



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA CALCULAR LAS
EMISIONES DE CO₂ DEL HORMIGÓN PARA EMPRESA DE HORMIGÓN
PREMEZCLADO**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

FELIPE IGNACIO GONZÁLEZ INDO

PROFESOR GUÍA:
Jacques Bornand Araya

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
David Campusano Brown
Federico Delfín Ariztía
Jorge Pulgar Allendes

SANTIAGO DE CHILE
2024

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
POR: FELIPE IGNACIO GONZÁLEZ INDO
FECHA: 2024
PROF. GUÍA: JACQUES BORNAND ARAYA

DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA CALCULAR LAS EMISIONES DE CO2 DEL HORMIGÓN PARA EMPRESA DE HORMIGÓN PREMEZCLADO

El presente trabajo de título "Desarrollo de una Metodología para Calcular las Emisiones de CO2 del Hormigón para Empresa de Hormigón Premezclado", presenta una innovadora aproximación al cálculo de la huella de carbono en la industria del hormigón. Enfocándose en el hormigón premezclado, integra la norma ISO 14067 para examinar detalladamente el ciclo de vida del hormigón, desde la producción de materias primas hasta la entrega en obra.

La investigación destaca la importancia del cemento y el transporte del hormigón en las emisiones totales, ofreciendo una perspectiva detallada de las etapas del proceso. Se desarrolla una herramienta interactiva utilizando Power BI, que permite una visualización y análisis eficientes de las emisiones de CO2 asociadas a la producción y despacho del hormigón. Esta herramienta es una aportación significativa para la empresa y la industria, permitiendo un monitoreo más efectivo de la huella de carbono y la identificación de oportunidades de mejora en la sostenibilidad ambiental de los procesos.

Este trabajo también propone estrategias prácticas para la industria del hormigón, resaltando su relevancia en el contexto de la sostenibilidad ambiental y el cambio climático. Estas estrategias incluyen la optimización de la producción de cemento, la adopción de tecnologías de energía limpia, una gestión eficiente de los recursos y la innovación en productos de hormigón. El trabajo subraya la importancia de una evaluación exhaustiva de las emisiones de CO2 en todas las etapas de la producción de hormigón premezclado, contribuyendo a una comprensión más profunda y detallada del impacto ambiental de esta industria.

En conjunto, esta trabajo de título aporta una metodología robusta y una herramienta práctica para la evaluación y gestión de las emisiones de CO2 en la producción de hormigón premezclado, alineándose con las crecientes demandas de sostenibilidad en la construcción y la responsabilidad ambiental corporativa.

*Lucha por tus sueños
sin olvidar lo importante*

dedicado a mi familia

Agradecimientos

Primero que todo, quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres, Raúl y Carmen, por brindarme un apoyo constante durante esta etapa de mi vida. Ellos fueron los primeros en alentarme y proporcionarme la energía necesaria para culminar este ciclo.

A mi querida hermana pequeña, Sofía, le agradezco por ser una fuente constante de motivación y por ser un motor que impulsa mi deseo de ser un ejemplo para ella.

A mi compañera de vida, Francisca, mi agradecimiento por su apoyo incondicional en los momentos difíciles y por acompañarme en superar los desafíos de esta etapa.

A mis amigos, quienes se convirtieron en mi núcleo a lo largo de mi experiencia universitaria, y a mi mejor amigo, Francisco, por regalarme tantos momentos especiales.

A la selección de fútbol de la Universidad, agradezco la entrega de valores fundamentales para enfrentar la vida y por enseñarme a competir de manera positiva.

A mi club de barrio, La Cisterna Barrio Famae, y a toda su comunidad, gracias por recibirme y acogerme. Me brindaron momentos de distensión y competencia, así como valiosos valores.

Quiero expresar mi agradecimiento a Braulio Pinto y Paulina Vega por brindarme contención y abrirme las puertas de su hogar en uno de los momentos más difíciles de mi vida.

También agradezco a Gimena y Álvaro por sus consejos constantes y por llamarme la atención cuando fue necesario.

Por último, dedico un especial agradecimiento a mis dos ángeles que cuidan de mí desde el cielo, mis queridas viejitas, Nelly y Malvina.

Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO	1
1.1. Antecedentes de la industria	1
1.2. Descripción general de empresa	2
1.3. Justificación del problema y solución propuesta	2
1.4. Objetivos y resultados esperados	4
1.4.1. Objetivo General	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.4.3. Resultados esperados	4
1.5. Alcances	4
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Protocolo internacional huella de carbono	5
2.1.1. Norma ISO 14067 HUELLA DE CARBONO DE PRODUCTO	5
2.1.1.1. Principios norma ISO 14067 HUELLA DE CARBONO DE PRODUCTO	6
2.1.1.2. Metodología para la cuantificación de HCP parcial	6
2.1.2. Análisis de datos	7
2.1.3. Categorías de alcance de emisiones de CO ₂	7
2.2. Términos y definiciones	8
3. DESCRIPCIÓN DE LA INDUSTRIA	9
3.1. Industria hormigón	9
3.2. Industria del hormigón en Chile	9
3.2.1. Importancia de la reducción de emisiones de CO ₂	9
3.3. Unicon Chile	10
3.3.1. Proceso de producción de hormigón (ciclo de vida)	11
3.3.2. Clasificación etapas ciclo de vida	12
4. CASO DE ESTUDIO METODOLOGÍA PARA CALCULAR EMISIONES DE CO₂ DEL HORMIGÓN	14
4.1. Alcance y objetivo de metodología	14
4.2. Categoría de impacto	14
4.3. Unidad funcional	15
4.4. Etapas del ciclo de vida del producto	15
4.5. Procesos unitarios del ciclo de vida del producto	16
4.5.1. Materias primas	16
4.5.1.1. Cemento	16
4.5.1.2. Áridos	16

4.5.1.3.	Aditivos	17
4.5.1.4.	Agua	17
4.5.2.	Transporte Materias Primas	17
4.5.3.	Consumo planta premezclado	18
4.5.3.1.	Consumo eléctrico	18
4.5.3.2.	Consumo cargador frontal	18
4.5.4.	Transporte hormigón a obra	19
4.6.	Recopilación datos cualitativos y cuantitativos necesarios para cada proceso unitario (entrada y salida)	19
4.6.1.	Materias primas	19
4.6.1.1.	Producción de cemento	19
4.6.1.2.	Producción de agua	19
4.6.1.3.	Producción de áridos	20
4.6.1.4.	Producción de aditivos	20
4.6.2.	Transporte materias primas	21
4.6.2.1.	Transporte de cemento	21
4.6.2.2.	Transporte de áridos	22
4.6.2.3.	Transporte de aditivos	22
4.6.3.	Consumo planta premezclado	23
4.6.3.1.	Consumo eléctrico	23
4.6.3.2.	Consumo cargador frontal	23
4.6.4.	Transporte hormigón a obra	24
4.6.4.1.	Transporte mixer	24
4.6.5.	Expresión de calculo de CO2 equivalente para 1 M3 de hormigón	24
4.6.6.	Factores de emisión utilizados en el cálculo de huella de carbono	25
4.6.6.1.	Factores de emisión producción de cemento (alcance 1 y 2)	25
4.6.6.2.	Factores de emisión producción de agua	25
4.6.6.3.	Factores de emisión producción de áridos (gravilla 13 mm, gravilla 20 mm, grava 40 mm, arena, arena fina)	26
4.6.6.4.	Factores de emisión producción de aditivos (Cristalizante, Impermeabilizante, Aditivo Tipo F, Aditivo Tipo D, Aditivo Tipo B, Adición, Fibra Plástica, Aditivo Otro Tipo, Fibra Metálica, Pigmento)	26
4.6.6.5.	Factores de emisión eléctrico	26
4.6.6.6.	Factores de emisión camión transporte de materias primas (cemento, áridos, aditivos)	27
4.6.6.7.	Factores de emisión camión mixer y cargador frontal	27
5.	DESARROLLO DE CALCULADORA DE EMISIONES DE CO2	28
5.1.	Explicación desarrollo calculadora	28
5.2.	Carpetas input	29
5.2.1.	Carpeta consumos plantas	29
5.2.2.	Carpeta despachos plantas	30
5.2.3.	Carpeta dosificación plantas	31
5.2.4.	Carpeta factores emisión plantas	32
5.2.5.	Carpeta proveedores productos	33
5.3.	Calculadora Power BI	34

5.3.1.	Dashboard CO2 eq por m3 según guía de despacho	34
5.3.2.	Dashboard CO2 eq por guía de despacho	35
5.3.3.	Dashboard toneladas CO2 eq emitidas por UNICON	36
5.3.4.	Dashboard toneladas CO2 eq emitidas por planta	36
5.3.5.	Dashboard KG CO2 eq promedio por m3 de hormigón por familia de hormigón	37
5.3.6.	Dashboard KG CO2 eq promedio por m3 de hormigón por resistencia de hormigón	38
6.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	39
6.1.	Resultados de la calculadora de emisiones de CO2	39
6.1.1.	Desarrollo y funcionalidad de la calculadora de emisiones de CO2	39
6.1.2.	Resultados obtenidos	39
6.1.2.1.	Promedio general de CO2 equivalente por metro cúbico de hormigón	39
6.1.2.2.	CO2 equivalente por resistencia (MPa)	40
6.1.2.3.	Nivel despachos y familia de hormigón	40
6.1.2.4.	Nivel planta UNICON	42
6.1.2.5.	Nivel UNICON	43
6.2.	Análisis de los resultados	43
6.2.1.	Análisis promedio general de CO2 equivalente por metro cúbico de hormigón	43
6.2.2.	Análisis CO2 equivalente por resistencia (MPa)	44
6.2.3.	Análisis nivel despacho y familia de hormigón	44
6.2.4.	Análisis nivel planta UNICON	45
6.2.5.	Análisis nivel UNICON Chile	45
6.3.	Implicaciones prácticas y recomendaciones	45
6.3.1.	Optimización de la producción de cemento	45
6.4.	Adopción de tecnologías de energía limpia	45
6.5.	Gestión eficiente de los recursos	46
6.6.	Innovación en productos de hormigón	46
6.7.	Consideraciones adicionales	46
6.7.1.	Limitaciones del estudio	46
6.7.2.	Áreas de investigación futura	46
6.7.3.	Relevancia en el contexto de la sostenibilidad	47
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
7.1.	Evaluación de objetivos	48
7.2.	Hallazgos clave y recomendaciones	48
7.3.	Impacto en la industria y sostenibilidad	49
	Bibliografía	50
	Anexos	51
A.	Entradas y Salidas Procesos Unitarios	51
A.1.	Materias Primas	51
A.2.	Transporte Materias Primas	54
A.3.	Consumos	58

A.4. Transporte Hormigón a Obra	58
---	----

Índice de Tablas

1.1.	Contribución Porcentual al PIB por Sector 2022, Fuente BCCH [1]	1
4.1.	Factores de Emisión Producción de Cemento	25
4.2.	Factores de Emisión Producción de Agua	25
4.3.	Factores de Emisión Producción de Áridos	26
4.4.	Factores de Emisión Producción de Aditivos	26
4.5.	Factores de Emisión Camión	27
4.6.	Factores de Emisión Mixer y Cargador Frontal	27
6.1.	Promedio general de CO2 equivalente por metro cúbico de hormigón	40
6.2.	CO2 equivalente por resistencia MPa	40
6.3.	Resultados Hormigón GN25.0(90)20/10	41
6.4.	Resultados Hormigón GN35(90)208	42
6.5.	Resultados Planta La Serena Mes Abril	42
6.6.	Resultados Planta Lo Espejo Mes Abril	43
6.7.	Resultados UNICON CHILE Mes Abril	43
6.8.	Comparativa promedio general de CO2 equivalente por metro cúbico de hormigón	44
A.1.	Entrada/Salida Datos Producción Cemento	51
A.2.	Entrada/Salida Datos Producción Agua	51
A.3.	Entrada/Salida Datos Producción Áridos	52
A.4.	Entrada/Salida Datos Producción Aditivos	52
A.5.	Entrada/Salida Datos Producción Aditivos	53
A.6.	Entrada/Salida Datos Transporte Cemento	54
A.7.	Entrada/Salida Datos Transporte Áridos	55
A.8.	Entrada/Salida Datos Transporte Aditivos	56
A.9.	Entrada/Salida Datos Transporte Aditivos	57
A.10.	Entrada/Salida Datos Consumo Electricidad	58
A.11.	Entrada/Salida Datos Consumo Diesel Cargador Frontal	58
A.12.	Entrada/Salida Transporte Mixer	58

Índice de Ilustraciones

1.1.	Emisiones anuales de CO2 en Chile, Fuente: Our World In Data	3
3.1.	Planta UNICON, Fuente: UNICON Chile	10
3.2.	Camión Mixer UNICON Chile, Fuente: UNICON Chile	12
3.3.	Esquema ciclo de vida hormigón, Fuente: Elaboración propia	12
4.1.	Factor de emisión sistema eléctrico nacional año 2022	27
5.1.	Carpetas Inputa Calculadora CO2	29
5.2.	Planilla dentro de carpeta consumos plantas	29
5.3.	Planilla consumos por planta	29
5.4.	Planillas dentro de carpeta despachos planta	30
5.5.	Planilla despachos mes de abril 2023	30
5.6.	Planillas dentro de carpeta dosificación planta	31
5.7.	Planilla dosificación planta chillán	32
5.8.	Planillas dentro de carpeta factores emsión plantas	32
5.9.	Planilla factores de emisión planta chillán	33
5.10.	Planillas dentro de carpeta proveedores productos	33
5.11.	Planilla proveedores productos planta chillán	34
5.12.	Dashboard CO2 eq por m3 por guía	35
5.13.	Dashboard CO2 eq por guía	35
5.14.	Dashboard CO2 eq general	36
5.15.	Dashboard CO2 eq por planta	37
5.16.	Dashboard CO2 eq promedio m3 hormigón por familia	37
5.17.	Dashboard CO2 eq promedio m3 hormigón por familia	38

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO

1.1. Antecedentes de la industria

La construcción en Chile, un sector en constante crecimiento, ha convertido al hormigón en su insumo principal. Este sector, que llegó a contribuir con un 6,8 % al PIB ¹del país en 2019 [1], ha experimentado una disminución post-pandemia, pero mantiene su importancia económica. La tabla 1.1 muestra la contribución porcentual de varios sectores al PIB de Chile en 2022. En este contexto, el hormigón premezclado se ha convertido en un elemento crucial, casi omnipresente en las obras de construcción.

Tabla 1.1: Contribución Porcentual al PIB por Sector 2022, Fuente BCCH [1]

Ranking 2022	Actividad Económica	Porcentaje PIB
1	Minería	14,2 %
2	Servicios financieros y empresariales	12,2 %
3	Servicios personales	12,1 %
4	Comercio, restaurantes y hoteles	10,6 %
5	Impuestos sobre los productos	10,2 %
6	Industria Manufacturera	9,7 %
7	Servicios de vivienda e inmobiliarios	8,0 %
8	Construcción	5,9 %
9	Transporte	4,5 %
10	Administración pública	4,3 %
11	Agropecuario-silvícola	2,8 %
12	Comunicaciones y servicios de información	2,6 %
13	Electricidad, gas, agua y gestión de desechos	2,1 %
14	Pesca	0,7 %

El hormigón, sin embargo, es una fuente significativa de emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero. Estas emisiones se deben a factores como el alto consumo energético en la fabricación del cemento, uno de los principales componentes del hormigón. La producción de cemento Portland, el tipo más común en construcción, libera CO₂ durante la calcinación de la caliza. Además, la distribución de las materias primas y el transporte del hormigón

¹ Producto Interno Bruto: es una medida económica que representa el valor total de todos los bienes y servicios producidos en un país durante un período específico, generalmente un año. El PIB es utilizado para evaluar la salud y el tamaño de la economía de una nación, y puede indicar su crecimiento, contracción o estabilidad.

premezclado generan emisiones adicionales de CO₂ debido al uso de vehículos y maquinaria que funcionan con combustibles fósiles.

Es por esto que es de suma importancia poder tomar acciones para mitigar en parte las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la producción de hormigón.

El hormigón se ha convertido en una de las mayores fuentes de CO₂ para el planeta, contribuyendo aproximadamente con el 10 % de las emisiones totales. Este impacto ambiental radica principalmente en la producción de cemento y el transporte del hormigón.

En resumen, el hormigón premezclado es un elemento esencial en la industria de la construcción chilena, pero su producción conlleva importantes emisiones de gases de efecto invernadero. Es crucial adoptar medidas para mitigar estas emisiones y promover prácticas más sostenibles en el sector.

1.2. Descripción general de empresa

Unicon Chile es una empresa que se especializa en la producción y suministro de hormigón premezclado, la cual, se enfoca en ofrecer productos de alta calidad que cumplen con los estándares de la industria y que se ajustan a las necesidades específicas de los clientes y proyectos de construcción.

UNICON Chile nace de la necesidad de cumplir con las disposiciones de la Fiscalía Nacional Económica. En 2017, Cementos BSA se enfrenta al encargo de formar una nueva entidad a partir de siete sucursales de hormigón premezclado, con la finalidad de permitir su fusión con Cementos Polpaico. Como resultado, surge Hormigones Independencia. Esta entidad se somete posteriormente a un proceso de venta, culminando en mayo de 2018 con la adquisición del 100 % de sus acciones por parte de UNICON Perú, una subsidiaria del Grupo Cementero Unacem. Este proceso de reestructuración posiciona a UNICON Chile en siete regiones claves a nivel nacional.

La empresa se distingue por su enfoque en soluciones personalizadas en hormigón para la construcción. Su cartera incluye una amplia gama de más de mil productos, abarcando desde morteros básicos hasta desarrollos específicos para cada cliente. Su equipo experimentado y la matriz con operaciones en Perú y Ecuador respaldan su conocimiento y enfoque tecnológico. Con laboratorios avanzados y un sólido enfoque en la tecnología del hormigón, UNICON Chile desarrolla productos de acuerdo con las necesidades cambiantes de sus clientes y adopta las últimas innovaciones en hormigón premezclado.

Unicon Chile en la actualidad posee diez plantas a nivel nacional, ubicadas entre la IV y la XVI región. Esta empresa es la encargada de proporcionar los datos necesarios para este trabajo de título sobre sus operaciones y los métodos para llevar a cabo la producción y distribución del hormigón.

1.3. Justificación del problema y solución propuesta

El cambio climático es uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad en el siglo XXI. La ciencia ha demostrado que el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente dióxido de carbono (CO₂), es la principal causa del calentamiento global y sus consecuencias negativas para el medio ambiente y la sociedad. Por lo tanto, es urgente reducir las emisiones de CO₂ en todos los sectores de la economía y la vida cotidiana.

