrados y considerados desde el 11 de mayo del 2022. Dicho esto, a continuación, se presenta el presupuesto realizado para el proyecto de instalación del centro de tratamiento de hormigón, dando un total de \$2.262.961 como total de costo directo, esto sin considerar los gastos generales, las utilidades, el valor del suelo y el IVA.

Ilustración 10: Presupuesto preliminar para instalación de centro de tratamiento de hormigón.

PRESUPUESTO					
Taller de título II					
Profesor Guía: Gerardo Ureta					
Fecha: 11 de mayo del 2022					
CÓDIGO	DENOMINACIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
A	TRABAJOS PREVIOS				\$ 498 677
A.1	Desratización, desinfección y eliminación de plagas				\$ 55 716
A.1.1	Control de plagas roedores	m2	1.00	\$ 1 264	\$ 1 264
A.1.2	Control de plagas de insectos	m2	1.00	\$ 1 309	\$ 1 309
A.1.3	Arranque y despeje de árboles, arbustos y hierbas	m2	1.00	\$ 53 143	\$ 53 143
A.2	Actas, memorias y estudios				\$ 361 371
A.2.1	Acta Notarial	uni	1	\$ 361 370	\$ 361 371
A.3	Equipamiento				\$ 50 103
A.3.1	Transporte de mobiliario y equipamiento de puesto de trabajo	uni	2	\$ 25 051	\$ 50 103
A.4	Seguridad y exteriores				\$ 31 487
A.4.1	Cierre perimetral	m	1.00	\$ 2 243	\$ 2 243
A.4.2	Protección alumbrado público	uni	1	\$ 6 202	\$ 6 202
A.4.3	Protección de árbol	uni	1	\$ 23 042	\$ 23 042
B	OBRA GRUESA				\$ 1 026 977
B.1	Despeje y limpieza de terreno	m2			\$ 2 979
B.1.1	Despeje y limpieza de terreno	m2	1.00	\$ 2 979	\$ 2 979
B.2	Baños químicos y vestidores				\$ 458 416
B.2.1	Construcción de caseta provisional para aseos	uni	1.00	\$ 248 003	\$ 248 003
B.2.2	Construcción de caseta provisional para vestuarios	uni	1.00	\$ 210 413	\$ 210 413
B.3	Containers				\$ 565 582
B.3.1	Construcción de caseta provisional para despacho de oficina	uni	1.00	\$ 240 142	\$ 240 142
B.3.2	Construcción de caseta provisional para almacén	uni	1.00	\$ 154 305	\$ 154 305
B.3.3	Construcción de caseta provisional para comedor	uni	1.00	\$ 171 135	\$ 171 135
C	INSTALACIONES				\$ 664 671
C.1	Eléctricas	ql	1.00	\$ 457 928	\$ 457 928
C.2	Iluminación	ql	1.00	\$ 206 743	\$ 206 743
D	OBRAS COMPLEMENTARIAS				\$ 72 637
D.1	Aseo y entrega	ql	1	\$ 72 637	\$ 72 637
				TOTAL COSTO DIRECTO	\$ 2 262 961
				16.50% GASTOS GENERALES	\$ 373 389
				10% UTILIDADES	\$ 226 296
				TOTAL NETO	\$ 2 862 646
				19% IVA	\$ 543 903
TOTAL PROYECTO					\$ 3 406 548

Fuente: Elaboración propia

7.3. Demanda por proyecto

Para la demanda del proyecto se consideraron los siguientes puntos:

- La cantidad de departamentos fue estimada de acuerdo con la información recolectada de cada proyecto encontrado en las respectivas páginas de sus inmobiliarias.
- Debido a la falta de planos exactos de cada uno de los departamentos para cada proyecto, se estima un promedio de losa de acuerdo con los metros cuadrados $[m^2]$ útiles proporcionados tanto en la página antes mencionada (Portal Inmobiliario) como en la página de cada una de las inmobiliarias. Dicho esto, se define que la demanda de

hormigón por utilizar para cada uno de los proyectos considera solo las losas de cada uno de los departamentos.

- Debido a que no se presenta esta información, se estima un espesor de losa promedio para cada uno de los proyectos de 0.15 [m]. Con este valor, es posible estimar la cantidad de metro cúbico $[m^3]$ de hormigón a utilizar para la losa de cada departamento.
- De acuerdo con lo comentado en el capítulo 6 de esta investigación, el porcentaje de hormigón no colocado corresponde a un 15%.