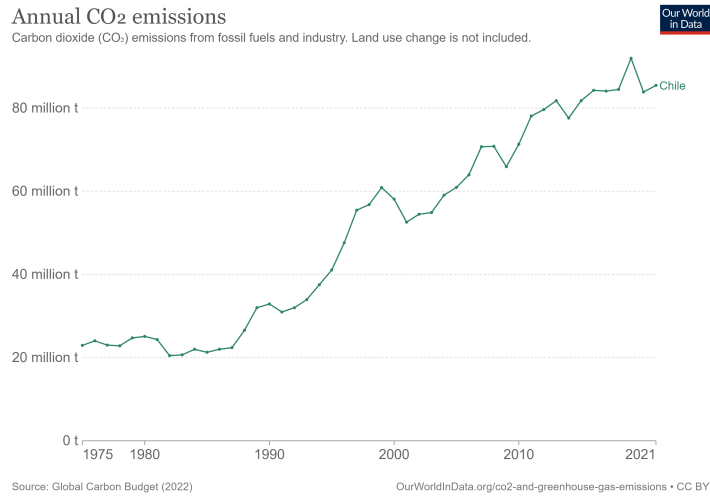


Figura 1.1: Emisiones anuales de CO₂ en Chile, Fuente: Our World In Data

La producción de hormigón premezclado tiene un impacto significativo en el medio ambiente debido a que el cemento, uno de sus principales componentes, es responsable de aproximadamente el 8% de las emisiones globales de CO₂ [2]. Además, el transporte tanto de materias primas como del hormigón premezclado contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, es crucial desarrollar una metodología para calcular estas emisiones de CO₂ y así identificar oportunidades para reducir las, mejorando la sostenibilidad ambiental de la empresa. El cálculo de la huella de carbono permite identificar las fuentes y los factores que influyen en estas emisiones, así como establecer estrategias para su mitigación, como el uso de aditivos, el reciclaje, la optimización del diseño y una gestión más eficiente de los recursos. Este enfoque es particularmente relevante en un momento donde existe una creciente preocupación por el cambio climático y una mayor demanda por parte de los consumidores y reguladores para que las empresas adopten prácticas más sostenibles.

Además, es importante destacar que las empresas de hormigón premezclado tienen diferentes formulaciones para los distintos tipos de hormigón que ofrecen al mercado. Esta diversidad de recetas influye directamente en las emisiones de CO₂ que emiten, ya que cada fórmula puede requerir diferentes materias primas y procesos de producción.

En este contexto, el objetivo de este trabajo de título es desarrollar una metodología para calcular el CO₂ emitido en la producción de hormigón premezclado para UNICON Chile, una empresa del rubro. Esta metodología permitirá estimar la huella de carbono de cada tipo de hormigón producido, desde la obtención de las materias primas hasta su colocación en la obra. Se utilizarán los datos proporcionados por la empresa y se seguirán los criterios establecidos por FICEM (Federación Interamericana del Cemento) para el cálculo de estas emisiones.

La importancia y relevancia de este trabajo para la empresa radica, en primer lugar, en obtener una medición inicial del impacto ambiental de sus operaciones y entender cómo contribuyen cada una de sus materias primas y procesos a la huella de carbono del hormigón que suministran. Y en segundo para tener precisión respecto al CO₂ emitido por cada dosificación diferente que maneja la empresa. Esto permitirá establecer directrices claras sobre hacia dónde debe dirigir sus esfuerzos la empresa en materia de reducción de emisiones. Además, la herramienta de cálculo desarrollada permitirá realizar un seguimiento de las acciones de mitigación que la empresa implemente en el futuro.

1.4. Objetivos y resultados esperados

1.4.1. Objetivo General

Cuantificar, y establecer el escenario base de emisiones de CO₂ que poseen los hormigones nacionales en la actualidad.

1.4.2. Objetivos específicos

- Obtener un método de cálculo de emisiones de CO₂
- Calcular las emisiones de CO₂ del hormigón producido por la empresa.
- Registrar las emisiones de CO₂ generadas por cada producto que es despachado al cliente.

1.4.3. Resultados esperados

Al completar el trabajo propuesto se esperan obtener los siguientes resultados:

- Medición de las emisiones de CO₂. La metodología de cálculo permitirá medir las emisiones de CO₂ generadas por las actividades de la empresa, proporcionando una visión clara del impacto ambiental de las actividades.
- Identificar las fuentes de emisiones significativas. Esta herramienta ayudará a identificar las principales fuentes de emisiones de CO₂ dentro de la empresa, como la producción de concreto, el transporte de materiales o el consumo de energía, lo que permitirá enfocar los esfuerzos de mitigación en las áreas de mayor interés.
- Análisis de oportunidades de reducción: La herramienta de cálculo proporcionará información clave para identificar oportunidades de reducción de emisiones.
- Generación de informes y seguimiento: La herramienta permitirá generar informes periódicos sobre las emisiones de CO₂ del hormigón producido por la empresa. Además de darle informes sobre los productos a los clientes. Estos informes servirán como base para la toma de decisiones estratégicas y la comunicación interna y externa sobre la gestión de emisiones.

1.5. Alcances

El presente trabajo de título se enfoca en una evaluación exhaustiva de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) asociadas con la producción de hormigón premezclado en todas sus etapas clave, siguiendo el alcance 3 de la metodología de evaluación de ciclo de vida. Este alcance se limita estrictamente a los parámetros de producción del hormigón premezclado, desde la obtención de materias primas hasta la entrega del producto en el sitio de construcción. Se excluyen las emisiones provenientes de actividades administrativas o de apoyo, como las relacionadas con el personal técnico, mantenimiento u otras áreas que no estén directamente involucradas en la producción física del hormigón. La metodología desarrollada proporcionará una herramienta precisa y versátil que permita cuantificar las emisiones de CO₂ en cada paso crítico del proceso, contribuyendo a una comprensión más profunda y detallada del impacto ambiental de la producción de hormigón premezclado.

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO

En este capítulo, se aborda de manera detallada la metodología y los conceptos clave relacionados con la huella de carbono en la industria del hormigón premezclado. Es crucial para entender los estándares internacionales y las normativas que rigen la cuantificación de las emisiones de CO₂, proporcionando un marco teórico integral que respalda la metodología de cálculo desarrollada en el trabajo de título.

2.1. Protocolo internacional huella de carbono

En un esfuerzo por abordar el cambio climático y promover la sostenibilidad ambiental, los países han adoptado diversas medidas y estándares para cuantificar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, incluido el dióxido de carbono (CO₂). Existen metodologías específicas a nivel internacional que permiten inventariar y cuantificar los GEI. Las primeras se centran en la operación de la organización, mientras que las segundas se centran en el análisis de productos o servicios e incluyen elementos de su ciclo de vida. Cuando el interés es conocer la huella de carbono generada por el hormigón, pensándose este como un producto parcial que se entrega a un cliente determinado, se deben utilizar las metodologías relacionadas con productos.

2.1.1. Norma ISO 14067 HUELLA DE CARBONO DE PRODUCTO

La norma ISO 14067 HUELLA DE CARBONO DE PRODUCTO es una norma internacional que define los principios, requisitos y directrices para la cuantificación de la huella de carbono de productos. El objetivo de este documento es cuantificar las emisiones de GEI asociadas con las etapas del ciclo de vida de un producto, comenzando con la extracción de recursos y el abastecimiento de materia prima y extendiéndose a través de las etapas de producción, uso y finalización de la vida del producto.[3]

La norma establece requisitos y directrices para la cuantificación y el informe de la huella de carbono de un producto (HCP), asegurando coherencia con las Normas Internacionales de Evaluación del Ciclo de Vida (ACV). Además, detalla los requisitos y directrices específicos para la cuantificación de una HCP parcial.

En el contexto de este trabajo de título, se centra en la HCP parcial, ya que la metodología aborda todos los procesos desde la extracción de recursos hasta la fabricación de precursores y la elaboración del producto final. Este enfoque abarca el ciclo completo del hormigón, desde

su producción hasta su llegada a la obra.

2.1.1.1. Principios norma ISO 14067 HUELLA DE CARBONO DE PRODUCTO

La Norma ISO 14067:2018 establece los principios, requisitos y directrices para la cuantificación de la huella de carbono de productos. Los principios de esta norma son los siguientes:

1. **Perspectiva del ciclo de vida:** La cuantificación de la huella de carbono de un producto debe abarcar todas las etapas del ciclo de vida del producto, desde la extracción de recursos hasta el final de su vida útil.
2. **Enfoque relativo y unidad funcional o unidad declarada:** La cuantificación de la huella de carbono de un producto debe basarse en una comparación relativa entre diferentes productos o escenarios. Además, se debe definir una unidad funcional o unidad declarada para facilitar la comparación.
3. **Enfoque iterativo:** La cuantificación de la huella de carbono de un producto debe ser un proceso iterativo que se actualice a medida que se obtienen nuevos datos y se realizan mejoras en la cuantificación.
4. **Prioridad del enfoque científico:** La cuantificación de la huella de carbono de un producto debe basarse en un enfoque científico que garantice la precisión y la integridad de los datos.
5. **Pertinencia:** La cuantificación de la huella de carbono de un producto debe ser pertinente para los objetivos de la organización y las necesidades de las partes interesadas.
6. **Integridad:** La cuantificación de la huella de carbono de un producto debe ser completa, precisa y representativa de todas las etapas del ciclo de vida del producto.
7. **Consistencia:** La cuantificación de la huella de carbono de un producto debe ser coherente en términos de metodología, datos y supuestos utilizados.
8. **Coherencia:** La cuantificación de la huella de carbono de un producto debe ser coherente con otras normas y prácticas internacionales relevantes.
9. **Exactitud:** La cuantificación de la huella de carbono de un producto debe ser precisa y estar respaldada por datos confiables y verificables.
10. **Transparencia:** La cuantificación de la huella de carbono de un producto debe ser transparente en términos de metodología, datos y supuestos utilizados.
11. **Evitar la doble contabilidad:** La cuantificación de la huella de carbono de un producto debe evitar la doble contabilidad de las emisiones y remociones de GEI en diferentes etapas del ciclo de vida del producto.

2.1.1.2. Metodología para la cuantificación de HCP parcial

A continuación, se detallan los pasos de esta metodología:

1. **Uso de HCP-RCP:** Se establecen los requisitos para el uso de la HCP-RCP (unidad de cuantificación de la huella de carbono de un producto y la reducción de la huella de carbono de un producto).

2. Definición de objetivo y alcance: Se describe cómo definir el objetivo y el alcance de la HCP.
3. Análisis del inventario del ciclo de vida para la HCP: Se establecen los requisitos para la recopilación de datos y el análisis del inventario del ciclo de vida (ICV) para la HCP.
4. Evaluación del impacto de la HCP o HCP parcial: Se establecen los requisitos para la evaluación del impacto de la HCP o la HCP parcial.
5. Interpretación de la HCP o HCP parcial: Se establecen los requisitos para la interpretación de la HCP o la HCP parcial.

En general, la metodología para la cuantificación de HCP es un proceso iterativo que implica la recopilación de datos, el análisis del ICV, la evaluación de impacto y la interpretación de los resultados. El objetivo es proporcionar una medición precisa y completa de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con un producto, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final.

2.1.2. Análisis de datos

La norma ISO 14067 HUELLA DE CARBONO DE PRODUCTO proporciona directrices para la cuantificación de la huella de carbono de productos (HCP) y aborda el proceso de recopilación y análisis de datos en varias secciones. A continuación, se presentan algunos aspectos clave relacionados con el proceso de recopilación y análisis de datos según la norma:

1. Requisitos de calidad de los datos: La norma establece requisitos de calidad de los datos que deben ser caracterizados y evaluados durante el estudio de la HCP. Esto incluye la evaluación de la precisión, la relevancia, la integridad, la coherencia y la transparencia de los datos utilizados en el análisis de la huella de carbono.
2. Gestión y conservación de datos: Se enfatiza la importancia de que las organizaciones que realizan un estudio de la HCP tengan un sistema para gestionar y conservar los datos, con el fin de mejorar continuamente la coherencia y calidad de los datos.
3. Referencia y calidad de los datos: La norma indica que para los datos significativos en el estudio de la HCP, se debe hacer referencia a los detalles del proceso de recopilación de datos, el momento en que se recopilaron y la información adicional sobre la calidad de los datos. Si los datos no cumplen con los requisitos de calidad, deben ser declarados como tales

2.1.3. Categorías de alcance de emisiones de CO₂

Los alcances 1, 2 y 3 son categorías utilizadas para clasificar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas con una organización o empresa. Estas categorías se utilizan comúnmente en la evaluación de la huella de carbono de una organización y se definen de la siguiente manera:

- Alcance 1: Las emisiones directas de GEI de una organización, que provienen de fuentes que están bajo su control directo. Esto incluye las emisiones de GEI de la combustión de combustibles fósiles en instalaciones propiedad de la organización, como calderas y vehículos.
- Alcance 2: Las emisiones indirectas de GEI asociadas con la generación de electricidad, calor o vapor que una organización consume. Estas emisiones son producidas por terceros, como compañías eléctricas, pero son atribuibles a la organización que las consume.

- Alcance 3: Las emisiones indirectas de GEI asociadas con las actividades de una organización, pero que no están bajo su control directo. Estas emisiones pueden incluir la producción y transporte de materias primas, la fabricación de productos comprados, el transporte de productos y residuos, y el uso y disposición final de los productos.

El alcance 3 es el más amplio y complejo de los tres alcances, ya que incluye una amplia gama de actividades que pueden ser difíciles de medir y controlar. Sin embargo, es importante tener en cuenta las emisiones de alcance 3 para obtener una imagen completa de la huella de carbono de una organización y para identificar oportunidades de mejora en toda la cadena de suministro.

En resumen, los alcances 1, 2 y 3 se utilizan para clasificar las emisiones de GEI asociadas con una organización y permiten evaluar su desempeño ambiental en términos de huella de carbono.

2.2. Términos y definiciones

1. **Huella de carbono de un producto parcial (HCP Parcial):** suma de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y remociones de GEI de uno o más procesos seleccionados de un sistema producto, expresadas como equivalentes de CO₂ y basadas en las etapas o procesos seleccionados dentro del ciclo de vida
2. **Gas de efecto invernadero (GEI):** componente gaseoso de la atmósfera, tanto natural como antropogénico, que absorbe y emite radiación a longitudes de onda específicas dentro del espectro de radiación infrarroja emitida por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes
3. **Dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq):** unidad para comparar la fuerza de radiación de un GEI con el dióxido de carbono
4. **Factor de emisión (FE):** una estimación válida del impacto medioambiental de diferentes materiales, productos, servicios y procesos.
5. **Proceso unitario:** elemento más pequeño considerado en el análisis del inventario del ciclo de vida para el cual se cuantifican datos de entrada y salida
6. **Unidad Funcional** cantidad de un producto para su uso como unidad de referencia en la cuantificación de una HCP parcial
7. **Ciclo de vida:** etapas consecutivas e interrelacionadas relacionadas con un producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta el tratamiento al final de la vida útil
8. **Análisis del ciclo de vida (ACV):** recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema producto a través de su ciclo de vida.
9. **Categoría de impacto:** clase que representa asuntos ambientales de interés a la cual se pueden asignar los resultados del análisis del inventario del ciclo de vida.

Capítulo 3

DESCRIPCIÓN DE LA INDUSTRIA

3.1. Industria hormigón

El hormigón es un componente fundamental de la construcción civil y la infraestructura en todo el mundo. Comprende la producción y distribución de hormigón, que es una mezcla de cemento, arena, grava o piedra triturada, y agua. Esta mezcla se utiliza en una variedad de aplicaciones de construcción, desde losas de pavimentación hasta estructuras de gran envergadura. Sus propiedades versátiles lo hacen adecuado para diversas condiciones y cargas de trabajo, lo que lo convierte en el material de construcción más utilizado en el mundo.

La producción de Hormigón se realiza en las plantas de concreto, tanto grandes instalaciones industriales como pequeñas plantas móviles, producen el hormigón premezclado mediante la combinación precisa de los ingredientes mencionados anteriormente. Esto se hace siguiendo estrictas proporciones y estándares de calidad para garantizar la resistencia y durabilidad del concreto. Una vez que se prepara el hormigón en la planta, se transporta a los sitios de construcción en camiones mezcladores llamados mixer. Estos camiones mantienen la mezcla en estado fresco durante el viaje y la entregan en el lugar exacto donde se necesite para su aplicación.

3.2. Industria del hormigón en Chile

Chile es un país con una industria de la construcción en constante crecimiento. La industria del hormigón en Chile desempeña un papel fundamental en la satisfacción de las necesidades de infraestructura y construcción en el país. A medida que el país ha experimentado un aumento en la inversión en infraestructura y construcción, la demanda de hormigón premezclado ha aumentado considerablemente en los últimos años.

Varias empresas destacan en el sector del hormigón en Chile. Algunas de las principales empresas productoras y proveedoras de hormigón premezclado en el país incluyen a Polpaico-BSA, Melón Hormigones, UNICON Chile, Cementos Bío Bío, Hormigones Transex . Estas empresas operan plantas de producción y flotas de transporte de hormigón en todo el país.

3.2.1. Importancia de la reducción de emisiones de CO2

La industria del hormigón es una de las fuentes significativas de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en el sector de la construcción y en la industria en general. Reducir estas emisiones es de vital importancia, ya que es esencial para que Chile cumpla con sus compromisos internacionales en materia de cambio climático.

Hasta la fecha, han sido escasas las iniciativas en la industria chilena que buscan realmente disminuir las emisiones de CO₂. Esto se debe a que la industria es tradicional y la idea de desarrollar medidas para mitigar las emisiones se ve lejana. Esto se explica, en parte, a que los procesos no están tan cuantificados ni estandarizados como deberían.

Es aquí donde cobra suma importancia la creación de una metodología que permita medir las emisiones de CO₂ de manera precisa. Esta metodología debe proporcionar a las empresas del sector la información necesaria para tomar decisiones informadas sobre la reducción de emisiones.

3.3. Unicon Chile

UNICON Chile es una empresa especializada en la producción de hormigón premezclado. Esta empresa se encarga de la producción y distribución del hormigón hasta obra. Es una de las empresas líderes en la producción y distribución de hormigón premezclado en el país. Su tamaño e influencia en el mercado hacen que sea un sujeto relevante para estudiar las emisiones de CO₂ en la industria del hormigón.

UNICON Chile tiene una amplia presencia en todo el país. En la actualidad Unicon Chile posee diez plantas a nivel nacional, ubicadas entre la IV y la XVI región.

Las plantas son las siguientes :

- PLANTA CHILLÁN
- PLANTA CON CON
- PLANTA LA SERENA
- PLANTA LO ESPEJO (SANTIAGO)
- PLANTA LOS ANDES
- PLANTA OCHAGAVÍA (SANTIAGO)
- PLANTA PANAMERICANA (SANTIAGO)
- PLANTA PUDAHUEL (SANTIAGO)
- PLANTA RANCAGUA
- PLANTA SAN FERNANDO



Figura 3.1: Planta UNICON, Fuente: UNICON Chile

3.3.1. Proceso de producción de hormigón (ciclo de vida)

El proceso de producción de hormigón comienza con la adquisición de materias primas, las cuales son proporcionadas por terceros proveedores y adquiridas por UNICON Chile. Estas materias primas incluyen cemento, áridos (grava, gravilla y arena) y aditivos. Cada uno de estos materiales se almacena en compartimentos separados o silos para preservar su pureza y calidad. En algunas ocasiones, se utiliza un cargador frontal que funciona con diésel para el transporte de materias primas dentro de la planta.

Las materias primas se detallan a continuación:

1. Cemento
2. Áridos (Grava, Gravilla, Arena)
3. Aditivos

Antes de mezclar los materiales, se dosifican y pesan cuidadosamente de acuerdo con la receta o fórmula de hormigón específica que se va a producir. Esto se realiza mediante sistemas de dosificación automática que controlan con precisión la cantidad de cada material necesario.

Existen dos tipos de plantas de producción de hormigón: plantas con mezcladoras centrales y plantas dosificadoras. En las plantas con mezcladoras centrales, los materiales dosificados se transportan desde sus respectivos compartimentos a una mezcladora central, que puede ser de tipo tambor. En cambio, en las plantas dosificadoras, el camión mixer es el encargado de mezclar los materiales durante el proceso de transporte.

Durante el proceso de mezclado, se añade la cantidad precisa de agua para lograr la consistencia deseada del hormigón. En algunos casos, se pueden incorporar aditivos químicos para mejorar propiedades específicas del hormigón, como la resistencia, la durabilidad o el tiempo de fraguado. También se pueden añadir aditivos físicos según los requerimientos del cliente.

La mezcla se agita continuamente en la mezcladora durante un período de tiempo específico para garantizar que todos los componentes se combinen adecuadamente. Una vez que se ha completado la mezcla, el hormigón se descarga de la mezcladora en camiones mixer para su transporte a la obra.

Los camiones mixer funcionan con diésel y su tarea principal es mantener el hormigón en movimiento para evitar la segregación antes de su uso. El ciclo de operación se da por concluido cuando el camión mixer regresa nuevamente a la planta.



Figura 3.2: Camión Mixer UNICON Chile, Fuente: UNICON Chile

3.3.2. Clasificación etapas ciclo de vida

El proceso de producción de hormigón descrito anteriormente emite gases de efecto invernadero, en particular CO₂, en diversas etapas. Estas etapas se representan en el siguiente esquema

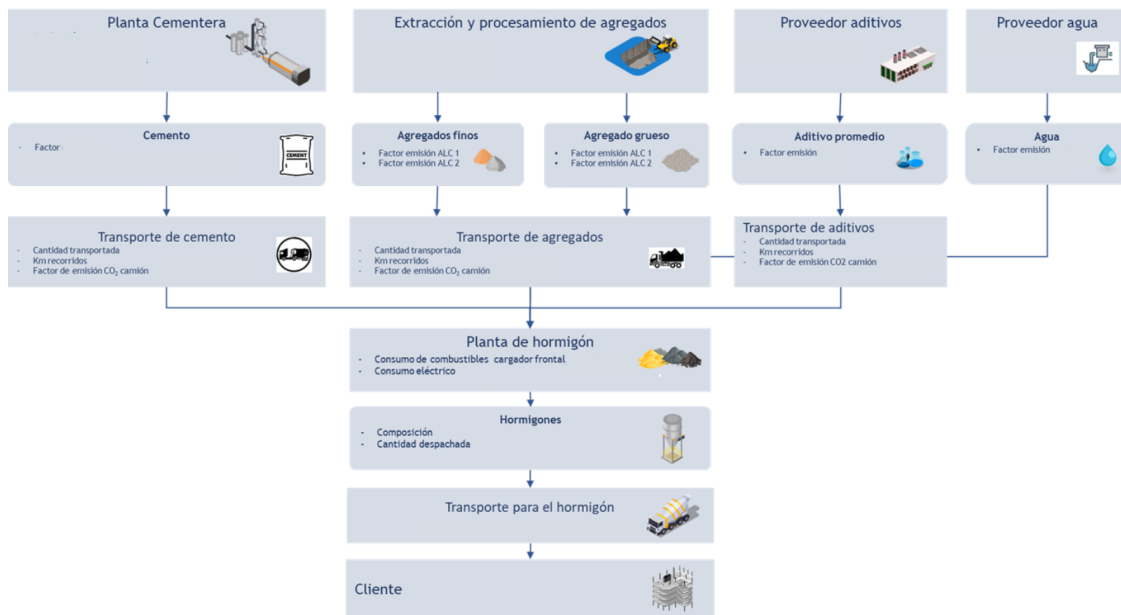


Figura 3.3: Esquema ciclo de vida hormigón, Fuente: Elaboración propia

A continuación, se explican en detalle las etapas y lo que abarca cada una:

- **MATERIAS PRIMAS:** Esta etapa aborda las emisiones de CO₂ liberadas durante todo el proceso de producción de las materias primas, desde su extracción o fabricación hasta que el producto está listo para ser despachado a la planta de mezclado.
- **TRANSPORTE MATERIAS PRIMAS:** En esta etapa, se considera el CO₂ emitido

durante el transporte de las materias primas desde su lugar de origen hasta la planta de producción. Específicamente, se refiere al CO₂ emitido por los camiones encargados de transportar las materias primas.

- CONSUMO PLANTA PREMEZCLADO :Esta etapa hace referencia a las emisiones de CO₂ generadas por el funcionamiento de la planta de mezclado durante la producción del hormigón. Aquí se incluyen las emisiones relacionadas con la energía utilizada en el proceso.
- TRANSPORTE HORMIGÓN: En esta etapa se considera el CO₂ emitido como resultado del transporte del hormigón desde la planta hasta el lugar de la obra a través de camiones mixer. Esto incluye las emisiones tanto en la entrega como en el regreso de estos camiones a la planta.

Capítulo 4

CASO DE ESTUDIO METODOLOGÍA PARA CALCULAR EMISIONES DE CO₂ DEL HORMIGÓN

4.1. Alcance y objetivo de metodología

Para este trabajo de titulación, se ha optado por utilizar la metodología de Inventario de Ciclo de Vida (ICV) de un producto, la cual fue detallada en el Capítulo 2, Marco Teórico. Esto se debe a que, dadas las características del alcance, es suficiente cuantificar las emisiones de CO₂ de los procesos del ciclo de vida del hormigón premezclado.

En cuanto al alcance de la huella de carbono del ciclo de vida del hormigón premezclado, se extiende desde la extracción de materias primas hasta la entrega en obra del hormigón premezclado.

Es crucial destacar que el cálculo de la huella de carbono del ciclo de vida del hormigón premezclado se llevó a cabo para las 10 plantas que posee UNICON Chile a lo largo del país. Cabe señalar que para cada planta existen numerosos datos que varían en todas las etapas del ICV. En este capítulo, se abordarán ejemplos concretos para una planta en particular. No obstante, en los capítulos subsiguientes, se explicará cómo se automatizó el proceso para que la calculadora pueda leer cualquier dato de cualquier planta.

Esta estructura proporciona una claridad adicional en cuanto al alcance y objetivo de la metodología utilizada, así como una transición fluida hacia la explicación detallada de los ejemplos específicos para una planta particular en las secciones siguientes.

4.2. Categoría de impacto

La única categoría de impacto incluida en el alcance de esta tesis es la de cambio climático. Esto se debe a que la norma ISO 14067 lo especifica así, con el objetivo de:

- evitar el cambio de carga de una etapa del ciclo de vida de un producto a otra o entre ciclos de vida del producto;
- proporcionar requisitos para la cuantificación de la HCP;

- facilitar el seguimiento del desempeño de la HCP en la reducción de las emisiones de GEI;
- proporcionar una mejor comprensión de la HCP de modo que se puedan identificar posibles oportunidades para aumentar la remoción de GEI y la reducción de las emisiones de GEI;
- ayudar a promover una economía sostenible baja en carbono;
- mejorar la credibilidad, la coherencia y la transparencia de la cuantificación y presentación de informes de la HCP;
- facilitar la evaluación de opciones alternativas de diseño y abastecimiento de productos, métodos de producción y fabricación, elección de materias primas, transporte, reciclado y otros procesos al final de la vida útil;
- facilitar el desarrollo y la implementación de estrategias y planes de gestión de GEI a lo largo del ciclo de vida del producto, así como la detección de eficiencias adicionales en la cadena de suministro;
- preparar información confiable de la HCP.

4.3. Unidad funcional

Para este caso de estudio, la unidad funcional que se ha elegido es el metro cúbico (m³) de hormigón. Esta unidad funcional es apropiada porque el hormigón se utiliza comúnmente en la construcción de estructuras y edificios, y el volumen de hormigón utilizado es una medida representativa de la función que cumple el producto.

Al utilizar la medida de m³ de hormigón como unidad funcional, se puede evaluar el desempeño ambiental del hormigón premezclado producido por Unicon Chile en términos de emisiones de CO₂ por metro cúbico de hormigón producido. Esto permite comparar el desempeño ambiental del hormigón premezclado con otras alternativas de construcción y identificar oportunidades de mejora en el sistema evaluado.

4.4. Etapas del ciclo de vida del producto

Las etapas del ciclo de vida del producto, detalladas en la sección 3.3.2, se describen a continuación con algunos detalles adicionales:

- **MATERIAS PRIMAS:** Los datos de factores de emisión en esta etapa se obtuvieron teóricamente, ya que UNICON no dispone de estos datos y los productores de materias primas aún no han cuantificado su huella de carbono. La única excepción es la industria del cemento, que ha intentado cuantificar su HCP. Por esta razón, los datos para los factores de emisión de esta etapa se basan en información de referencia.
- **TRANSPORTE MATERIAS PRIMAS:** Los datos de factores de emisión en esta etapa se obtienen de forma teórica. El único factor de emisión es el del camión a diesel que transporta las materias primas hasta la planta. No obstante, los datos de consumo son reales y se derivan de la distancia entre el proveedor de materias primas y cada planta.

- **CONSUMO PLANTA PREMEZCLADO** : Todos los datos en esta etapa son empíricos y se obtienen de la información proporcionada por UNICON. Se consideran los consumos de electricidad y diesel para el cargador frontal, ya que el consumo de agua, se asocia a otra etapa del ciclo de vida.
- **TRANSPORTE HORMIGÓN**: En esta etapa se considera el transporte desde la planta hasta la obra. Los factores de emisión se calculan teóricamente, pero los datos empíricos incluyen el tiempo de ciclo del despacho de hormigón y los consumos de diesel mixer.

4.5. Procesos unitarios del ciclo de vida del producto

4.5.1. Materias primas

4.5.1.1. Cemento

En este proceso unitario, se contabiliza la producción de CO₂ emitido en la fabricación de cemento, abordando alcances 1 y 2, como se describió en el marco teórico.

Unicon Chile utiliza exclusivamente un tipo de cemento suministrado por UNACEM Chile. Por lo tanto, el cálculo de la huella de carbono para este proceso unitario dependerá únicamente de la cantidad de cemento necesaria para la producción de hormigón. El factor de emisión será constante para todas las plantas, ya que proviene de la misma fuente, UNACEM Chile.

Este enfoque permite una simplificación del cálculo al tener un único proveedor de cemento y un factor de emisión constante para todas las plantas, simplificando la estimación de las emisiones de CO₂ asociadas a esta etapa del ciclo de vida del producto.

4.5.1.2. Áridos

Los áridos utilizados incluyen las categorías en los que se enmarcan cada proceso unitario:

- Gravilla 13 mm
- Gravilla 20 mm
- Grava 40 mm
- Arena
- Arena Fina

Es importante destacar que el cálculo de las emisiones de CO₂ en este proceso dependerá únicamente de la cantidad de cada tipo de árido necesario para la producción de hormigón. Aunque los proveedores de áridos son diferentes para cada planta de UNICON, se utiliza un factor de emisión referencial para el cálculo. Esta aproximación se debe a la falta de cuantificación de las emisiones de CO₂ por parte de los productores de áridos. Es por esta razón que el factor de emisión es constante para todos los proveedores de áridos en las plantas de UNICON, simplificando así el cálculo de las emisiones asociadas a esta etapa del ciclo de vida del producto.

4.5.1.3. Aditivos

Los aditivos utilizados incluyen las siguientes categorías en lo que se enmarcan los procesos unitarios:

- Cristalizante
- Impermeabilizante
- Aditivo Tipo F
- Aditivo Tipo D
- Aditivo Tipo B
- Adición
- Fibra Plástica
- Aditivo de otro tipo
- Fibra Metálica
- Pigmento

Similar al enfoque utilizado para los procesos unitarios de los áridos, las emisiones de CO₂ de los procesos unitarios de los aditivos dependerán únicamente de la cantidad de cada tipo de aditivo necesario para la producción de hormigón. Dado que no se dispone del factor de emisión exacto para cada aditivo, se emplea un factor referencial para cada categoría de aditivo. Este enfoque simplifica el cálculo de las emisiones asociadas a esta etapa del ciclo de vida del producto.

4.5.1.4. Agua

En el proceso unitario del agua, se abordan conjuntamente la producción y el transporte de esta a cada planta. Por lo tanto, se decide incluir ambos procesos en el apartado de materias primas, excluyendo el transporte de agua en la sección de transporte de materias primas que se detalla más adelante.

Es relevante destacar que las emisiones de CO₂ asociadas a este proceso unitario dependen únicamente de la cantidad de agua potable necesaria para la producción de hormigón. El factor de emisión de agua potable es referencial y constante para todas las plantas de UNICON, simplificando así el cálculo de las emisiones en esta etapa del ciclo de vida del producto.

4.5.2. Transporte Materias Primas

Los procesos unitarios de transporte de materias primas son los siguientes para cada categoría de productos

- Cemento
 - Transporte Cemento
- Áridos

- Transporte Gravilla 13 mm
- Transporte Gravilla 20 mm
- Transporte Grava 40 mm
- Transporte Arena
- Transporte Arena Fina

- Aditivos

- Transporte Cristalizante
- Transporte Impermeabilizante
- Transporte Aditivo Tipo F
- Transporte Aditivo Tipo D
- Transporte Aditivo Tipo B
- Transporte Adición
- Transporte Fibra Plástica
- Transporte Aditivo de otro tipo
- Transporte Fibra Metálica
- Transporte Pigmento

Las emisiones de CO₂ de estos procesos unitarios dependen de varios factores, como la cantidad de material necesario para cada hormigón, la distancia desde el proveedor hasta cada planta (considerando que el camión va lleno en la ida y vacío en la vuelta, por lo que se multiplica por 2 la distancia), la capacidad de carga de cada camión de transporte de materias primas, y finalmente, el factor de emisión asociado al camión.

4.5.3. Consumo planta premezclado

4.5.3.1. Consumo eléctrico

El consumo eléctrico se divide por cada planta de premezclado que posee UNICON. Las emisiones de CO₂ asociadas a este proceso dependen de la cantidad de energía consumida mensualmente por la planta, la cual se obtiene de la factura eléctrica mensual y el factor de emisión asociado. Este factor de emisión está disponible en la página del Servicio Nacional de Energía para cada mes del año.

Estas emisiones de CO₂ se asignan a la unidad funcional mediante el cociente entre las emisiones de CO₂ de consumo eléctrico por planta y la producción total de metros cúbicos por planta para cada mes.

4.5.3.2. Consumo cargador frontal

De manera similar al proceso anterior, la cantidad de diésel utilizada por el cargador frontal se obtiene de la factura de consumo correspondiente para cada mes. El factor de emisión asociado a este consumo es referencial y específico para motores a combustión y es el mismo para todas las plantas.

Las emisiones de CO₂ generadas por este proceso se asignan a la unidad funcional mediante el cociente entre las emisiones de CO₂ por consumo de diésel del cargador frontal mensual y la producción total de metros cúbicos por planta para cada mes. Este enfoque asegura una distribución proporcional de las emisiones asociadas al consumo de diésel del cargador frontal en relación con la producción de hormigón en cada planta de premezclado.

4.5.4. Transporte hormigón a obra

Este proceso unitario se refiere al transporte desde la planta de hormigón premezclado hasta el lugar de la obra.

Las emisiones de CO₂ asociadas a este proceso se derivan del consumo mensual de diésel para los camiones mixer, el tiempo total de ciclo mensual de los camiones mixer, la cantidad de metros cúbicos que transporta cada camión mixer y el factor de emisión del camión. Para asignar las emisiones de CO₂ de este proceso a la unidad funcional, se ha seleccionado una metodología de cálculo que será detallada más adelante.

4.6. Recopilación datos cualitativos y cuantitativos necesarios para cada proceso unitario (entrada y salida)

La recopilación de datos necesarios para las entradas y salidas de todos los procesos unitarios se describe en el Anexo A: Entradas y Salidas de Procesos Unitarios. A continuación, se proporcionan más detalles sobre las etapas del ciclo de vida del producto y se especifican los cálculos realizados para cada proceso unitario, detallando el procedimiento para convertir los datos de entrada en los datos de salida correspondientes.

4.6.1. Materias primas

El cálculo de emisiones de CO₂ por M³ de hormigón en los procesos de producción de materias primas se detalla a continuación, siendo esta regla válida para los procesos unitarios que entran en esta categoría es decir Anexo A sección A.1. Materia Primas.

4.6.1.1. Producción de cemento

Los datos de entrada y salida de este proceso se encuentran detallados en la Tabla A.1. Luego para obtener la contribución de emisiones de CO₂ correspondientes a la producción de cemento para 1 m³ de hormigón se utiliza la siguiente ecuación.

$$\frac{Q_{Cemento} \cdot (FE_{Cem1} + FE_{Cem2})}{1000} = CO2_{P\ Cemento} \quad (4.1)$$

donde:

$Q_{Cemento}$: Cantidad de cemento utilizada para un m³ de hormigón [$Kg/m^3\ hormigon$]

FE_{Cem1} : Factor de emisión producción de cemento alcance 1 [$Kg\ CO2\ eq/Ton$]

FE_{Cem2} : Factor de emisión producción de cemento alcance 2 [$Kg\ CO2\ eq/Ton$]

$CO2_{P\ Cemento}$: Emisión de CO₂ equivalente por m³ de hormigón aportado por producción de cemento [$Kg\ CO2\ eq/m^3\ hormigon$]

4.6.1.2. Producción de agua

Los datos de entrada y salida de este proceso se encuentran detallados en la Tabla A.2. Luego para obtener la contribución de emisiones CO₂ de producción y transporte de agua para 1 m³ de hormigón se utiliza la siguiente ecuación.

$$\frac{Q_{Agua} \cdot FE_{Agua}}{1000} = CO2_{P\ Agua} \quad (4.2)$$

donde:

$Q_{Cemento}$: Cantidad de agua utilizada para un m³ de hormigón [$Kg/m^3\ hormigon$]

FE_{Cem2} : Factor de emisión producción y transporte de agua hasta plantas de UNICON [$Kg\ CO2\ eq/m^3$]

$CO2_{P\ Cemento}$: Emisión de CO₂ equivalente por m³ de hormigón aportado por producción y transporte de agua [$Kg\ CO2\ eq/m^3\ hormigon$]

4.6.1.3. Producción de áridos

Los datos de entrada y salida de este proceso se encuentran detallados en la Tabla A.3. Luego para obtener la contribución de emisiones CO₂ de producción de cada uno de los diferentes áridos usados para 1 m³ de hormigón se utiliza la siguiente ecuación.

Destacar que se toma como ejemplo la producción de Gravilla 13 mm, pero la metodología para las ecuaciones es la misma para la lista completa de áridos.

- Producción Gravilla 13 mm
- Producción Gravilla 20 mm
- Producción Grava 40 mm
- Producción Arena
- Producción Arena Fina

$$\frac{Q_{Grav13mm} \cdot (FE_{Grav13mm1} + FE_{Grav13mm2})}{1000} = CO2_{P\ Grav13mm} \quad (4.3)$$

donde:

$Q_{Grav13mm}$: Cantidad de gravilla 13 mm utilizada para un m³ de hormigón [$Kg/m^3\ hormigon$]

$FE_{Grav13mm1}$: Factor de emisión producción de gravilla 13 mm alcance 1 [$Kg\ CO2\ eq/Ton$]

$FE_{Grav13mm2}$: Factor de emisión producción de gravilla 13 mm alcance 2 [$Kg\ CO2\ eq/Ton$]

$CO2_{P\ Grav13mm}$: Emisión de CO₂ equivalente por m³ de hormigón aportado por producción de gravilla 13 mm [$Kg\ CO2\ eq/m^3\ hormigon$]

4.6.1.4. Producción de aditivos

Los datos de entrada y salida de este proceso se encuentran detallados en la Tabla A.4. y A.5. Luego para obtener la contribución de emisiones CO₂ de producción de cada uno de los diferentes aditivos usados para 1 m³ de hormigón se utiliza la siguiente ecuación.