De acuerdo con información recolectada del artículo “Cuantificación

Económica de los Residuos de Construcción de una Edificación en Altura: Un caso de Estudio realizado por alumnos de la Pontificia Universidad Católica publicado en el 2019, se estima un costo ponderado de la gestión de RCD de 75,47 US/m, donde se considera tanto el precio de venta del elemento como el costo a botadero, incluyendo así el valor de transporte y su disposición final.

Considerando que el precio del dólar para ese año posee un promedio de \$703.25, se puede realizar la “regla de 3 simple” para obtener el valor de la gestión de RCD en la actualidad, el cual corresponde a 93.05 [US\$/m³]. Este valor se traduce en \$80.687 por metro cúbico de RCD, considerando, como se dijo anteriormente, tanto el transporte como su disposición final.

Ilustración 11: Información sobre demanda de hormigón para losa por proyecto.

DEMANDA DE HORMIGÓN POR PROYECTO						
FECHA: 11-05-2022						
NÚMERO	CANTIDAD DEPTOS	[M2] PROMEDIO LOSA	[M3] PARA LOSA DEPTO	[M3] H° TOTAL	[M3] ANULADOS	GASTO POR EXTRACCIÓN [CLP]
1	96	90.11	13.5165	1297.58	142.73	\$ 11 516 782
2	65	103.30	15.495	1007.18	110.79	\$ 8 939 240
3	24	99.33	14.8995	357.59	39.33	\$ 3 173 793
4	56	98.00	14.69925	823.16	90.55	\$ 7 305 987
5	49	124.96	18.74325	918.42	101.03	\$ 8 151 483
6	112	78.22	11.73225	1314.01	144.54	\$ 11 662 590
7	53	101.30	15.195	805.34	88.59	\$ 7 147 798
8	65	145.71	21.8565	1420.67	156.27	\$ 12 609 261
9	50	72.19	10.82775	541.39	59.55	\$ 4 805 116
10	47	125.49	18.82275	884.67	97.31	\$ 7 851 933
TOTAL				1030.70	\$	83 163 983

Fuente: Elaboración propia

7.4. Costo de envío

De acuerdo con la CChC, dentro de la caracterización de los tipos de camiones de transporte de carga más usados en el área constructiva se encuentra el camión mixer, el cual corresponde al camión equipado con un tambor, en el cual se permite contener, mezclar y transportar el hormigón hacia donde se requiera. De acuerdo con información otorgada por la planta de hormigón “Melón”: *“Los camiones del canal de venta “mixer tradicional” deben transportar un volumen mínimo de 7.5 [m³] de hormigón por viaje, salvo que, por condiciones especiales de la obra o de tipo de producto, la empresa oferente determine un volumen inferior a éste”*.

Estos camiones se movilizan a través del uso del combustible Diesel, valor por litro [lt] que varía de acuerdo con la comuna en la que se encuentra y la

fecha utilizada. Para el 16 de junio del 2022, fecha en la que se investigó respecto al tema, los precios del litro de Diesel para la comuna de Las Condes fueron los que se presentan a continuación, generando un promedio de \$988 por litro, y considerando que, en promedio se estima que cada 100 [km] se consumen 35 [lt] de diésel, el valor que se utilizará por metro recorrido es de \$346. Dicho esto, y a partir de la fórmula de Haversine, fue posible calcular el costo de envío por un viaje desde cada posible coordenada de instalación a cada uno de los proyectos contemplados. Debido a la extensión de los resultados, estos se presentan en [costos de envío](#).

7.5. Plan Regulador

Como se comenta en el marco teórico, un Plan Regulador posee diferentes disposiciones respecto a la comuna de la que sea parte. En este caso, el foco

va dirigido hacia el uso de suelo de la comuna de Las Condes. Esta sección del Plan Regulador corresponde al conjunto de actividades permitidas o restringidas en un área predial²⁰; de esta forma se autoriza o no por las municipalidades los destinos de las construcciones o de las instalaciones. De acuerdo con lo reglamentado por el Instrumento de Planificación Territorial correspondiente, los tipos de uso pueden definirse como:

- Residencial
- Actividades Productivas
- Equipamiento
- Infraestructura
- Espacio Público
- Área Verde

Para el propósito de esta investigación, se espera en que las coordenadas entregadas por el código se encuentren cerca de un área predial que no restrinja la instalación de un centro que trate materiales constructivos como el hormigón, en el tipo de suelo para actividades productivas.