Destacar que se toma como ejemplo la producción de Cristalizante, pero la metodología para las ecuaciones es la misma para la lista completa de aditivos.

- Producción Cristalizante
- Producción Impermeabilizante

- Producción Aditivo Tipo F
- Producción Aditivo Tipo D
- Producción Aditivo Tipo B
- Producción Adición
- Producción Fibra Plástica
- Producción Aditivo de otro tipo
- Producción Fibra Metálica
- Producción Pigmento

$$\frac{Q_{Cristalizante} \cdot FE_{Cristalizante}}{1000} = CO2_{P\text{ Cristalizante}} \quad (4.4)$$

donde:

$Q_{Cristalizante}$: Cantidad de cristalizante utilizada para un m3 de hormigón [$Kg/m^3\text{hormigon}$]

$FE_{Cristalizante}$: Factor de emisión producción de cristalizante [$Kg\ CO2\ eq/Ton$]

$CO2_{P\text{ Cristalizante}}$: Emisión de CO2 equivalente por m3 de hormigón aportado por producción de cristalizante [$Kg\ CO2\ eq/m^3\ hormigon$]

4.6.2. Transporte materias primas

El calculo de emisiones de CO2 por M3 de hormigón en los procesos de transporte de materias primas se detalla a continuación, siendo esta regla valida para los procesos unitarios que entran en esta categoría es decir Anexo A sección A.2. Transporte Materia Primas.

4.6.2.1. Transporte de cemento

Los datos de entrada y salida de este proceso se encuentran detallados en la Tabla A.6. Luego para obtener la contribución de emisiones de CO2 correspondientes al transporte de cemento para 1 m3 de hormigón se utiliza la siguiente ecuación.

$$\frac{Q_{Cemento} \cdot FE_{Camion\ Cem} \cdot 2 \cdot Dist_{Cemento} \cdot FC_{Camion}}{CC_{Camion\ Cem}} = CO2_{Trans\ Cemento} \quad (4.5)$$

donde:

$Q_{Cemento}$: Cantidad de cemento utilizada para un m3 de hormigón [$Kg/m^3\text{hormigon}$]

FE_{Camion} : Factor de emisión camión diesel donde es transportado el cemento [$KgCO2eq/L$]

$Dist_{Cemento}$: Distancia entre proveedor de cemento hasta planta de premezclado [Km]

FC_{Camion} : Factor de consumo camión diesel donde es transportado el cemento [L/Km]

$CC_{Camion\ Cem}$: Capacidad de carga camión diesel donde es transportado el cemento [Kg]

$CO2_{Trans\ Cemento}$: Emisión de CO2 equivalente por m3 de hormigón aportado por transporte de cemento [$Kg\ CO2\ eq/m^3\ hormigon$]

4.6.2.2. Transporte de áridos

Los datos de entrada y salida de este proceso se encuentran detallados en la Tabla A.7. Luego para obtener la contribución de emisiones de CO₂ correspondientes al transporte de áridos para 1 m³ de hormigón se utiliza la siguiente ecuación.

Destacar que se toma como ejemplo el transporte de Gravilla 13 mm, pero la metodología para las ecuaciones es la misma para la lista completa de áridos.

- Producción Gravilla 13 mm
- Producción Gravilla 20 mm
- Producción Grava 40 mm
- Producción Arena
- Producción Arena Fina

$$\frac{Q_{Grav13mm} \cdot FE_{Camion} \cdot 2 \cdot Dist_{Grav13mm} \cdot FC_{Camion Grav13mm}}{CC_{Camion Grav13mm}} = CO2_{Trans Grav13mm} \quad (4.6)$$

donde:

$Q_{Grav13mm}$: Cantidad de gravilla 13mm utilizada para un m³ de hormigón [Kg/m^3 hormigon]

FE_{Camion} : Factor de emisión camión diesel donde es transportada la gravilla 13 mm [$Kg CO_2 eq/L$]

$Dist_{Grav13mm}$: Distancia entre proveedor de gravilla 13 mm hasta planta de premezclado [Km]

FC_{Camion} : Factor de consumo camión diesel donde es transportado el cemento [L/Km]

$CC_{Camion Grav13mm}$: Capacidad de carga camión diesel donde es transportada la gravilla 13 mm [Kg]

$CO2_{Trans Grav13mm}$: Emisión de CO₂ equivalente por m³ de hormigón aportado por transporte de gravilla 13 mm [$Kg CO_2 eq/m^3$ hormigon]

4.6.2.3. Transporte de aditivos

Los datos de entrada y salida de este proceso se encuentran detallados en la Tabla A.8. y A.9. Luego para obtener la contribución de emisiones de CO₂ correspondientes al transporte de áridos para 1 m³ de hormigón se utiliza la siguiente ecuación.

Destacar que se toma como ejemplo el transporte de Cristalizante, pero la metodología para las ecuaciones es la misma para la lista completa de aditivos.

- Producción Cristalizante
- Producción Impermeabilizante
- Producción Aditivo Tipo F
- Producción Aditivo Tipo D
- Producción Aditivo Tipo B

- Producción Adición
- Producción Fibra Plástica
- Producción Aditivo de otro tipo
- Producción Fibra Metálica
- Producción Pigmento

$$\frac{Q_{Crist} \cdot FE_{Camion\ Crist} \cdot 2 \cdot Dist_{Crist} \cdot FC_{Camion}}{CC_{Camion\ Crist}} = CO2_{Trans\ Crist} \quad (4.7)$$

donde:

- Q_{Crist} : Cantidad de cristalizante utilizada para un m3 de hormigón [$Kg/m^3\ hormigon$]
 FE_{Camion} : Factor de emisión camión diesel donde es transportado el cristalizante [$KgCO2eq/L$]
 $Dist_{Crist}$: Distancia entre proveedor de cristalizante hasta planta de premezclado [Km]
 FC_{Camion} : Factor de consumo camión diesel donde es transportado el cristalizante [L/Km]
 $CC_{Camion\ Crist}$: Capacidad de carga camión diesel donde es transportado el cristalizante [Kg]
 $CO2_{Trans\ Crist}$: Emisión de CO2 equivalente por m3 de hormigón aportado por transporte de cristalizante [$Kg\ CO2\ eq/m^3\ hormigon$]

4.6.3. Consumo planta premezclado

El calculo de emisiones de CO2 por M3 de hormigón en los procesos de consumos de planta de premezclado se detalla a continuación, siendo esta regla valida para los procesos unitarios que entran en esta categoría es decir Anexo A sección A.3. Consumos.

4.6.3.1. Consumo eléctrico

Los datos de entrada y salida de este proceso se encuentran detallados en la Tabla A.10. Luego para obtener la contribución de emisiones de CO2 correspondientes al consumo eléctrico para 1 m3 de hormigón se utiliza la siguiente ecuación.

$$\frac{C_{Electrico\ Mes} \cdot FE_{Electricidad}}{1000 \cdot Q_{Hormigon\ Mes}} = CO2_{C\ Electrico} \quad (4.8)$$

donde:

- $C_{Electrico\ Mes}$: Consumo eléctrico por mes de planta premezclado [KWh]
 $FE_{Electricidad}$: Factor de emisión eléctrico [$Kg\ CO2\ eq/MWh$]
 $Q_{Hormigon\ Mes}$: Cantidad de hormigón producido por la planta en el mes [$m^3\ hormigon$]
 $CO2_{C\ Electrico}$: Emisión de CO2 equivalente por m3 de hormigón aportado por consumo eléctrico [$Kg\ CO2\ eq/m^3\ hormigon$]

4.6.3.2. Consumo cargador frontal

Los datos de entrada y salida de este proceso se encuentran detallados en la Tabla A.11. Luego para obtener la contribución de emisiones de CO2 correspondientes al consumo del cargador frontal para 1 m3 de hormigón se utiliza la siguiente ecuación.

$$\frac{C_{Frontal\ Mes} \cdot FE_{Frontal}}{Q_{Hormigon\ Mes}} = CO2_{C\ Frontal} \quad (4.9)$$

donde:

$C_{Frontal\ Mes}$: Consumo diesel cargador frontal por mes de planta premezclado [L]

$FE_{Frontal}$: Factor de emisión cargador frontal [Kg CO2 eq/L]

$Q_{Hormigon\ Mes}$: Cantidad de hormigón producido por la planta en el mes [$m^3\ hormigon$]

$CO2_{C\ Frontal}$: Emisión de CO2 equivalente por m3 de hormigón aportado por consumo del cargador frontal [Kg CO2 eq/ $m^3\ hormigon$]

4.6.4. Transporte hormigón a obra

El calculo de emisiones de CO2 por M3 de hormigón en el proceso de transporte de hormigón desde la planta hasta la obra se detalla a continuación, siendo esta regla valida para el procesos unitarios que entran en esta categoría es decir Anexo A sección A.4. Transporte Hormigón a Obra.

4.6.4.1. Transporte mixer

Los datos de entrada y salida de este proceso se encuentran detallados en la Tabla A.12. Luego para obtener la contribución de emisiones de CO2 correspondientes al transporte de hormigón desde la planta a la obra para 1 m3 de hormigón se utiliza la siguiente ecuación.

$$\frac{C_{Mixer\ Mes} \cdot FE_{Mixer} \cdot TC_{Mixer}}{TC_{Mixer\ Mes} \cdot Q_{Hormigon\ Mixer}} = CO2_{Trans\ Mixer} \quad (4.10)$$

donde:

$C_{Mixer\ Mes}$: Consumo diesel mixer totales de planta por mes[L]

FE_{Mixer} : Factor de emisión camión mixer [Kg CO2 eq/L]

TC_{Mixer} : Tiempo de ciclo despacho de hormigón a obra camión mixer [Min]

$TC_{Mixer\ Mes}$: Tiempo de ciclo mixer totales de planta por mes [Min]

$Q_{Hormigon\ Mixer}$: Cantidad de hormigón transportado por el camión mixer en despacho de hormigón a obra [$m^3\ hormigon$]

$CO2_{Trans\ Mixer}$: Emisión de CO2 equivalente por m3 de hormigón aportado por transporte de hormigón desde planta hasta la obra [Kg CO2 eq/ $m^3\ hormigon$]

4.6.5. Expresión de calculo de CO2 equivalente para 1 M3 de hormigón

Como ya sabemos, la unidad funcional de este informe es el metro cúbico. Esta unidad funcional nos permite comparar los distintos tipos de hormigón ofrecidos por las distintas industrias, ya que es una medida estándar que se emplea para vender cantidad al cliente.

Dicho esto, el CO₂ equivalente para obtener un metro cúbico se calcula utilizando la

siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 CO2_{eq} = & CO2_{Produccion\ materias\ primas} \\
 & + CO2_{Transporte\ materias\ primas} \\
 & + CO2_{Consumo\ planta} \\
 & + CO2_{Trans\ Mixer}
 \end{aligned}
 \tag{4.11}$$

La cual se puede detallar mas en esta ecuacion presentada a continuación

$$\begin{aligned}
 CO2_{eq} = & CO2_{P\ Cemento} + CO2_{P\ Agua} + CO2_{P\ Aridos} + CO2_{P\ Aditivos} \\
 & + CO2_{Trans\ Cemento} + CO2_{Trans\ Aridos} + CO2_{Trans\ Aditivos} \\
 & + CO2_{C\ Electrico} + CO2_{C\ Frontal} \\
 & + CO2_{Trans\ Mixer}
 \end{aligned}$$

4.6.6. Factores de emisión utilizados en el cálculo de huella de carbono

La precisión y confiabilidad de los cálculos de la huella de carbono del hormigón premezclado dependen en gran medida de los factores de emisión empleados. Estos factores determinan las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con cada proceso unitario y etapa del ciclo de vida del producto. A continuación, se detallan los factores de emisión utilizados en este estudio, indicando su origen y si son de naturaleza empírica o bibliográfica.

4.6.6.1. Factores de emisión producción de cemento (alcance 1 y 2)

Los factores de emisión de la producción de cemento para alcance 1 y 2 se obtienen empíricamente. Estos son proporcionados por una reconocida cementera que realizó un ejercicio de medir la huella de carbono generada por la producción de cemento. A continuación, se presentan los valores para estos factores.

Tabla 4.1: Factores de Emisión Producción de Cemento

Factor de Emisión	Abreviatura	Unidad	Cantidad
F.E. Producción de Cemento alcance 1	FE_Cem1	Kg CO2 eq/Ton cemento	705
F.E. Producción de Cemento alcance 2	FE_Cem1	Kg CO2 eq/Ton cemento	18

4.6.6.2. Factores de emisión producción de agua

El factor de emisión del agua se obtiene teóricamente, considerando las emisiones de CO2 equivalente producidas desde su producción hasta las plantas de hormigón premezclado.

Tabla 4.2: Factores de Emisión Producción de Agua

Factor de Emisión	Abreviatura	Unidad	Cantidad
Factor de Emisión para la Producción de Agua	FE_Agua	Kg CO2 eq/m3	0,03

4.6.6.3. Factores de emisión producción de áridos (gravilla 13 mm, gravilla 20 mm, grava 40 mm, arena, arena fina)

Estos factores de emisión para la producción de áridos se obtienen teóricamente de la base de datos que envía GCCA (Global Cement and Concrete Association) a sus asociados y son los siguientes.

Tabla 4.3: Factores de Emisión Producción de Áridos

Factor de Emisión	Abreviatura	Unidad	Cantidad
Factor de Emisión para la Producción de Gravilla 13 mm (Alcance 1)	FE_Grav13mn1	Kg CO2 eq/Ton	1,31
Factor de Emisión para la Producción de Gravilla 13 mm (Alcance 2)	FE_Grav13mn2	Kg CO2 eq/Ton	1,27
Factor de Emisión para la Producción de Gravilla 20 mm (Alcance 1)	FE_Grav20mn1	Kg CO2 eq/Ton	1,31
Factor de Emisión para la Producción de Gravilla 20 mm (Alcance 2)	FE_Grav20mn2	Kg CO2 eq/Ton	1,27
Factor de Emisión para la Producción de Grava 40 mm (Alcance 1)	FE_Grav40mn1	Kg CO2 eq/Ton	1,31
Factor de Emisión para la Producción de Grava 40 mm (Alcance 2)	FE_Grav40mn2	Kg CO2 eq/Ton	1,27
Factor de Emisión para la Producción de Arena Fina (Alcance 1)	FE_ArenaFina1	Kg CO2 eq/Ton	0,84
Factor de Emisión para la Producción de Arena Fina (Alcance 2)	FE_ArenaFina2	Kg CO2 eq/Ton	0,99
Factor de Emisión para la Producción de Arena (Alcance 1)	FE_Arena1	Kg CO2 eq/Ton	0,84
Factor de Emisión para la Producción de Arena (Alcance 2)	FE_Arena2	Kg CO2 eq/Ton	0,99

4.6.6.4. Factores de emisión producción de aditivos (Cristalizante, Impermeabilizante, Aditivo Tipo F, Aditivo Tipo D, Aditivo Tipo B, Adición, Fibra Plástica, Aditivo Otro Tipo, Fibra Metálica, Pigmento)

Estos factores de emisión para la producción de aditivos se obtienen teóricamente y son referenciales para el cálculo.

Tabla 4.4: Factores de Emisión Producción de Aditivos

Factor de Emisión	Abreviatura	Unidad	Cantidad
Factor de Emisión para la Producción de Cristalizante	FE_Cristalizante	Kg CO2 eq/Ton	720
Factor de Emisión para la Producción de Impermeabilizante	FE_Impermeabilizante	Kg CO2 eq/Ton	720
Factor de Emisión para la Producción de Aditivo Tipo F	FE_AditivoTipoF	Kg CO2 eq/Ton	720
Factor de Emisión para la Producción de Aditivo Tipo D	FE_AditivoTipoD	Kg CO2 eq/Ton	720
Factor de Emisión para la Producción de Aditivo Tipo B	FE_AditivoTipoB	Kg CO2 eq/Ton	720
Factor de Emisión para la Producción de Adición	FE_Adición	Kg CO2 eq/Ton	720
Factor de Emisión para la Producción de Fibra Plástica	FE_FibraPlástica	Kg CO2 eq/Ton	720
Factor de Emisión para la Producción de Aditivo Otro Tipo	FE_AditivoOtro Tipo	Kg CO2 eq/Ton	720
Factor de Emisión para la Producción de Fibra Metálica	FE_FibraMetálica	Kg CO2 eq/Ton	720
Factor de Emisión para la Producción de Pigmento	FE_Pigmento	Kg CO2 eq/Ton	720

4.6.6.5. Factores de emisión eléctrico

Este factor se obtiene de la página del gobierno energíaabierta.cl, en la cual podemos acceder al registro mensual del factor de emisión eléctrico para el sistema nacional.

En la siguiente figura se muestra, a modo de ejemplo, el año 2022 y cómo varía el factor dependiendo del mes.

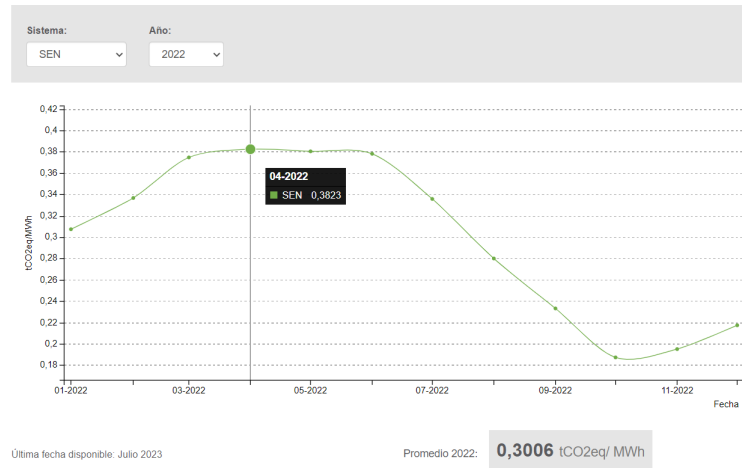


Figura 4.1: Factor de emisión sistema eléctrico nacional año 2022

4.6.6.6. Factores de emisión camión transporte de materias primas (cemento, áridos, aditivos)

Este factor de emisión se traduce en uno solo y es el factor de emisión del camión diésel encargado del transporte de las materias primas hasta cada planta de UNICON.

Este factor se obtiene de forma teórica y representa el promedio de kg de CO₂ equivalente por litro de combustible que emite un camión a diésel.

Tabla 4.5: Factores de Emisión Camión

Factor de Emisión	Abreviatura	Unidad	Cantidad
Factor de Emisión Camión Diesel	FE_Camion	Kg CO ₂ eq/L	2,6

4.6.6.7. Factores de emisión camión mixer y cargador frontal

Por último, tenemos estos factores de emisión para el camión mixer que despacha el hormigón desde la planta hasta la obra y el cargador frontal, que ayuda en la carga y ordenamiento de las materias primas en las plantas de UNICON. Estos factores se obtienen de forma teórica.

A continuación, se presentan sus factores de emisión.

Tabla 4.6: Factores de Emisión Mixer y Cargador Frontal

Factor de Emisión	Abreviatura	Unidad	Cantidad
Factor de Emisión Camión Mixer	FE_Mixer	Kg CO ₂ eq/L	2,6
Factor de Emisión Cargador Frontal	FE_Frontal	Kg CO ₂ eq/L	2,6

Estos factores de emisión son fundamentales para la robustez y validez de los resultados obtenidos en el cálculo de la huella de carbono del hormigón premezclado. Es importante destacar que, en ausencia de datos específicos, se optó por factores referenciales y empíricos para garantizar una aproximación realista en la evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a cada etapa del ciclo de vida del producto.

Capítulo 5

DESARROLLO DE CALCULADORA DE EMISIONES DE CO₂

Con las definiciones señaladas en capítulos anteriores, donde se detallan las etapas del ciclo de vida del producto, los procesos unitarios que componen cada etapa y el procedimiento para manejar los datos de entrada y obtener los datos de salida de cada proceso, en este capítulo se explicará en detalle el desarrollo de la calculadora de emisiones de CO₂. También se proporcionará un ejemplo práctico para ilustrar su funcionamiento

5.1. Explicación desarrollo calculadora

Para asegurar un desarrollo efectivo y un rendimiento óptimo de la herramienta, se optó por diseñar la calculadora utilizando Power BI. Esta elección permite que los usuarios de UNICON revisen de manera interactiva las emisiones de CO₂ asociadas al hormigón que comercializan. La herramienta se presenta a través de dashboards interactivos que brindan una visualización clara y accesible de los datos.

La calculadora ofrece opciones de filtrado que permiten a los usuarios examinar las emisiones de CO₂ según totales acumulados para uno o varios meses. Además, se pueden aplicar filtros específicos para analizar las emisiones según las plantas de UNICON, la resistencia del hormigón y el tipo de familia. Es importante destacar que, como se detalló en capítulos anteriores, la unidad funcional básica de esta calculadora es 1 m³ de hormigón. Asimismo, la herramienta realiza el cálculo por guía de despacho, es decir, proporciona el cálculo para cada despacho de hormigón de UNICON.

Esta implementación en Power BI no solo facilita la accesibilidad a la información sino que también mejora la usabilidad y la capacidad de análisis de las emisiones de CO₂, ofreciendo a UNICON una herramienta integral y efectiva para la gestión de su huella de carbono en el ciclo de vida del hormigón premezclado.

Para alimentar estos dashboards, se crearon carpetas que contienen planillas de Excel donde se cargan los datos correspondientes a cada planta y mes. Estas carpetas están conectadas automáticamente con Power BI. Por lo tanto, agregar información a estas carpetas es un proceso sencillo y, con un solo clic en los dashboards de Power BI, la información se actualiza de manera rápida y eficiente.

5.2. Carpetas input

Las carpetas que suministran información a Power BI se dividen en 5, detalladas a continuación (Figura 5.1).

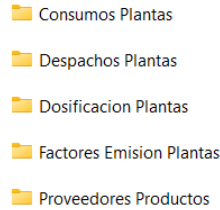


Figura 5.1: Carpetas Inputa Calculadora CO2

5.2.1. Carpeta consumos plantas

Al hacer clic en esta carpeta, se accede a una hoja de cálculo de Excel que registra los consumos de todas las plantas (Figura 5.2). Es la única carpeta que contiene solo una hoja, ya que, al tratarse de consumos por planta (eléctrico, diésel de cargadores frontales y diésel de camiones mixer), esta información se puede organizar en una sola hoja.

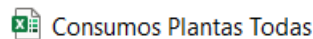


Figura 5.2: Planilla dentro de carpeta consumos plantas

Dentro de la planilla (figura 5.3.), puedes ingresar los datos del consumo de cada planta para cada mes del año que se desee visualizar en los dashboards.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Tipo	Nombre	Planta	Parámetro	Unidad	ene-21	feb-21	mar-21	abr-21	may-21
2	Producto	ELECTRICIDAD	OCHAGAVIA	CONSUMO ELECTRICIDAD PLANTA MES	KWH mes	52.689	40.283	26.574	30.891	34.274
3	Producto	DIESEL CARGADOR	OCHAGAVIA	CONSUMO DIESEL CARGADOR PLANTA MES	Lts mes	5530	5530	5530	5530	5530
4	Producto	DIESEL MIXER	OCHAGAVIA	CONSUMO DIESEL MIXER PLANTA MES	Lts mes	35720	27360	24320	39520	31160
5	Producto	ELECTRICIDAD	CON CON	CONSUMO ELECTRICIDAD PLANTA MES	KWH mes	52.689	40.283	26.574	30.891	34.274
6	Producto	DIESEL CARGADOR	CON CON	CONSUMO DIESEL CARGADOR PLANTA MES	Lts mes	5530	5530	5530	5530	5530
7	Producto	DIESEL MIXER	CON CON	CONSUMO DIESEL MIXER PLANTA MES	Lts mes	35720	27360	24320	39520	31160
8	Producto	ELECTRICIDAD	CHILLÁN	CONSUMO ELECTRICIDAD PLANTA MES	KWH mes	52.689	40.283	26.574	30.891	34.274
9	Producto	DIESEL CARGADOR	CHILLÁN	CONSUMO DIESEL CARGADOR PLANTA MES	Lts mes	5530	5530	5530	5530	5530
10	Producto	DIESEL MIXER	CHILLÁN	CONSUMO DIESEL MIXER PLANTA MES	Lts mes	35720	27360	24320	39520	31160
11	Producto	ELECTRICIDAD	LOS ANDES	CONSUMO ELECTRICIDAD PLANTA MES	KWH mes	52.689	40.283	26.574	30.891	34.274
12	Producto	DIESEL CARGADOR	LOS ANDES	CONSUMO DIESEL CARGADOR PLANTA MES	Lts mes	5530	5530	5530	5530	5530
13	Producto	DIESEL MIXER	LOS ANDES	CONSUMO DIESEL MIXER PLANTA MES	Lts mes	35720	27360	24320	39520	31160
14	Producto	ELECTRICIDAD	LO ESPEJO	CONSUMO ELECTRICIDAD PLANTA MES	KWH mes	52.689	40.283	26.574	30.891	34.274
15	Producto	DIESEL CARGADOR	LO ESPEJO	CONSUMO DIESEL CARGADOR PLANTA MES	Lts mes	5530	5530	5530	5530	5530
16	Producto	DIESEL MIXER	LO ESPEJO	CONSUMO DIESEL MIXER PLANTA MES	Lts mes	35720	27360	24320	39520	31160
17	Producto	ELECTRICIDAD	LA SERENA	CONSUMO ELECTRICIDAD PLANTA MES	KWH mes	52.689	40.283	26.574	30.891	34.274
18	Producto	DIESEL CARGADOR	LA SERENA	CONSUMO DIESEL CARGADOR PLANTA MES	Lts mes	5530	5530	5530	5530	5530
19	Producto	DIESEL MIXER	LA SERENA	CONSUMO DIESEL MIXER PLANTA MES	Lts mes	35720	27360	24320	39520	31160
20	Producto	ELECTRICIDAD	PUDAHUEL	CONSUMO ELECTRICIDAD PLANTA MES	KWH mes	52.689	40.283	26.574	30.891	34.274
21	Producto	DIESEL CARGADOR	PUDAHUEL	CONSUMO DIESEL CARGADOR PLANTA MES	Lts mes	5530	5530	5530	5530	5530
22	Producto	DIESEL MIXER	PUDAHUEL	CONSUMO DIESEL MIXER PLANTA MES	Lts mes	35720	27360	24320	39520	31160
23	Producto	ELECTRICIDAD	PANAMERICANA	CONSUMO ELECTRICIDAD PLANTA MES	KWH mes	52.689	40.283	26.574	30.891	34.274
24	Producto	DIESEL CARGADOR	PANAMERICANA	CONSUMO DIESEL CARGADOR PLANTA MES	Lts mes	5530	5530	5530	5530	5530
25	Producto	DIESEL MIXER	PANAMERICANA	CONSUMO DIESEL MIXER PLANTA MES	Lts mes	35720	27360	24320	39520	31160
26	Producto	ELECTRICIDAD	RANCAGUA	CONSUMO ELECTRICIDAD PLANTA MES	KWH mes	52.689	40.283	26.574	30.891	34.274
27	Producto	DIESEL CARGADOR	RANCAGUA	CONSUMO DIESEL CARGADOR PLANTA MES	Lts mes	5530	5530	5530	5530	5530
28	Producto	DIESEL MIXER	RANCAGUA	CONSUMO DIESEL MIXER PLANTA MES	Lts mes	35720	27360	24320	39520	31160
29	Producto	ELECTRICIDAD	SAN FERNANDO	CONSUMO ELECTRICIDAD PLANTA MES	KWH mes	52.689	40.283	26.574	30.891	34.274
30	Producto	DIESEL CARGADOR	SAN FERNANDO	CONSUMO DIESEL CARGADOR PLANTA MES	Lts mes	5530	5530	5530	5530	5530
31	Producto	DIESEL MIXER	SAN FERNANDO	CONSUMO DIESEL MIXER PLANTA MES	Lts mes	35720	27360	24320	39520	31160

Figura 5.3: Planilla consumos por planta

5.2.2. Carpeta despachos plantas

Dentro de esta carpeta, se encontraran hojas de cálculo de Excel (Figura 5.4) que contienen la información detallada de los despachos realizados por UNICON cada mes. Estas planillas se descargan directamente del sistema y registran los despachos de todas las plantas de UNICON durante un periodo específico, que en este caso se define como mensual. La funcionalidad clave de esta carpeta es que permite agregar la información de los despachos totales de forma mensual, manteniendo un registro actualizado para el análisis de emisiones de CO2.

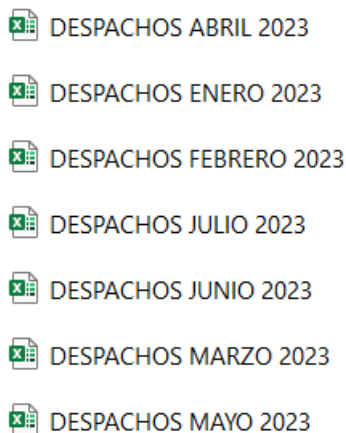


Figura 5.4: Planillas dentro de carpeta despachos planta

Dentro de cada planilla se encuentran los datos correspondientes a cada despacho realizado por UNICON. En estas planillas, se registran detalles específicos, tales como la cantidad en metros cúbicos solicitada por el cliente, el tipo de hormigón solicitado y los horarios de salida y llegada de los camiones mixer.

A modo de ejemplo, la siguiente figura ilustra la planilla de despachos para todas las plantas correspondiente al mes de abril de 2023.

Control Diario Despacho del Día 01/04/2023 al 30/04/2023

Fecha	Cliente	Obra	Factura	Salida	Estructura	Slump	Diseño	m3	Guia	Lleg
Planta: CHILLÁN										
01/04/2023	CLIENTE 1	OBRA 1	001-0217020	07:04	LOSA	8	RHN2090208-6	7	003-0379513	09:20
01/04/2023	CLIENTE 2	OBRA 2	001-0217024	07:21	LOSA	8	RHN2090208-6	8	003-0379518	09:54
01/04/2023	CLIENTE 3	OBRA 3	001-0217022	07:39	LOSA	8	RHN2090208-6	6	003-0379524	10:13
01/04/2023	CLIENTE 4	OBRA 4	001-0217023	07:56	LOSA	8	RHN2590208-6	5	003-0379532	10:06
01/04/2023	CLIENTE 5	OBRA 5	001-0217005	08:15	LOSA	8	RHN2590208-6	7	003-0379544	10:24
01/04/2023	CLIENTE 6	OBRA 6	001-0217020	08:34	LOSA	8	RHN2090208-6	7	003-0379552	11:12
01/04/2023	CLIENTE 7	OBRA 7	001-0217004	08:46	LOSA	6	RHN2590406I-6	6	003-0379560	11:34
01/04/2023	CLIENTE 8	OBRA 8	001-0217025	08:56	LOSA	8	RGN1590408-6	6	003-0379565	11:52
01/04/2023	CLIENTE 9	OBRA 9	001-0217024	09:08	LOSA	8	RHN2090208-6	8	003-0379570	12:03
01/04/2023	CLIENTE 10	OBRA 10	001-0217026	09:20	LOSA	8	RHN3090208-6	5	003-0379579	11:39
01/04/2023	CLIENTE 11	OBRA 11	001-0217021	09:30	LOSA	8	RGN3590208R7-6	2	003-0379584	10:51
01/04/2023	CLIENTE 12	OBRA 12	001-0217020	09:41	LOSA	8	RHN2090208-6	7	003-0379588	11:53
01/04/2023	CLIENTE 13	OBRA 13	001-0217004	09:53	LOSA	6	RHN2590406I-6	6	003-0379596	15:32
03/04/2023	CLIENTE 14	OBRA 14	001-0217045	08:23	LOSA	8	RHN2590208H2-6	7	003-0379664	10:58
03/04/2023	CLIENTE 15	OBRA 15	001-0217043	08:45	LOSA	6	RHN3090406-6	7,5	003-0379680	12:37
03/04/2023	CLIENTE 16	OBRA 16	001-0217044	09:01	LOSA	10	RGN25902010-6	8	003-0379692	11:32
03/04/2023	CLIENTE 17	OBRA 17	001-0217043	09:12	LOSA	6	RHN3090406-6	7,5	003-0379702	12:15
03/04/2023	CLIENTE 18	OBRA 18	001-0217045	09:25	LOSA	8	RHN2590208H2-6	7	003-0379712	12:14
03/04/2023	CLIENTE 19	OBRA 19	001-0217043	09:55	LOSA	6	RHN3090406-6	7,5	003-0379732	13:24
03/04/2023	CLIENTE 20	OBRA 20	001-0217045	10:10	LOSA	8	RHN2590208H2-6	7	003-0379742	12:36
03/04/2023	CLIENTE 21	OBRA 21	001-0217045	10:54	LOSA	8	RHN2590208H2-6	7	003-0379764	14:11
03/04/2023	CLIENTE 22	OBRA 22	001-0217043	11:13	LOSA	6	RHN3090406-6	7,5	003-0379775	14:10
03/04/2023	CLIENTE 23	OBRA 23	001-0217043	12:51	LOSA	6	RHN3090406-6	4	003-0379814	15:44
03/04/2023	CLIENTE 24	OBRA 24	001-0217045	13:06	LOSA	8	RHN2590208H2-6	7	003-0379823	16:20
03/04/2023	CLIENTE 25	OBRA 25	001-0217046	13:29	LOSA	10	RHN25902010-6	8	003-0379839	16:29
03/04/2023	CLIENTE 26	OBRA 26	001-0217118	13:47	LOSA	8	RHN2090208-6	8	003-0379850	15:31
03/04/2023	CLIENTE 27	OBRA 27	001-0217045	14:00	LOSA	8	RHN2590208H2-6	7	003-0379863	18:08
03/04/2023	CLIENTE 28	OBRA 28	001-0217118	14:15	LOSA	8	RHN2090208-6	8	003-0379871	16:30
03/04/2023	CLIENTE 29	OBRA 29	001-0217046	14:31	LOSA	10	RHN25902010-6	8	003-0379882	17:41
03/04/2023	CLIENTE 30	OBRA 30	001-0217141	15:00	LOSA	8	RGN2590408R7-6	7	003-0379907	19:26
03/04/2023	CLIENTE 31	OBRA 31	001-0217045	15:17	LOSA	8	RHN2590208H2-6	7	003-0379920	18:58

Figura 5.5: Planilla despachos mes de abril 2023

5.2.3. Carpeta dosificación plantas

Al acceder a esta carpeta, se encuentra una lista de hojas de cálculo de Excel (Figura 5.6), una por cada planta de UNICON. Estas hojas registran la dosificación para cada tipo de hormigón que UNICON comercializa. Estas planillas se descargan directamente del sistema y contienen la receta precisa para cada hormigón. La cantidad exacta de cada materia prima que debe mezclarse para lograr las características deseadas del producto, tales como resistencia, nivel de confianza y tamaño del cono.



Figura 5.6: Planillas dentro de carpeta dosificación planta

Dentro de cada planilla están los datos necesarios para saber cuanta cantidad de materia prima se necesita para cada hormigón que ofrece UNICON. Además dado que la vigencia de estas dosificaciones por producto cambia, es que se puede ingresar una fecha de validez de estas dosificaciones. En la siguiente figura se muestra como ejemplo la planilla de dosificación para la planta de con con.