Dicho esto, el Plan Regulador de la comuna de Las Condes permite la instalación del centro mencionado para tipos de uso de suelo zonas UC-1 y UC-2, siendo estos usos de suelo comercial, el cual corresponde a comercio e instituciones comerciales y comercio e instituciones metropolitanas respectivamente.

De acuerdo con el Plan Regulador, las zonas UC-1 Y UC-2, para el uso de suelo de tipo equipamiento, donde el destino de este es la de comercio permiten las siguientes actividades:

- UC-1: Locales comerciales, destinados a la compraventa de mercaderías diversas, con excepción de aquellos

señalados como no permitidos / Cafeterías, Salones de Té, Heladerías / Locales de venta de Panadería y Pastelería / Supermercados, Grandes Tiendas, Centros Comerciales / Minimercados o Minimarket / Estaciones de servicio o centros de servicio automotor, centros de lavado de automóviles y motocicletas / Edificaciones o locales destinadas a la compra y venta o arriendo de vehículos, motos y/o venta de partes repuestos, piezas, accesorios de vehículos motorizados y/o similares (1) / Venta de Materiales de Construcción / Venta minorista de maquinarias / Fuente de Soda, Restaurantes diurnos y nocturnos / Locales de expendio de cervezas, Bares / Restaurante de Turismo / Depósito de Bebidas Alcohólicas (botillería).²⁵

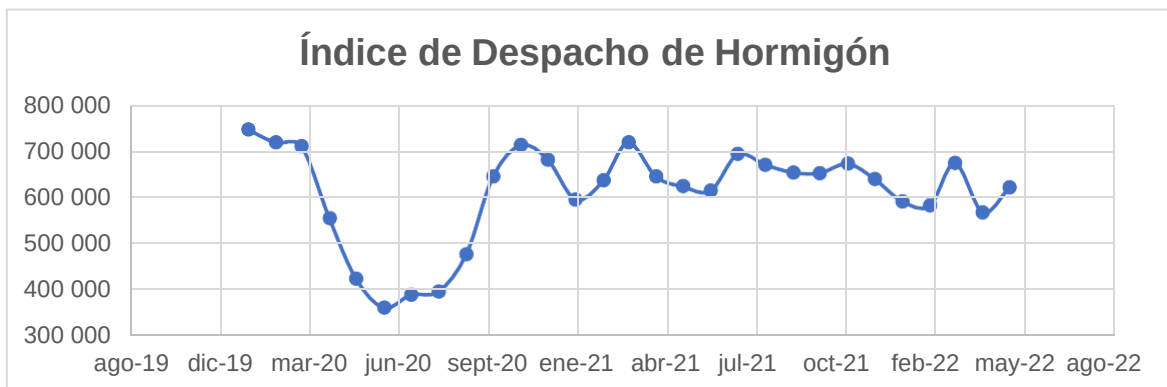
- UC-2: Locales comerciales, destinados a la compraventa de mercaderías diversas, con excepción de aquellos señalados como no permitidos / Cafeterías, Salones de Té, Heladerías / Locales de venta de Panadería y Pastelería / Supermercados, Grandes Tiendas, Centros Comerciales / Minimercados o Minimarket / Estaciones de servicio o centros de servicio automotor, centros de lavado de automóviles y motocicletas / Edificaciones o locales destinadas a la compra y venta o arriendo de vehículos, motos y/o venta de partes repuestos, piezas, accesorios de vehículos motorizados y/o similares (1) / Fuente de Soda, Restaurantes diurnos y nocturnos / Venta Minorista de Materiales de Construcción.

7.6. Demanda del material

Es importante presentar la demanda de hormigón del último año en contraste con años anteriores, el cual ha aumentado considerablemente luego de su disminución del año 2020, debido principalmente, al igual que la demanda de departamentos y casas, por el

motivo antes mencionado. De la Ilustración 12 es posible obtener la cantidad de demanda de hormigón del último año, dando un valor de 607.926 [m³] considerando los primeros 4 meses del año 2022.

Ilustración 12: Índice de Despacho de hormigón desde el 2020 al 2022.



Fuente: CChC

8. BÚSQUEDA DE PUNTOS GEOGRÁFICOS CON SISTEMA QGIS

El sistema QGIS posee un sistema de referencia por coordenadas que define el mapa bidimensional de lugares existentes en cualquier parte de la tierra, lo que se analiza a partir de las coordenadas de este, llamado Sistema de Coordenadas de Referencia (SCR), esto gracias a la representación de la superficie terrestre en 2D.