Nombre_Diseño	Descripcion_Corta	Planta	Codigo_Insumo	Insumo	Cantidad	Um	Factor	Balanza	estado	Fecha Inicio	Fecha Termino
RDO1200406	DO120(00)40/06	CON CON 1	129565	AGUA	177	LTS	0	S	ACT	ene-20	dic-23
RDO1200406	DO120(00)40/06	CON CON 1	139947	PLASTOCRETE 450	0,7	KGR	0	S	ACT		
RDO1200406	DO120(00)40/06	CON CON 1	144945	CEMENTO	132,3	KGR	0	S	ACT		
RDO1200406	DO120(00)40/06	CON CON 1	146107	ARENA GRUESA	1198	KGR	0,001	S	ACT		
RDO1200406	DO120(00)40/06	CON CON 1	146108	GRAVILLA 20MM	378	KGR	0,001	S	ACT		
RDO1200406	DO120(00)40/06	CON CON 1	146109	GRAVA 40MM	509	KGR	0,001	S	ACT		
RDO17000206	DO170(00)20/06	CON CON 1	129565	AGUA	188	LTS	0	S	ACT		
RDO17000206	DO170(00)20/06	CON CON 1	139947	PLASTOCRETE 450	1	KGR	0	S	ACT		
RDO17000206	DO170(00)20/06	CON CON 1	144945	CEMENTO	187,95	KGR	0	S	ACT		
RDO17000206	DO170(00)20/06	CON CON 1	146107	ARENA GRUESA	1208	KGR	0,001	S	ACT		
RDO17000206	DO170(00)20/06	CON CON 1	146108	GRAVILLA 20MM	787	KGR	0,001	S	ACT		
RDO17000208	DO170(00)20/08	CON CON 1	129565	AGUA	191	LTS	0	S	ACT		
RDO17000208	DO170(00)20/08	CON CON 1	139947	PLASTOCRETE 450	1	KGR	0	S	ACT		
RDO17000208	DO170(00)20/08	CON CON 1	144945	CEMENTO	187,95	KGR	0	S	ACT		
RDO17000208	DO170(00)20/08	CON CON 1	146107	ARENA GRUESA	1202	KGR	0,001	S	ACT		
RDO17000208	DO170(00)20/08	CON CON 1	146108	GRAVILLA 20MM	784	KGR	0,001	S	ACT		
RDO17000406	DO170(00)40/06	CON CON 1	129565	AGUA	177	LTS	0	S	ACT		
RDO17000406	DO170(00)40/06	CON CON 1	139947	PLASTOCRETE 450	1	KGR	0	S	ACT		
RDO17000406	DO170(00)40/06	CON CON 1	144945	CEMENTO	178,5	KGR	0	S	ACT		
RDO17000406	DO170(00)40/06	CON CON 1	146107	ARENA GRUESA	1105	KGR	0,001	S	ACT		
RDO17000406	DO170(00)40/06	CON CON 1	146108	GRAVILLA 20MM	396	KGR	0,001	S	ACT		
RDO17000406	DO170(00)40/06	CON CON 1	146109	GRAVA 40MM	536	KGR	0,001	S	ACT		
RDO17000406H2	DO170(00)40/06HR2	CON CON 1	129565	AGUA	177	LTS	0	S	ACT		
RDO17000406H2	DO170(00)40/06HR2	CON CON 1	139947	PLASTOCRETE 450	1	KGR	0	S	ACT		
RDO17000406H2	DO170(00)40/06HR2	CON CON 1	144945	CEMENTO	187,95	KGR	0	S	ACT		
RDO17000406H2	DO170(00)40/06HR2	CON CON 1	146107	ARENA GRUESA	1105	KGR	0,001	S	ACT		
RDO17000406H2	DO170(00)40/06HR2	CON CON 1	146108	GRAVILLA 20MM	396	KGR	0,001	S	ACT		

Figura 5.7: Planilla dosificación planta chillán

5.2.4. Carpeta factores emisión plantas

Al hacer clic en esta carpeta, se accede a un listado de hojas de cálculo de Excel (Figura 5.8) por cada planta de UNICON, que registra todos los factores de emisión considerados

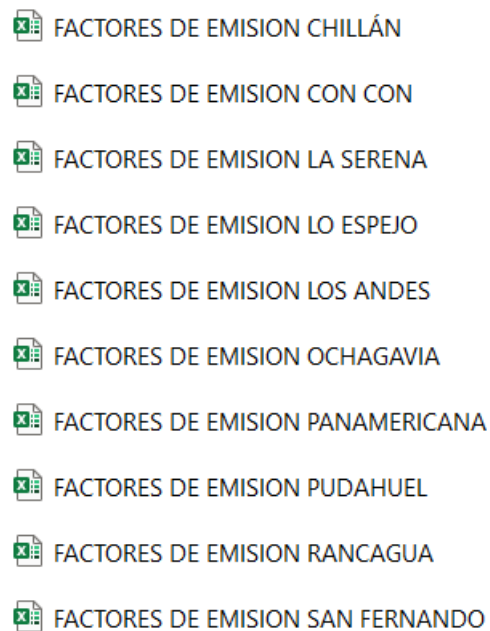


Figura 5.8: Planillas dentro de carpeta factores emisión plantas

Dentro de cada planilla es posible ingresar los datos de los factores de emisión asociados a cada planta y para cada mes del año. En la siguiente figura se muestra como ejemplo la planilla de factores de emisión para la planta de chillán

Tipo	Nombre	Parámetro	Planta	Unidad	ene-21	feb-21	mar-21	abr-21
Producto	CEMENTO	Específica bruta	CHILLÁN	Kg CO2 /t cem	705,00	705,00	705,00	705,00
Producto	CEMENTO	Electricidad externa	CHILLÁN	Kg CO2 /t cem	18,00	18,00	18,00	18,00
Producto	GRAVILLA 13 MM	CO2 alcance 1 Agregado grueso	CHILLÁN	Kg CO2/t	1,31	1,31	1,31	1,31
Producto	GRAVILLA 13 MM	CO2 alcance 2 Agregado grueso	CHILLÁN	Kg CO2/t	1,27	1,39	1,50	1,59
Producto	GRAVILLA 20 MM	CO2 alcance 1 Agregado grueso	CHILLÁN	Kg CO2/t	1,31	1,31	1,31	1,31
Producto	GRAVILLA 20 MM	CO2 alcance 2 Agregado grueso	CHILLÁN	Kg CO2/t	1,27	1,39	1,50	1,59
Producto	GRAVA 40 MM	CO2 alcance 1 Agregado grueso	CHILLÁN	Kg CO2/t	1,31	1,31	1,31	1,31
Producto	GRAVA 40 MM	CO2 alcance 2 Agregado grueso	CHILLÁN	Kg CO2/t	1,27	1,39	1,50	1,59
Producto	ARENA FINA	CO2 alcance 1 Agregado fino	CHILLÁN	Kg CO2/t	0,84	0,84	0,84	0,84
Producto	ARENA FINA	CO2 alcance 2 Agregado fino	CHILLÁN	Kg CO2/t	0,99	1,07	1,17	1,23
Producto	ARENA	CO2 alcance 1 Agregado fino	CHILLÁN	Kg CO2/t	0,84	0,84	0,84	0,84
Producto	ARENA	CO2 alcance 2 Agregado fino	CHILLÁN	Kg CO2/t	0,99	1,07	1,17	1,23
Producto	CRISTALIZANTE	Factor emisión aditivo	CHILLÁN	Kg CO2/t	720	720	720	720
Producto	IMPERMEABILIZANTE	Factor emisión aditivo	CHILLÁN	Kg CO2/t	720	720	720	720
Producto	ADITIVO TIPO F	Factor emisión aditivo	CHILLÁN	Kg CO2/t	720	720	720	720
Producto	ADITIVO TIPO D	Factor emisión aditivo	CHILLÁN	Kg CO2/t	720	720	720	720
Producto	ADITIVO TIPO B	Factor emisión aditivo	CHILLÁN	Kg CO2/t	720	720	720	720
Producto	ADICION	Factor emisión aditivo	CHILLÁN	Kg CO2/t	720	720	720	720
Producto	FIBRA PLASTICA	Factor emisión aditivo	CHILLÁN	Kg CO2/t	720	720	720	720
Producto	ADITIVO OTRO TIPO	Factor emisión aditivo	CHILLÁN	Kg CO2/t	720	720	720	720
Producto	FIBRA METALICA	Factor emisión aditivo	CHILLÁN	Kg CO2/t	720	720	720	720
Producto	PIGMENTO	Factor emisión aditivo	CHILLÁN	Kg CO2/t	720	720	720	720
Producto	ELECTRICIDAD	Factor emisión generación eléctrica	CHILLÁN	Kg CO2/MWh	362,3	476	470,4	326,3
Producto	AGUA	Factor emisión CO2 agua potable	CHILLÁN	kg CO2 /m3	0,03	0,03	0,03	0,03
Producto	DIESEL CARGADOR	Factor de emisión diesel cargador frontal	CHILLÁN	Kg CO2/l	2,6	2,6	2,6	2,6
Producto	DIESEL MIXER	Factor de emisión diesel camión mixer	CHILLÁN	Kg CO2/l	2,6	2,6	2,6	2,6
Producto	DIESEL CAMION	Factor de emisión diesel camión	CHILLÁN	Kg CO2/l	2,6	2,6	2,6	2,6

Figura 5.9: Planilla factores de emisión planta chillán

5.2.5. Carpeta proveedores productos

Al hacer clic en esta carpeta, se accede a un listado de hojas de cálculo de Excel (Figura 5.10) por cada planta de UNICON, que registra la distancia que hay desde cada proveedor de materias primas hasta la planta, además registra la capacidad de carga de estos camiones y el rendimiento de los camiones.

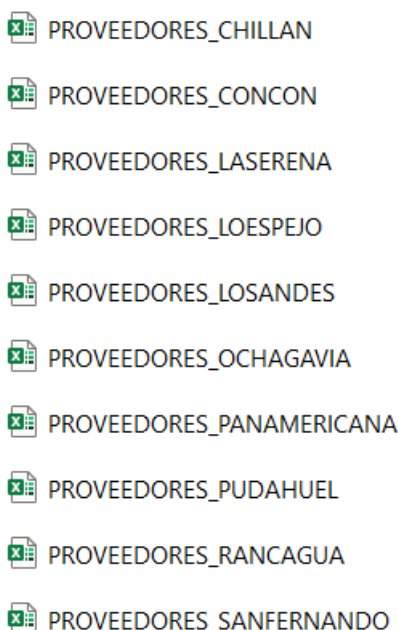


Figura 5.10: Planillas dentro de carpeta proveedores productos

Dentro de cada planilla se puede hacer el ingreso de los datos de las distancias desde el proveedor hasta cada planta. En la siguiente figura se muestra como ejemplo la planilla de

proveedores productos para la planta de chillán

Planta	Categoría Insumo	Nombre Proveedor	Dirección	Km Planta	Tipo de transporte	Kg Transporte	Consumo Lts/Km
CHILLÁN	ADICION	Proveedor X	DIRECCION X	406	Camión Plano - transporta 8000 kg	8000	0,22
CHILLÁN	ADITIVO OTRO TIPO	Proveedor X	DIRECCION X	406	Camión Plano - transporta 8000 kg	8000	0,22
CHILLÁN	ADITIVO TIPO B	Proveedor X	DIRECCION X	406	Camión Plano - transporta 8000 kg	8000	0,22
CHILLÁN	ADITIVO TIPO D	Proveedor X	DIRECCION X	406	Camión Plano - transporta 8000 kg	8000	0,22
CHILLÁN	ADITIVO TIPO F	Proveedor X	DIRECCION X	406	Camión Plano - transporta 8000 kg	8000	0,22
CHILLÁN	ARENA	PROVEEDOR ARIDOS	DIRECCION ARIDOS	11	Batea de 24 m3	43200	0,22
CHILLÁN	ARENA FINA	PROVEEDOR ARIDOS	DIRECCION ARIDOS	11	Batea de 24 m3	43200	0,22
CHILLÁN	CEMENTO	PROVEEDOR CEMENTO	DIRECCION CEMENTO	225	Granelero 32 ton	32000	0,22
CHILLÁN	CRISTALIZANTE	Proveedor Y	DIRECCION Y	416	Camión Plano - transporta 8000 kg	8000	0,22
CHILLÁN	FIBRA METALICA	Proveedor Z	DIRECCION Z	404	Camión Plano - transporta 10000 kg	10000	0,22
CHILLÁN	FIBRA PLASTICA	Proveedor W	DIRECCION W	416	Camión Plano - transporta 5000 kg	5000	0,22
CHILLÁN	GRAVA 40 MM	PROVEEDOR ARIDOS	DIRECCION ARIDOS	11	Batea de 24 m3	38400	0,22
CHILLÁN	GRAVILLA 13 MM	PROVEEDOR ARIDOS	DIRECCION ARIDOS	11	Batea de 24 m3	38400	0,22
CHILLÁN	GRAVILLA 20 MM	PROVEEDOR ARIDOS	DIRECCION ARIDOS	11	Batea de 24 m3	38400	0,22
CHILLÁN	IMPERMEABILIZANTE	Proveedor X	DIRECCION X	406	Camión Plano - transporta 8000 kg	8000	0,22
CHILLÁN	PIGMENTO	Proveedor Q	DIRECCION Q	415	Camión Plano - transporta 5000 kg	5000	0,22

Figura 5.11: Planilla proveedores productos planta chillán

5.3. Calculadora Power BI

Después de un proceso de depuración de las planillas mostradas en el punto anterior, se procede a cargar y cruzar la información en Power BI, utilizando las fórmulas presentadas en el capítulo de Recopilación de datos cualitativos y cuantitativos necesarios para cada proceso unitario (entrada y salida).

Finalmente los paneles obtenidos se presentan a continuación.

5.3.1. Dashboard CO2 eq por m3 según guía de despacho

En la figura 5.12 se presenta el panel que permite la visualización de los kilogramos de CO2 equivalente por metro cúbico de hormigón emitidos en un despacho específico. Esto se logra a través de un buscador que permite seleccionar la guía de despacho deseada. Además, en este panel se encuentra la representación gráfica de la contribución de cada materia prima y del despacho en particular.

Es importante destacar que esta herramienta permite identificar el CO₂ equivalente de cada despacho, considerando el producto específico (tipo de hormigón) y la obra en particular. Además, este dato podría incluso imprimirse en la guía de despacho enviada al cliente.



Figura 5.12: Dashboard CO2 eq por m3 por guía

5.3.2. Dashboard CO2 eq por guía de despacho

En la figura 5.13 se presenta el panel que permite la visualización de los kilogramos de CO2 equivalente emitidos en un despacho específico. Esto se logra a través de un buscador que permite seleccionar la guía de despacho deseada. Además, en este panel se encuentra la representación gráfica de la contribución de cada materia prima y del despacho en particular.

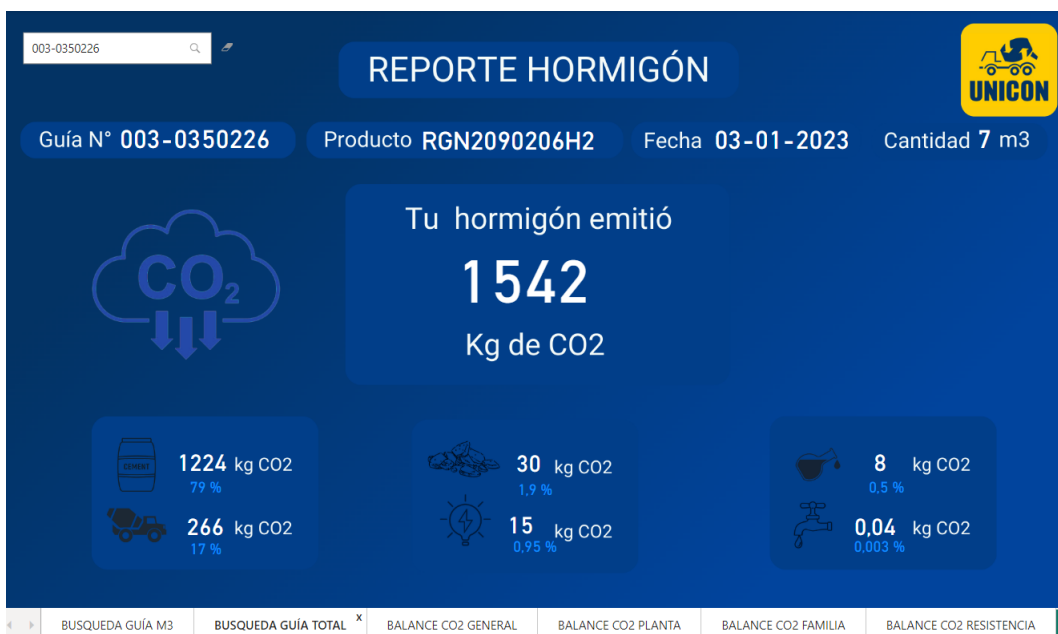


Figura 5.13: Dashboard CO2 eq por guía

5.3.3. Dashboard toneladas CO2 eq emitidas por UNICON

En la figura 5.14 se presenta el panel que permite la visualización de las toneladas de CO2 equivalentes emitidas por UNICON durante los periodos de tiempo cargados. Además, proporciona un recuento del número de despachos realizados y el total de metros cúbicos de hormigón despachados. Este panel incluye filtros por planta, año y mes. Asimismo, ofrece una representación gráfica de la contribución al total de CO2 equivalente de cada materia prima y de los despachos en particular.



Figura 5.14: Dashboard CO2 eq general

5.3.4. Dashboard toneladas CO2 eq emitidas por planta

En la figura 5.15 se presenta el panel que permite la visualización de las toneladas de CO2 equivalentes emitidas por cada planta de UNICON. Además, facilita la visualización de los metros cúbicos despachados por cada planta, y mostrando la contribución al total de emisiones de las materias primas y los respectivos despachos. Este panel incluye filtros por planta, año y mes.

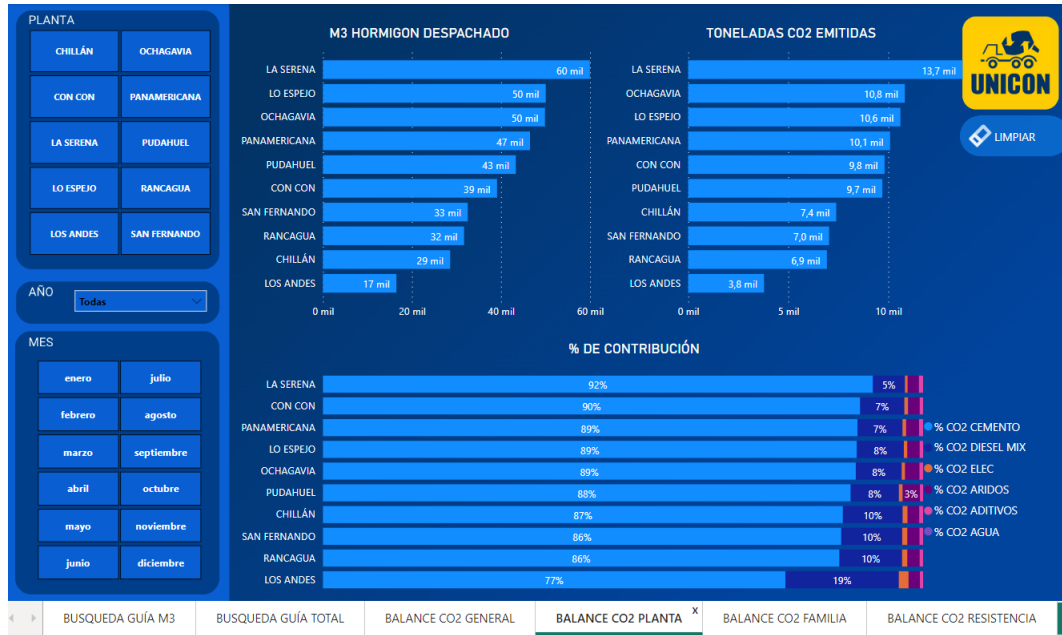


Figura 5.15: Dashboard CO2 eq por planta

5.3.5. Dashboard KG CO2 eq promedio por m3 de hormigón por familia de hormigón

En la figura 5.16 se presenta el panel que permite la visualización de los kilogramos promedio de CO2 equivalentes emitidos por familia de hormigón. Además, proporciona un recuento del total de toneladas de CO2 equivalente emitido, el número de despachos realizados y el total de metros cúbicos de hormigón despachados. Este panel incluye filtros por planta, año y mes, ofreciendo una representación gráfica detallada de la contribución al total de CO2 equivalente de cada materia prima y de los despachos en particular.

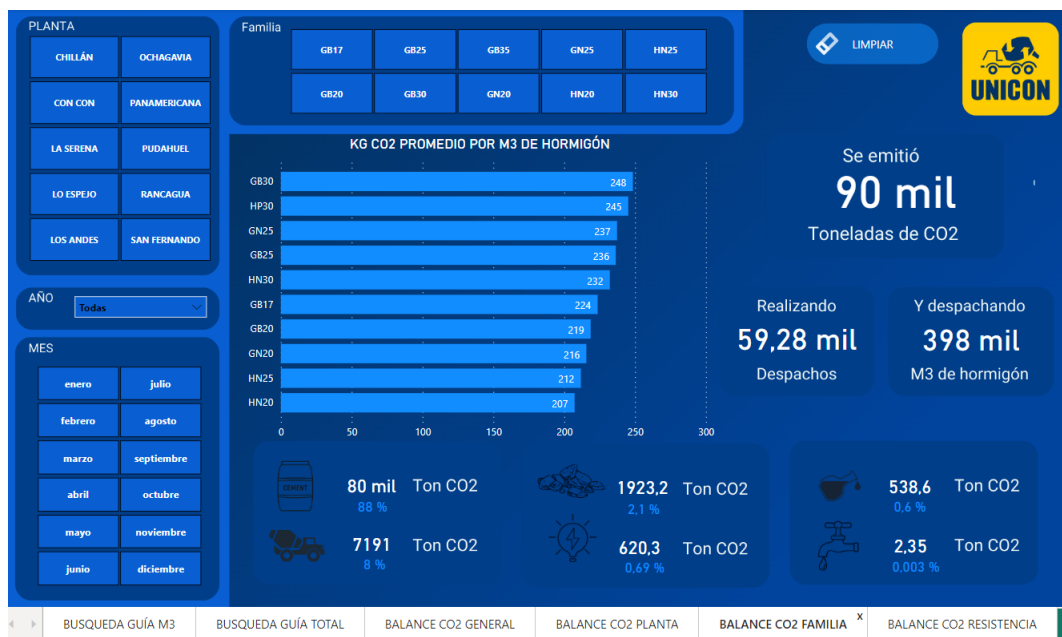


Figura 5.16: Dashboard CO2 eq promedio m3 hormigón por familia

5.3.6. Dashboard KG CO2 eq promedio por m3 de hormigón por resistencia de hormigón

En la figura 5.17 se presenta el panel que permite la visualización de los kilogramos promedio de CO2 equivalentes emitidos por resistencia del hormigón. Además, proporciona un recuento del total de toneladas de CO2 equivalente emitido, el número de despachos realizados y el total de metros cúbicos de hormigón despachados. Este panel incluye filtros por planta, año y mes, ofreciendo una representación gráfica detallada de la contribución al total de CO2 equivalente de cada materia prima y de los despachos en particular.

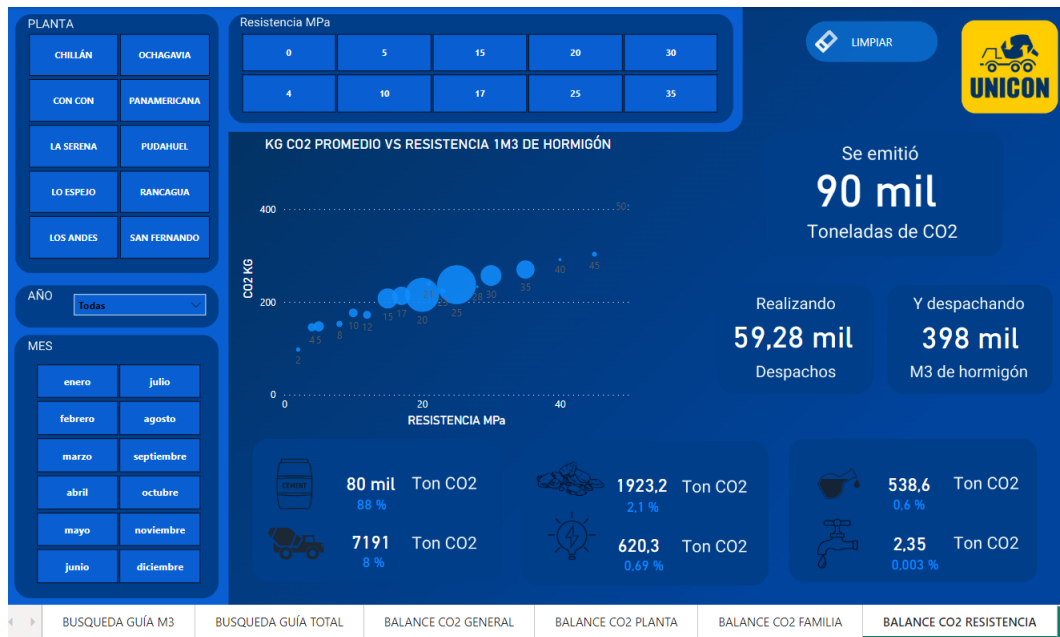


Figura 5.17: Dashboard CO2 eq promedio m3 hormigón por familia

Estos últimos dashboards (5.16 y 5.17) permiten realizar una gestión proactiva para futuras líneas de acción que contribuyan a reducir la huella de carbono, al permitir evaluar dónde se concentran las emisiones.

Capítulo 6

RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo, se presentarán los resultados obtenidos a través de la implementación de la calculadora de emisiones de CO₂ para la empresa de hormigón premezclado UNICON, así como un análisis de dichos resultados en términos de su impacto en la reducción de emisiones de CO₂ y su relevancia para la industria de la construcción.

6.1. Resultados de la calculadora de emisiones de CO₂

Tras el desarrollo e implementación de la calculadora de emisiones de CO₂, se obtuvieron datos significativos relacionados con las emisiones de CO₂ asociadas a la producción y distribución de hormigón premezclado. Estos resultados se presentarán de manera detallada, incluyendo información sobre las emisiones totales, desglose por planta, variaciones estacionales, y otros aspectos relevantes.

6.1.1. Desarrollo y funcionalidad de la calculadora de emisiones de CO₂

La calculadora de emisiones de CO₂, desarrollada utilizando Power BI, proporciona una interfaz interactiva para que los usuarios de UNICON examinen las emisiones de CO₂ relacionadas con el hormigón comercializado. Esta herramienta, presentada a través de dashboards interactivos, permite a los usuarios filtrar y analizar las emisiones de CO₂ de forma acumulada o específica, basándose en la unidad funcional de 1 m³ de hormigón.

6.1.2. Resultados obtenidos

6.1.2.1. Promedio general de CO₂ equivalente por metro cúbico de hormigón

Este dato se obtuvo realizando un análisis estadístico de los 60 mil despachos realizados por Unicon en un período de tiempo determinado, lo que nos proporciona 60 mil datos de CO₂ equivalente por metro cúbico de hormigón.

A continuación, se presenta el promedio general de CO₂ equivalente que emite un metro cúbico de hormigón.

Tabla 6.1: Promedio general de CO2 equivalente por metro cúbico de hormigón

Dato	Valor	Unidad de Medida
Emisión por m3 de hormigón	223	Kg CO2 eq/m3

6.1.2.2. CO2 equivalente por resistencia (MPa)

La calculadora nos proporciona el promedio del CO2 equivalente según la resistencia del hormigón. En la siguiente tabla se muestra el promedio de kilogramos de CO2 equivalente por resistencia del hormigón.

Es importante destacar que en la tabla se incorporan las resistencias con más datos asociados, ya que incluir resistencias con pocos datos asociados podría llevar a errores en el análisis.

Tabla 6.2: CO2 equivalente por resistencia MPa

Resistencia MPA	Valor	Unidad de Medida
15	201	Kg CO2 eq/m3
17	207	Kg CO2 eq/m3
20	209	Kg CO2 eq/m3
25	233	Kg CO2 eq/m3
30	245	Kg CO2 eq/m3
35	265	Kg CO2 eq/m3

6.1.2.3. Nivel despachos y familia de hormigón

A nivel de guía de despacho, un despacho significa en promedio 7 m3 de hormigón, el CO2 eq emitido por metro cúbico de hormigón de un Hormigón Normal GN de 25 MPa de resistencia a la compresión, nivel de confianza del 90%, tamaño máximo de árido 20 mm y docilidad de 10 cm es de 232 kg de CO2 eq. Los datos para este hormigón y el porcentaje de lo que aporta cada materia prima y el despacho al total de hormigón están en la siguiente tabla.

Tabla 6.3: Resultados Hormigón GN25.0(90)20/10

Producto	GN25.0(90)20/10
M3	7
Kg CO2 eq/m3	232
Kg CO2 eq Total Despacho	1622
Contribución Cemento	86 %
Contribución Despacho	10 %
Contribución Áridos	1,80 %
Contribución Electricidad	0,91 %
Contribución Aditivos	0,80 %
Contribución Agua	0,003 %

Cabe destacar que se definió lo siguiente:

- Contribución Cemento: Considera el CO2 eq emitido en la producción y transporte a la planta del cemento.
- Contribución Despacho: Considera el CO2 eq emitido por el camión mixer que transporta el hormigón desde la planta hasta la obra y además el aporte de CO2 eq emitido por el cargador frontal.
- Contribución Áridos: Considera el CO2 eq emitido en la producción y transporte de los áridos a la planta de todos los áridos que componen el tipo de hormigón despachado.
- Contribución Electricidad: Considera el CO2 eq emitido en la producción de electricidad.
- Contribución Aditivos: Considera el CO2 eq emitido en la producción y transporte de los aditivos a la planta de todos los áridos que componen el tipo de hormigón despachado.
- Contribución Agua: Considera el CO2 eq emitido en la producción de agua.

Luego, para un hormigón GN con resistencia a la compresión de 35 MPa, nivel de confianza del 90 %, tamaño máximo de árido de 20 mm y docilidad de 8 cm, se tiene lo siguiente:

Tabla 6.4: Resultados Hormigón GN35(90)208

Producto	GN35(90)208
M3	7
Kg CO2 eq/m3	275
Kg CO2 eq Total Despacho	1922
Contribución Cemento	93 %
Contribución Despacho	5 %
Contribución Áridos	1,70 %
Contribución Electricidad	0,38 %
Contribución Aditivos	0,50 %
Contribución Agua	0,002 %

6.1.2.4. Nivel planta UNICON

A nivel de planta de UNICON, la calculadora suma los resultados de emisiones de CO2 eq de cada despacho realizado en el mes. Tomaremos el mes de abril de 2023 como ejemplo para mostrar los resultados de las dos plantas que más contribuyen con emisiones de CO2 eq.

Tabla 6.5: Resultados Planta La Serena Mes Abril

Planta	La Serena
Total m3 despachados	8848
Ton CO2 eq	2083
Kg CO2 eq/m3	235
Contribución Cemento	91 %
Contribución Despacho	6 %
Contribución Áridos	1,90 %
Contribución Electricidad	0,39 %
Contribución Aditivos	0,70 %
Contribución Agua	0,003 %

Tabla 6.6: Resultados Planta Lo Espejo Mes Abril

Planta	Lo Espejo
Total m3 despachados	8376
Ton CO2 eq	1918
Kg CO2 eq/m3	229
Contribución Cemento	90 %
Contribución Despacho	7 %
Contribución Áridos	2,10 %
Contribución Electricidad	0,42 %
Contribución Aditivos	0,50 %
Contribución Agua	0,003 %

6.1.2.5. Nivel UNICON

Ahora bien a nivel de UNICON entero , lo cual son las 10 plantas que lo componen, tenemos los siguientes datos para el mes de abril del 2023.

Tabla 6.7: Resultados UNICON CHILE Mes Abril

Empresa	UNICON CHILE
Total m3 despachados	58000
Ton CO2 eq	13000
Kg CO2 eq/m3	224
Contribución Cemento	87 %
Contribución Despacho	10 %
Contribución Áridos	2,20 %
Contribución Electricidad	0,60 %
Contribución Aditivos	0,60 %
Contribución Agua	0,003 %

6.2. Análisis de los resultados

6.2.1. Análisis promedio general de CO2 equivalente por metro cúbico de hormigón

A nivel nacional e internacional existen aproximaciones muy escuetas en cuanto a la cuantificación de las emisiones de CO2 producidas por la producción de hormigón. En general, los estudios se han centrado más en las emisiones asociadas a la producción de cemento y no

tanto en las del hormigón. Además, estas aproximaciones suelen considerar únicamente las emisiones generadas durante la producción, sin contemplar el transporte de materias primas ni el transporte del hormigón a la obra.

Según estas aproximaciones, los kilogramos de CO₂ equivalentes emitidos oscilan entre 200 y 300 por metro cúbico de hormigón. En este sentido, el dato encontrado en nuestro análisis es consistente con estas estimaciones.

Tabla 6.8: Comparativa promedio general de CO₂ equivalente por metro cúbico de hormigón

Dato	Valor	Unidad de Medida
Calculadora UNICON	223	Kg CO ₂ eq/m ³
Aproximación dato precedente	200-300	Kg CO ₂ eq/m ³

6.2.2. Análisis CO₂ equivalente por resistencia (MPa)

En este análisis, observamos claramente que a medida que aumenta la resistencia del hormigón, también aumenta el CO₂ equivalente emitido por metro cúbico. Este fenómeno tiene sentido dado que el componente que más contribuye a las emisiones es el cemento, y a medida que aumenta la resistencia, se utiliza más cemento en la mezcla.

Es importante destacar que este análisis se basa únicamente en la resistencia como factor clasificador, sin considerar otros parámetros como el tipo de hormigón, el tamaño máximo del árido, el nivel de confiabilidad y la docilidad. Sin embargo, los resultados proporcionados para cada nivel de resistencia son un indicativo importante para la industria, ya que nos dan una idea promedio de las emisiones de CO₂ por metro cúbico de hormigón según su resistencia.

Además, al realizar una regresión lineal con los datos de resistencia versus valor, obtuvimos la siguiente ecuación:

$$y = 3.222x + 150.41 \quad (6.1)$$

$$R_2 = 0.983 \quad (6.2)$$

Este análisis implica una relación lineal entre la resistencia y los kilogramos de CO₂ emitidos, lo que indica que, en promedio, por cada aumento de 1 MPa en la resistencia, se estima un aumento de alrededor de 3.54 kg en los kilogramos de CO₂ emitidos.

6.2.3. Análisis nivel despacho y familia de hormigón

El análisis de los resultados a nivel de guía de despacho revela información crucial sobre la emisión de CO₂ eq por metro cúbico de hormigón. Por ejemplo, para un Hormigón Normal GN de 25 MPa, se emiten 232 kg de CO₂ eq por metro cúbico. La mayor contribución proviene del cemento (86 %), seguida por el despacho (10 %). Los áridos, la electricidad, los aditivos y el agua tienen contribuciones menores. Este patrón se repite con variaciones en hormigones de diferentes resistencias, como el GN de 35 MPa, donde la contribución del cemento aumenta al 93 %. Es congruente este aumento de porcentaje en la contribución que tiene el cemento, ya que es sabido que para obtener más resistencia, la dosificación de cemento debe ser mayor. Además, se puede observar que los ítems que más influyen en la emisión de CO₂ equivalente

del hormigón son el cemento y el transporte a obra.

6.2.4. Análisis nivel planta UNICON

Al nivel de planta, los datos reflejan las emisiones totales de CO₂ eq en función de los metros cúbicos despachados. En el caso de las plantas La Serena y Lo Espejo, las contribuciones relativas de los distintos componentes son consistentes con las observadas a nivel de guía de despacho. La Serena, por ejemplo, muestra una contribución de cemento del 91 %, mientras que Lo Espejo tiene un 90 %. Esto indica una tendencia general en la que la producción y transporte del cemento son los mayores contribuyentes a la huella de carbono del hormigón

6.2.5. Análisis nivel UNICON Chile

En una escala más amplia, al analizar todas las plantas de UNICON, se observa que el cemento sigue siendo el mayor contribuyente a las emisiones de CO₂ eq, con un 87 %. Sin embargo, el análisis también muestra que los procesos de despacho tienen un papel significativo en las emisiones totales, contribuyendo con un 10 %. La consistencia en la contribución porcentual del cemento a través de diferentes niveles de análisis subraya la importancia de centrarse en la producción y transporte de cemento para reducir las emisiones totales de CO₂ eq de UNICON

6.3. Implicaciones prácticas y recomendaciones

Nos enfocaremos en las aplicaciones prácticas de los hallazgos y en proporcionar sugerencias concretas para mejorar la sostenibilidad en la industria del hormigón premezclado.

6.3.1. Optimización de la producción de cemento

- **Uso de Materias Primas Alternativas:** Integrar materiales como la ceniza volante o la escoria de alto horno en la fabricación del cemento reduce la dependencia del clínker, disminuyendo así las emisiones de CO₂.
- **Mejoras en la Eficiencia Energética:** Implementar tecnologías para optimizar el consumo energético en la producción de cemento, reduciendo el impacto ambiental y los costos operativos.

6.4. Adopción de tecnologías de energía limpia

- **Energías Renovables:** Emplear fuentes de energía renovable para las operaciones de las plantas, disminuyendo la dependencia de combustibles fósiles.
- **Vehículos Eléctricos o de Bajas Emisiones:** Sustituir los vehículos mixer y cargadores frontales por opciones eléctricas o de bajas emisiones para reducir la huella de carbono en el transporte y manejo de materiales.
- **Colaboración con Proveedores :** Establecer alianzas con proveedores para promover la sostenibilidad en toda la cadena de suministro.

6.5. Gestión eficiente de los recursos

- Reciclaje de Agua y Materiales: Establecer sistemas para reutilizar agua y materiales residuales, mejorando la sostenibilidad y reduciendo el desperdicio.
- Optimización de la Logística: Mejorar la planificación del transporte y la distribución para reducir las distancias recorridas y aumentar la eficiencia del transporte.

6.6. Innovación en productos de hormigón

- Desarrollo de Hormigones de Baja Emisión: Investigar y producir hormigones que requieran menos cemento o que integren materiales alternativos, lo que puede resultar en menores emisiones de CO₂.
- Uso de Aditivos Eficientes: Utilizar aditivos que mejoren las propiedades del hormigón, permitiendo reducir la cantidad de cemento necesario sin comprometer la calidad.

Implementar estas recomendaciones no solo contribuirá a reducir las emisiones de CO₂, sino que también mejorará la eficiencia operativa, la sostenibilidad y la imagen de la empresa en el mercado. La adopción de prácticas sostenibles es un paso crucial hacia un futuro más verde y responsable en la industria del hormigón premezclado.

6.7. Consideraciones adicionales

En esta sección, abordaremos aspectos adicionales que surgen del estudio, tales como limitaciones, oportunidades de investigación futura y la importancia de los hallazgos en el contexto más amplio de la sostenibilidad en la industria de la construcción.

6.7.1. Limitaciones del estudio

- Alcance de Datos: El estudio se centra en una empresa y puede no capturar variabilidades a nivel regional o global. La generalización de los resultados debe hacerse con cautela.
- Tecnologías Emergentes: El estudio no pudo incluir el impacto de tecnologías emergentes que podrían cambiar significativamente el panorama de emisiones de CO₂ en la industria.
- Precisión de los Datos: Los datos utilizados dependen de la precisión y actualidad de la información proporcionada por las plantas y proveedores, lo que puede afectar la exactitud de los resultados. Esto es especialmente relevante para los factores de emisión, los cuales son factores teóricos.

6.7.2. Áreas de investigación futura

- Estudios a Largo Plazo: Realizar estudios longitudinales para entender mejor las tendencias a largo plazo en las emisiones de CO₂ y la eficacia de las medidas de mitigación.
- Comparación entre Regiones y Empresas: Investigar diferencias en las prácticas y emisiones de CO₂ en distintas regiones geográficas y entre diversas empresas para obtener una visión más completa.
- Desarrollo de Nuevas Tecnologías: Explorar el impacto potencial de nuevas tecnologías y materiales en la reducción de la huella de carbono en la industria del hormigón.

6.7.3. Relevancia en el contexto de la sostenibilidad

- Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Los hallazgos son cruciales para contribuir a los objetivos globales de sostenibilidad, especialmente en lo que respecta a la reducción de emisiones y la eficiencia en el uso de recursos.
- Modelo para la Industria de la Construcción: Este estudio puede servir como un modelo para la adopción de prácticas más sostenibles en la industria de la construcción en general.
- Conciencia y Políticas Ambientales: Los resultados podrían influir en la formulación de políticas y regulaciones más estrictas en cuanto a emisiones de CO₂ y prácticas sostenibles en la industria del hormigón.

Las consideraciones presentadas resaltan la importancia de abordar las limitaciones actuales y de centrarse en áreas de mejora continua. Además, subrayan la relevancia de este estudio en el contexto más amplio de la sostenibilidad ambiental en la industria de la construcción, subrayando su papel crucial en la promoción de un futuro más sostenible.