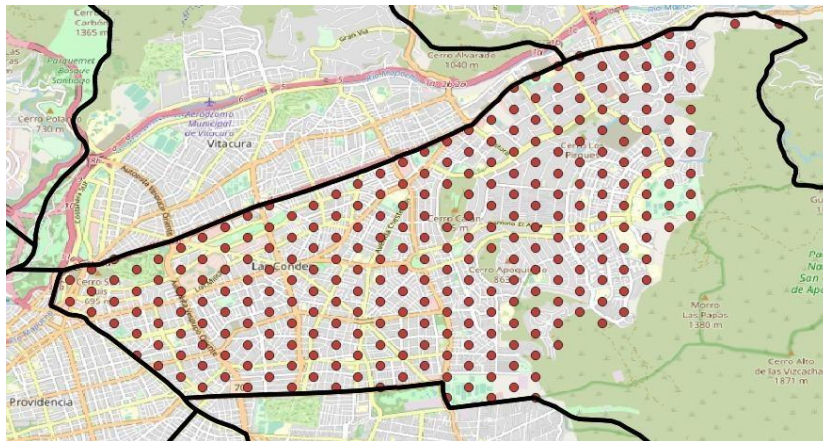
Para esto, se carga la información geográfica de la Región Metropolitana, la cual se divide en 6 provincias, las cuales se subdividen en 52 comunas, siendo Las Condes parte de una de ellas. Esta se diferencia colocándole un color de capa distintivo.

Es importante que las coordenadas por trabajar se encuentren con las mismas unidades de las coordenadas de los proyectos antes definidos, para así

obtener valores coherentes durante la utilización del código. Por lo tanto, se genera otra capa con las coordenadas consideradas (se consideran una gran cantidad de puntos para así obtener un resultado más exacto). Para esto es importante mencionar que el mapa de la comuna es dividido en hexágonos de características isotrópicas, es decir, que estas formas son uniformes en todas las direcciones del espacio. Así, se obtienen los centroides de cada uno de ellos, siendo todos equidistantes; por lo tanto, poseen la misma distancia entre ellos y, al mismo tiempo, se mantiene una heterogeneidad dentro del mapa.

Cada centroide corresponde a una coordenada presente a la comuna de las Condes, las cuales son extraídas para su posterior utilización en el código. En total se obtienen 287 coordenadas posibles de instalaciones en la comuna de Las Condes.

Ilustración 13: Puntos geográficos de la comuna de Las Condes.



Fuente: QGIS

9. MODELACIÓN CÓGIDO PYTHON

9.1. Facility Location

Existen diferentes técnicas para proporcionar una optimización matemática funcional, donde se espera maximizar o minimizar una función real a partir de datos de entrada y considerando restricciones (generalmente se considera la minimización de costos de transporte). De acuerdo con diversos estudios⁴, la ubicación de instalaciones es un área de la investigación de operaciones y de la geometría computacional desarrollada de una forma bien establecida, ya que ha permitido definir estratégicamente la ubicación de cualquier instalación deseada, independiente del área donde se desarrolla, permitiendo así un acceso distribuido y centralizado hacia los clientes a partir de la ubicación óptima de las instalaciones, obteniendo, por consecuencia, una mejora comercial y proporciona a la empresa que lo

utilizará una ventaja competitiva. Una de las formas de desarrollarlo es a través de la programación lineal de enteros mixta, el cual es un tipo de programa lineal en donde se consideran que los datos de entrada poseen valores enteros y, al mismo tiempo, datos de entrada con valores continuos.

Para esta investigación, se utilizaron un código de modelo de programación de enteros mixtos trabajado con el software Python; el cual permite optimizar la función objetivo, entregando el lugar óptimo de instalación.

⁴ M. Melo et al., 2008; Facility Location Problem, (s/f); *Problema de ubicación de Instalaciones* (s/f)

9.2. Optimización

Para el código se utilizó y se modificó un código de acceso libre, el cual utiliza la interfaz de programación de aplicaciones “PuLP”, el cual permita describir el problema de optimización como un modelo matemático, para luego solucionar el modelo a partir de solucionadores de programación lineal externos (como CBC, GLPK, CPLEX, Gurobi, etc.). Para cualquier modelo de optimización matemática, se deben considerar los componentes que se presentan a continuación.

9.2.1. Definición de conjuntos

Se definen un conjunto relacionado con los 10 proyectos considerados, los cuales corresponden a clientes con demandas, y otro conjunto donde se incluyen las 287 posibles instalaciones, las cuales pretenden satisfacer las demandas antes mencionadas.

- D_j : Conjunto de clientes
($j: 1, \dots, n$)
- F_i : Conjunto de instalaciones
($i: 1, \dots, m$)

9.2.2. Definición de inputs

Los valores por asignar a cada uno de los inputs son los que se han comentado anteriormente, siendo estos ingresados de forma manual al código:

d_i : Demanda anual de cada cliente j comentado en el subcapítulo 7.3 [m^3].

M_j : Volumen máximo por manejar anualmente por cada instalación i comentado en el subcapítulo 7.6 [m^3].

f_j : Costo fijo de activación de las instalaciones, comentado en el subcapítulo 7.2 [\$].

c_{ij} : Costo por transporte desde la ubicación de la instalación i hacia el cliente j , comentado en el subcapítulo 7.4.

9.2.3. Definición de Función Objetivo

Dicho esto, se propone que la función objetivo del problema es minimizar la suma de los costos de activación de las instalaciones y los costos de transporte.

$$\text{minimize } \sum_{j=1}^m f_j y_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij}$$

Ecuación 1: Función Objetivo.

Esta suma mide la compensación entre el costo de construir una nueva instalación y el costo total de entrega para un solo viaje hacia cada uno de los proyectos presentados.

9.2.4. Definición de restricciones

Las restricciones por considerar son las siguientes:

a) Se requiere que se satisfaga la demanda de cada cliente.

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = d_i \text{ para } i = 1, \dots, n$$

Ecuación 2: Restricción N°1

b) Capacidad de instalación: si la instalación j está activada, se considera su restricción de capacidad; sino se activa, la demanda satisfecha es 0.

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq M_j y_j \text{ para } j = 1, \dots, m$$

Ecuación 3: Restricción N°2

c) Proporciona límites superiores para las variables; a pesar de ser redundantes, producen una laxitud de la programación más estricta.

$$x_{ij} \leq d_i y_j \text{ para } i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$$

Ecuación 4: Restricción N°3

d) Restringe condiciones no negativas.

$$x_{ij} \geq 0 \text{ para } i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$$

Ecuación 5: Restricción N°4

e) Variables binarias.

$$y_j \in \{0,1\} \text{ para } j = 1, \dots, m$$

Ecuación 6: Restricción N°5

9.2.5. Desarrollo del código

Una vez ingresadas todas las variables, la función y las restricciones, se define el problema a partir del lenguaje matemático “*LpProblem*”, en donde se especifica la minimización comentada en la función objetivo. A continuación, se definen las variables de decisión con la sintaxis “*LpVariable.dicts*”, las cuales corresponden a las restricciones fijadas en las ecuaciones 6 y 7 comentadas en el subcapítulo anterior. Luego, se configura la función objetivo de acuerdo con lo estipulado en la ecuación 2, para después definir las restricciones faltantes de las ecuaciones 3, 4 y 5. Finalmente se modela la solución a partir de la sintaxis “*LpSolution*”, donde devuelve la solución al problema de optimización, solo si el código encuentra una solución óptima o probablemente óptima. Dicho código estará presente en el anexo de esta investigación. Además, el código entrega el costo total obtenido de la función objetivo.

El resultado entregará un par de coordenadas, las cuales son ingresadas al servidor Google Maps, el cual entregará la ubicación óptima de acuerdo con lo señalado por el código. Esta ubicación es verificada en el Plan Regulador de la comuna de Las Condes, y si cumple con el uso de suelo permitido de acuerdo con las zonas comentadas anteriormente, el resultado es satisfactorio. En caso contrario, dicha ubicación es eliminada de la lista de coordenadas consideradas en el código que cálculo del costo de envío, para nuevamente correr los códigos y verificar que cumpla con el Plan Regulador. Se deberían realizar diversas iteraciones hasta que el resultado sea óptimo de acuerdo con lo comentado.

10. RESULTADOS

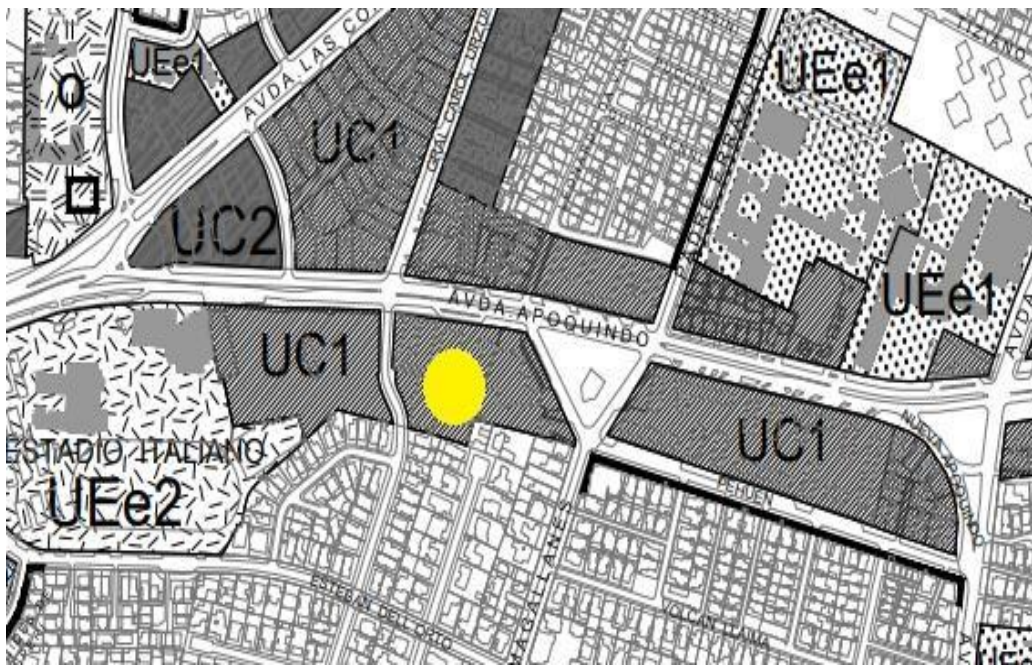
Finalmente, se utilizan el código mencionado en el capítulo 9, y, a partir de realizar 2 iteraciones, se obtiene que las coordenadas que cumplen con el Plan Regulador de la Comuna de las Condes es la n° 63 con las coordenadas (-33.407333, -70.55781), las cuales corresponden a la dirección Av. Apoquindo 6934, Las Condes, Región Metropolitana. Dicho lugar cumple con el tipo de uso de suelo UC-1. En la ilustración 14 se puede mostrar, en el símbolo azul, los resultados de la primera coordenada pero que, de acuerdo con el Plan Regulador, no eran apto para la instalación. Por su parte, el símbolo amarillo corresponde a la coordenada óptimo antes mencionada. Dicha ubicación corresponde a la ubicación del Plan Regulador de la Comuna de Las Condes presente en la ilustración 15 con color amarillo.

Ilustración 14: Coordenadas óptimas para instalación de centro de tratamiento para hormigón



Fuente: Mymaps

Ilustración 15: Ubicación óptima en Plan Regulador.



Fuente: Plan Regulador Las Condes

11. CONCLUSIONES

Se realizó el estudio sobre la viabilidad técnica y económica de la instalación de un centro de tratamiento para el hormigón con un aditivo retardador de fraguado, el cual, si bien es vendido en Chile, no es tan utilizado. De la reunión con la Jefa de la Torre de control de la Planta Dosificadora mencionada en esta investigación, se concluyó a que esto ocurría debido al miedo generalizado de cambiar el sistema en que se ha trabajado durante tanto tiempo en el rubro constructivo, así como la complejidad operacional que conllevaría las capacitaciones de los conductores de los camiones mixer al no existir un centro donde se pueda tratar correctamente el material con trabajadores conocedores del sistema y del aditivo a utilizar, además de la variabilidad que ocurriría al existir distintos pedidos de volúmenes de hormigón de acuerdo al proyecto que lo requiera.

Luego de esta investigación, se puede concluir que, a partir de la instalación de dicho centro de tratamiento, sería posible instaurar este sistema, dado que, primeramente, la ubicación dada cumple con los requerimientos entregados por el Plan Regulador. Por otra parte, si bien generaría un gasto adicional a las Plantas Dosificadoras considerando las variables que se comentan no estar contempladas en la sección de los resultados, el valor a largo plazo tenderá a ser mucho más beneficioso para la empresa en comparación a los costos generados por los residuos generados por el hormigón; de acuerdo a la sección 7.3 de la presente investigación, el valor aproximado de la extracción de los residuos de losas es de \$83.163.983, lo cual corresponde exclusivamente a lo equivalente a 10 proyectos y considerando un volumen aproximado

de hormigón para losa. Si se considerara la cantidad de hormigón utilizado para otras partidas, como fundaciones, o para otros elementos, como vigas, columnas o muros estructurales, este valor aumentaría considerablemente.

En relación con los beneficios ambientales, es posible concluir que la reutilización del hormigón que se contemplaba desechar disminuye notablemente los RCD de este material en el ámbito constructivo. De acuerdo con la economía circular en construcción (CDT), del 62% de los residuos industriales generados, el 34% corresponde a residuos constructivos, siendo el 90% de este concentrado en residuos de hormigón generados durante la etapa de obra gruesa³². Adicional a esto, es importante comentar que la producción de cemento es responsable de aproximadamente el 5% de las emisiones de CO₂, generando 1 [t] de estos gases por cada tonelada de este material; dado que este material es indispensable para la producción de hormigón, la utilización de este aditivo permitiría reducir notoriamente las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Se espera que este estudio pueda contribuir a una transformación a la mirada del sistema de producción, a través del manejo de aditivos retardadores para la utilización de hormigón que está por desecharse. Además del beneficio económico, existen efectos colaterales positivos como lo es la contribución sostenible con el proceso de producción para la industria constructiva, lo cual va cada día sumando importancia.

12. REFERENCIAS

Alter, L. (2022, 13 mayo). *A Simple Guide to Carbon Emissions From Building Materials*. Treehugger. <https://www.treehugger.com/guide-to-carbon-emissions-building-materials-5271939>

Bravo, Jorge, Valderrama, Claudia, & Ossio, Felipe. (2019). Cuantificación Económica de los Residuos de Construcción de una Edificación en Altura: Un Caso de Estudio. *Información tecnológica*, 30(2), 85-94. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000200085>

Cámara Chilena de la Construcción (CChC), (Diciembre 2019). *El Sector de la Construcción ante el Desafío Climático*. Global. https://cchc.cl/uploads/archivos/archivos/Fundamenta_45.pdf

Cámara Chilena de la Construcción (CChC), (s/f). *Evaluación Costo - Beneficio de la restricción al transporte de carga en el Anillo Américo Vespucio*. <https://extension.cchc.cl/datafiles/18995.pdf>

DELVO. (2015). *Aditivos Controladores de la Hidratación DELVO® - DELVO® STABILIZER*. <http://www.especificar.cl/fichas/aditivos-controladores-de-la-hidratacion-delvo->

Ellen MacArthur Foundation. Circular Academy. Available online: <http://www.circular.academy/circular-economy-some-definitions/> (accessed on 19 September 2021)

Facility Location Problem. (s/f). Gurobi Optimization. Recuperado el 4 de abril de 2022, de <https://www.gurobi.com/resource/facility-location-problem/>

Facility Location. (s/f). Colab Research Google. Recuperado el 4 de mayo de 2022, de https://colab.research.google.com/github/Gurobi/modeling-examples/blob/master/facility_location/facility_location_gcl.ipynb#scrollTo=u3jXPEqHzxFa

Fritz Benachio, G. L., Duarte Freitas, M., & Tabares, S. F. (2020). Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production* 260 (2020) 121046. Published.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620310933>

Fundación Ellen MacArthur, 2015. Towards the Circular Economy: business rationale for an accelerated transition. Disponible en: <https://emf.thirdlight.com/link/ip2fh05h21it-6nvypm/@/preview/1?o>

Gerencia de Estudios CChC (2021). INFORME

SECTOR INMOBILIARIO EN EL GRAN SANTIAGO.

https://cchc.cl/uploads/archivos/archivos/Informe_36_2021_-

[_2_%28Actividad_del_Sector_Inmobiliario_del_Gran_Santiago%29.pdf](#)

Gómez, Hernán Darío y Orobio, Armando Efectos de la incertidumbre en la programación de proyectos de construcción de carreteras. *Dyna*. 2015; 82 (193): 155-164. [Fecha de Consulta 4 de noviembre de 2021]. ISSN: 0012-7353. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49642141020>

Guarda Muñoz, J. (2008). Estudio para Minimizar las Pérdidas de Materiales en obras de Edificación en Extensión. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104976>

Holmberg, A. (Ed.). (2008). *Chile está en una coyuntura donde es necesario abrir mayores espacios para mejorar la productividad*. Revista EMB Construcción. <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=964&ni=augusto-holmberg-chile-esta-en-una-coyuntura-donde-es-necesario-abrir-mayores-espacios-para-mejorar-la-productividad#:~:text=Despu%C3%A9s%20del%20agua%2C%20el%20hormig%C3%B3n,a%20lo%20largo%20de%20los>

Installing PuLP at Home. (s/f). GitHub. Recuperado el 28 de junio de 2022, de https://coin-or.github.io/pulp/main/installing_pulp_at_home.html

Kulakowski, M, Guerreiro, M, & González, M. (2012). Viabilidad de utilización de aditivo estabilizador de hidratación (AEH) para el reciclaje del hormigón en estado fresco: Estudio de caso en el sur de Brasil. *Revista de la construcción*, 11(3), 99-111. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2012000300009>

M.T. Melo, S. Nickel, F. Saldanha-da-Gama, Facility location and supply chain management – A review, *European Journal of Operational Research*, ISSN 0377-2217, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.05.007>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221708004104>)

Ministerio del Medio Ambiente. (s. f.). *Infraestructura y Construcción – Economía Circular*. economiacircular.mma.gob.cl. Recuperado 21 de junio de 2022, de <https://economiacircular.mma.gob.cl/infraestructura-y-construccion/#:%7E:text=La%20Estrategia%20de%20Econom%C3%ADa%20Circular,plan%20de%20acci%C3%B3n%20al%202025>

Muerza, V., & Guerlain, C. (2021). Sustainable Construction Logistics in Urban Areas: A Framework for Assessing the Suitability of the Implementation of Construction Consolidation Centres. *Sustainability*, 13(13), 7349. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/su13137349>

Problema de ubicación de instalaciones capacitadas. (s/f). GitHub. Recuperado el 28 de junio de 2022, de <https://github.com/hakeemrehman/Python-PuLP->

[/blob/master/Capacitated%20Facility%20Location%20Problem.pdf](https://github.com/hakeemrehman/Python-PuLP-/blob/master/Capacitated%20Facility%20Location%20Problem.pdf)

Rivera León, G. J. (2015). *DYNAMIC MATERIAL FLOWS ANALYSIS TO BUILDING MATERIALS DEMAND PROJECTION IN COLOMBIA.*

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55625/1017123336.2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo. (2021). *ORDENANZA PLAN REGULADOR COMUNAL DE LAS CONDES.*

https://www.lascondes.cl/descargas/plano-regulador/2021_10_29_Texto_Refundido_Ordenanza_PRC_Exposicion_01.pdf

Sika Chile. (2017, noviembre). *FICHA DE PRODUCTO SikaTard® CL - ADITIVO ESTABILIZADOR DE LA HIDRATACIÓN DEL CEMENTO.*

https://chl.sika.com/dms/getdocument.get/fea9a5a6-bcbc-4702-a850-35690f3ecc8c/sikatard_cl.pdf

Sistema de coordenadas de referencia. (s/f). Documentación QGIS. Recuperado el 5 mayo de 2022, https://docs.qgis.org/2.14/es/docs/gentle_gis_introduction/coordinate_reference_systems.html

Términos y Condiciones. (s/f). Tienda Melón. Recuperado el 6 de mayo de 2022, de <https://tienda.melon.cl/terms-conditions>

Tomaszewska, J. (2020). *Polish Transition towards Circular Economy: Materials Management and Implications for the Construction Sector.*

Tomaszewska, J. (2020). Polish Transition towards Circular Economy: Materials Management and Implications for the Construction Sector. *Materials*, 13(22), 5228. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/ma13225228>

V., R. A. (2018). *6 tipos de uso de suelo establecidos en la OGUC.* Catálogo Arquitectura.

<https://www.catalogoarquitectura.cl/cl/oguc/conoce-los-6-tipos-de-uso-de-suelo-establecidos-en-la-oguc>

Vinante, C., Sacco, P., Orzes, G., & Borgianni, Y. (2020). Circular economy metrics: Literature review and company-level classification framework. *Journal of Cleaner Production.* Published.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620351349?via%3Dihub>

WorldWide Governance Indicators, del Banco Mundial.

13. ANEXOS

Debido a la extensión de datos utilizados, se presenta el siguiente enlace: [Información Taller de Título](#), donde se presenta toda la información necesaria para la utilización del código; desde la información de los proyectos considerados para esta investigación, como el presupuesto con sus

respectivos APU'S, el cálculo del costo de envío y los resultados presentados en el capítulo 10. Así mismo, en el siguiente enlace es posible encontrar el código utilizado, el cual arroja los primeros resultados encontrados:

[Código de Optimización](#)