Con la presentación detallada de estos resultados y su análisis, el objetivo es proporcionar una visión completa de las emisiones de CO₂ en la industria del hormigón premezclado. Se busca ofrecer insights significativos que puedan guiar acciones concretas hacia la reducción de estas emisiones y la promoción de prácticas más sostenibles en el sector de la construcción.

Capítulo 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo, se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio sobre las emisiones de CO₂ en la industria del hormigón premezclado, focalizado en el caso de UNICON Chile. Se evalúan los objetivos establecidos y se destaca la metodología desarrollada para cuantificar las emisiones, utilizando la norma ISO 14067 y considerando el ciclo de vida del hormigón.

7.1. Evaluación de objetivos

El presente trabajo de título logra con éxito sus objetivos clave. Se pudo cuantificar y establecer un escenario base de cuantificación de emisiones de CO₂ que poseen los hormigones chilenos en la actualidad, ya que, UNICON Chile está presente en varias regiones del país y sus procesos son similares a los de su competencia. Además se calculó las emisiones de CO₂ generadas por cada venta de hormigón en UNICON Chile y con esto se pudo obtener el CO₂ generado por la empresa. Este estudio sienta un precedente en la industria del hormigón premezclado y resalta la necesidad urgente de adoptar medidas para reducir estas emisiones.

Además se estableció una metodología efectiva para calcular las emisiones de CO₂, incorporando la norma ISO 14067 y analizando el ciclo de vida del hormigón. Este enfoque permitió la creación de una herramienta interactiva en Power BI, facilitando una comprensión profunda y detallada de las fases críticas de emisión. La herramienta proporciona una visión clara del impacto ambiental de las actividades de la empresa, identifica las principales fuentes de emisiones, y ofrece información clave para identificar oportunidades de reducción. Además, facilita la generación de informes y seguimiento, apoyando la toma de decisiones estratégicas y la comunicación sobre la gestión de emisiones. La metodología desarrollada se convierte en una herramienta precisa y versátil, contribuyendo a una mejor comprensión del impacto ambiental del hormigón premezclado.

7.2. Hallazgos clave y recomendaciones

Los resultados destacan la preponderancia del cemento en las emisiones totales, lo que sugiere estrategias específicas para reducir la huella de carbono. Se recomienda la optimización en la producción de cemento y la adopción de prácticas sostenibles como enfoques clave para mitigar el impacto ambiental.

Sin embargo, dado que UNICON Chile no está directamente involucrado en la producción de cemento, la empresa debería concentrar sus esfuerzos en reducir emisiones que están bajo su control directo. En particular, las emisiones de CO₂ generadas por los camiones mixer que transportan el hormigón desde la planta hasta la obra, las cuales representan el segundo mayor contribuidor de emisiones en la producción de hormigón, representando el 10 % del total.

Por lo tanto, se recomienda que UNICON Chile explore la posibilidad de convertir su flota de camiones mixer a vehículos eléctricos o a gas. Esta transición no solo mejorará la relación de la empresa con el medio ambiente, sino que también la posicionará como pionera en la industria al aspirar a convertirse en la primera empresa de este rubro en ser carbono neutral.

7.3. Impacto en la industria y sostenibilidad

Se concluye que este trabajo de título no solo ofrece una visión detallada de las emisiones de CO₂ en la industria del hormigón premezclado, sino que también destaca la relevancia de adoptar medidas sostenibles en este sector. Los hallazgos presentados tienen el potencial de influir positivamente en diversos aspectos, incluyendo:

- **Formulación de Políticas Ambientales:** Los resultados de este documento pueden servir como base para la formulación de políticas ambientales más efectivas y específicas en el ámbito de la producción de hormigón premezclado. Las autoridades gubernamentales y los organismos reguladores pueden utilizar esta información para implementar normativas que promuevan prácticas más sostenibles en la industria.
- **Prácticas Empresariales Sostenibles:** Las empresas del sector, al tomar conocimiento de la importancia de reducir las emisiones de CO₂, pueden ajustar y mejorar sus prácticas empresariales. Este conocimiento puede impulsar la adopción de tecnologías más limpias, la optimización de procesos y la implementación de estrategias que reduzcan significativamente la huella de carbono.
- **Desarrollo de Innovaciones:** La concientización sobre las emisiones de CO₂ en la industria del hormigón premezclado puede estimular el desarrollo de innovaciones y tecnologías más sostenibles. Las empresas podrían invertir en investigación y desarrollo para encontrar métodos más eficientes y respetuosos con el medio ambiente.
- **Compromiso con la Sostenibilidad:** La información proporcionada en este trabajo de título puede fomentar un mayor compromiso de las empresas del sector con la sostenibilidad. Esto no solo beneficia a nivel ambiental, sino que también puede tener impactos positivos en la reputación de las empresas, atrayendo a clientes y socios comerciales comprometidos con prácticas responsables.

En conclusión, el estudio cumple con éxito su propósito, ofreciendo perspectivas valiosas y prácticas sostenibles para la industria del hormigón premezclado. Marca un camino hacia un futuro más sostenible en la construcción y destaca la necesidad de considerar activamente la gestión de emisiones para avanzar hacia prácticas más respetuosas con el medio ambiente.

Bibliografía

- [1] Chile, B. C. D., “Base de datos estadísticos del pib por actividad económica,” 2022, https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_CCNN/MN_CCNN76/CCNN_EP18_05_ratio/637801088750197615.
- [2] Watts, J., “Hormigón: el material más destructivo de la tierra,” 2019, <https://www.theguardian.com/cities/2019/feb/25/concrete-themost-destructive-material-on-earth>.
- [3] Comité Técnico ISO/TC 207, Gestión ambiental, S. S., “Iso 14067,” 2018.
- [4] ECPA, “Hormigón bajo en carbono: un desafío vital de la descarbonización,” 2021, <https://ecpamericas.org/es/newsletters/hormigon-bajo-en-carbono-un-desafio-vital-de-la-descarbonizacion/>.
- [5] Comité Técnico ISO, G. a., “Iso 14040 gestión ambiental — análisis del ciclo de vida — principios y marco de referencia,” 2006.
- [6] Comité Técnico ISO, G. a., “Iso 14044 gestión ambiental — evaluación del ciclo de vida — requisitos y directrices de referencia,” 2006.
- [7] ., J. F. A., “CÁlculo de la huella de carbono asociada a la elaboración de hormigones geopoliméricos en chile,” 2015.
- [8] HALPERN, D., “Medición y reducción de la huella de carbono de chilexpress .,” 2013.
- [9] ARAYA, C. I., “Desarrollo de una herramienta de cálculo de emisiones y evaluación de iniciativas para la descarbonización de la industria minera del cobre en chile,” 2022.
- [10] VILLAGRÁN, O. I., “Elaboración y aplicación de metodología de cálculo de emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero para la facultad de ciencias físicas y matemáticas de la universidad de chile, homologable para otras instituciones de educación superior,” 2020.
- [11] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, G. d. E., “Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización,” 2023.
- [12] Ministerio de medio ambiente, G. d. C., “Guía metodológica para la estimación de emisiones provenientes de fuentes puntuales,” 2020.
- [13] gas protocol, G., “Protocolo de gases de efecto invernadero,” 2005, <https://ghgprotocol.org/>.

Anexos

Anexo A. Entradas y Salidas Procesos Unitarios

A.1. Materias Primas

Tabla A.1: Entrada/Salida Datos Producción Cemento

Etapas Ciclo de Vida Hormigón: Materias Primas
Proceso Unitario: Producción Cemento

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emisión Alcance 1	Kg CO2 eq/ton	CO2 Producción Cemento	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Factor de Emisión Alcance 2	Kg CO2 eq/ton		
Cantidad Cemento	Kg/m3 Hormigón		

Tabla A.2: Entrada/Salida Datos Producción Agua

Etapas Ciclo de Vida Hormigón: Materias Primas
Proceso Unitario: Producción Agua*

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emisión	Kg CO2 eq/m3	CO2 Producción Cristalizante	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Cantidad Agua	Kg/m3 Hormigón		

Tabla A.3: Entrada/Salida Datos Producción Áridos

Etapas Ciclo de Vida Hormigón: Materias Primas
 Proceso Unitario: Producción Gravilla 13 mm

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emisión Alcance 1	Kg CO2 eq/ton	CO2 Producción Gravilla 13 mm	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Factor de Emisión Alcance 2	Kg CO2 eq/ton		
Cantidad Gravilla 13 mm	Kg/m3 Hormigón		

Proceso Unitario: Producción Gravilla 20 mm

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emisión Alcance 1	Kg CO2 eq/ton	CO2 Producción Gravilla 20 mm	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Factor de Emisión Alcance 2	Kg CO2 eq/ton		
Cantidad Gravilla 20 mm	Kg/m3 Hormigón		

Proceso Unitario: Producción Grava 40 mm

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emisión Alcance 1	Kg CO2 eq/ton	CO2 Producción Grava 40 mm	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Factor de Emisión Alcance 2	Kg CO2 eq/ton		
Cantidad Grava 40 mm	Kg/m3 Hormigón		

Proceso Unitario: Producción Arena

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emisión Alcance 1	Kg CO2 eq/ton	CO2 Producción Arena	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Factor de Emisión Alcance 2	Kg CO2 eq/ton		
Cantidad Arena	Kg/m3 Hormigón		

Proceso Unitario: Producción Arena Fina

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emisión Alcance 1	Kg CO2 eq/ton	CO2 Producción Arena Fina	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Factor de Emisión Alcance 2	Kg CO2 eq/ton		
Cantidad Arena Fina	Kg/m3 Hormigón		

Tabla A.4: Entrada/Salida Datos Producción Aditivos

Etapas Ciclo de Vida Hormigón: Materias Primas
 Proceso Unitario: Producción Cristalizante

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emisión	Kg CO2 eq/ton	CO2 Producción Cristalizante	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Cantidad Cristalizante	Kg/m3 Hormigón		

Proceso Unitario: Producción Impermeabilizante

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emisión	Kg CO2 eq/ton	CO2 Producción Impermeabilizante	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Cantidad Impermeabilizante	Kg/m3 Hormigón		

Tabla A.5: Entrada/Salida Datos Producción Aditivos

Etapas Ciclo de Vida Hormigón: Materias Primas
 Proceso Unitario: Producción Aditivo Tipo F

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision	Kg CO2 eq/ton	CO2 Producción Aditivo Tipo F	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Cantidad Aditivo Tipo F	Kg/m3 Hormigón		

Proceso Unitario: Producción Aditivo Tipo D

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision	Kg CO2 eq/ton	CO2 Producción Aditivo Tipo D	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Cantidad Aditivo Tipo D	Kg/m3 Hormigón		

Proceso Unitario: Producción Aditivo Tipo B

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision	Kg CO2 eq/ton	CO2 Producción Aditivo Tipo B	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Cantidad Aditivo Tipo B	Kg/m3 Hormigón		

Proceso Unitario: Producción Adición

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision	Kg CO2 eq/ton	CO2 Producción Adición	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Cantidad Adición	Kg/m3 Hormigón		

Proceso Unitario: Producción Fibra Plástica

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision	Kg CO2 eq/ton	CO2 Producción Fibra Plástica	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Cantidad Fibra Plástica	Kg/m3 Hormigón		

Proceso Unitario: Producción Aditivo Otro Tipo

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision	Kg CO2 eq/ton	CO2 Producción Aditivo Otro Tipo	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Cantidad Aditivo Otro Tipo	Kg/m3 Hormigón		

Proceso Unitario: Producción Fibra Metálica

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision	Kg CO2 eq/ton	CO2 Producción Fibra Metálica	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Cantidad Fibra Metálica	Kg/m3 Hormigón		

Proceso Unitario: Producción Pigmento

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision	Kg CO2 eq/ton	CO2 Producción Pigmento	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Cantidad Pigmento	Kg/m3 Hormigón		

A.2. Transporte Materias Primas

Tabla A.6: Entrada/Salida Datos Transporte Cemento

Etapas Ciclo de Vida Hormigón: Transporte Materias Primas
 Proceso Unitario: Transporte Cemento

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision Camión Diesel	Kg CO2 eq/L	CO2 Transporte Cemento	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Factor de Consumo Camión Diesel	L/Km		
Distancia Proveedor a Planta	Km		
Capacidad Carga Camión Diesel	Kg		
Cantidad Cemento	Kg/m3 hormigón		

Tabla A.7: Entrada/Salida Datos Transporte Áridos

Etapas Ciclo de Vida Hormigón: Transporte Materias Primas
 Proceso Unitario: Transporte Gravilla 13 mm

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision Camión Diesel	Kg CO2 eq/L	CO2 Transporte Gravilla 13 mm	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Factor de Consumo Camión Diesel	L/Km		
Distancia Proveedor a Planta	Km		
Capacidad Carga Camión Diesel	Kg		
Cantidad Gravilla 13 mm	Kg/m3 hormigón		

Proceso Unitario: Transporte Gravilla 20 mm

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision Camión Diesel	Kg CO2 eq/L	CO2 Transporte Gravilla 20 mm	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Factor de Consumo Camión Diesel	L/Km		
Distancia Proveedor a Planta	Km		
Capacidad Carga Camión Diesel	Kg		
Cantidad Gravilla 20 mm	Kg/m3 hormigón		

Proceso Unitario: Transporte Grava 40 mm

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision Camión Diesel	Kg CO2 eq/L	CO2 Transporte Grava 40 mm	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Factor de Consumo Camión Diesel	L/Km		
Distancia Proveedor a Planta	Km		
Capacidad Carga Camión Diesel	Kg		
Cantidad Grava 40 mm	Kg/m3 hormigón		

Proceso Unitario: Transporte Arena

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision Camión Diesel	Kg CO2 eq/L	CO2 Transporte Arena	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Factor de Consumo Camión Diesel	L/Km		
Distancia Proveedor a Planta	Km		
Capacidad Carga Camión Diesel	Kg		
Cantidad Arena	Kg/m3 hormigón		

Proceso Unitario: Transporte Arena Fina

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision Camión Diesel	Kg CO2 eq/L	CO2 Transporte Arena Fina	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Factor de Consumo Camión Diesel	L/Km		
Distancia Proveedor a Planta	Km		
Capacidad Carga Camión Diesel	Kg		
Cantidad Arena Fina	Kg/m3 hormigón		

Tabla A.8: Entrada/Salida Datos Transporte Aditivos

Etapas Ciclo de Vida Hormigón: Transporte Materias Primas
 Proceso Unitario: Transporte Cristalizante

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision Camión Diesel	Kg CO2 eq/L	CO2 Transporte Cristalizante	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Factor de Consumo Camión Diesel	L/Km		
Distancia Proveedor a Planta	Km		
Capacidad Carga Camión Diesel	Kg		
Cantidad Cristalizante	Kg/m3 hormigón		

Proceso Unitario: Transporte Impermeabilizante

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision Camión Diesel	Kg CO2 eq/L	CO2 Transporte Impermeabilizante	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Factor de Consumo Camión Diesel	L/Km		
Distancia Proveedor a Planta	Km		
Capacidad Carga Camión Diesel	Kg		
Cantidad Impermeabilizante	Kg/m3 hormigón		

Proceso Unitario: Transporte Aditivo Tipo F

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision Camión Diesel	Kg CO2 eq/L	CO2 Transporte Aditivo Tipo F	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Factor de Consumo Camión Diesel	L/Km		
Distancia Proveedor a Planta	Km		
Capacidad Carga Camión Diesel	Kg		
Cantidad Aditivo Tipo F	Kg/m3 hormigón		

Proceso Unitario: Transporte Aditivo Tipo D

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision Camión Diesel	Kg CO2 eq/L	CO2 Transporte Aditivo Tipo D	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Factor de Consumo Camión Diesel	L/Km		
Distancia Proveedor a Planta	Km		
Capacidad Carga Camión Diesel	Kg		
Cantidad Aditivo Tipo D	Kg/m3 hormigón		

Proceso Unitario: Transporte Aditivo Tipo B

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision Camión Diesel	Kg CO2 eq/L	CO2 Transporte Aditivo Tipo B	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Factor de Consumo Camión Diesel	L/Km		
Distancia Proveedor a Planta	Km		
Capacidad Carga Camión Diesel	Kg		
Cantidad Aditivo Tipo B	Kg/m3 hormigón		

Tabla A.9: Entrada/Salida Datos Transporte Aditivos

Etapas Ciclo de Vida Hormigón: Transporte Materias Primas
 Proceso Unitario: Transporte Adición

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision Camión Diesel	Kg CO2 eq/L	CO2 Transporte Adición	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Factor de Consumo Camión Diesel	L/Km		
Distancia Proveedor a Planta	Km		
Capacidad Carga Camión Diesel	Kg		
Cantidad Adición	Kg/m3 hormigón		

Proceso Unitario: Transporte Fibra Plástica

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision Camión Diesel	Kg CO2 eq/L	CO2 Transporte Fibra Plástica	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Factor de Consumo Camión Diesel	L/Km		
Distancia Proveedor a Planta	Km		
Capacidad Carga Camión Diesel	Kg		
Cantidad Fibra Plástica	Kg/m3 hormigón		

Proceso Unitario: Transporte Aditivo Otro Tipo

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision Camión Diesel	Kg CO2 eq/L	CO2 Transporte Aditivo Otro Tipo	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Factor de Consumo Camión Diesel	L/Km		
Distancia Proveedor a Planta	Km		
Capacidad Carga Camión Diesel	Kg		
Cantidad Aditivo Otro Tipo	Kg/m3 hormigón		

Proceso Unitario: Transporte Fibra Metálica

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision Camión Diesel	Kg CO2 eq/L	CO2 Transporte Fibra Metálica	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Factor de Consumo Camión Diesel	L/Km		
Distancia Proveedor a Planta	Km		
Capacidad Carga Camión Diesel	Kg		
Cantidad Fibra Metálica	Kg/m3 hormigón		

Proceso Unitario: Transporte Pigmento

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision Camión Diesel	Kg CO2 eq/L	CO2 Transporte Pigmento	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Factor de Consumo Camión Diesel	L/Km		
Distancia Proveedor a Planta	Km		
Capacidad Carga Camión Diesel	Kg		
Cantidad Pigmento	Kg/m3 hormigón		

A.3. Consumos

Tabla A.10: Entrada/Salida Datos Consumo Electricidad

Etapas Ciclo de Vida Hormigón: Consumo Planta Premezclado
 Proceso Unitario: Consumo Electrico

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision Electrico	Kg CO2 eq/MWh	CO2 Electricidad	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Consumo Electrico por Mes	KWh		
Cantidad de Hormigon Mes	m3 hormigón		

Tabla A.11: Entrada/Salida Datos Consumo Diesel Cargador Frontal

Etapas Ciclo de Vida Hormigón: Consumo Planta Premezclado
 Proceso Unitario: Consumo Diesel Cargador Frontal

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision Cargador Frontal	Kg CO2 eq/L	CO2 Diesel Cargador Frontal	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Consumo Diesel por mes	L		
Cantidad de Hormigon Mes	m3 hormigón		

A.4. Transporte Hormigón a Obra

Tabla A.12: Entrada/Salida Transporte Mixer

Etapas Ciclo de Vida Hormigón: Transporte Hormigón a Obra
 Proceso Unitario: Transporte Mixer

Entrada		Salida	
Dato	Unidad	Dato	Unidad
Factor de Emision Mixer	Kg CO2 eq/L	CO2 Transporte Mixer	Kg CO2 eq/m3 hormigón
Consumo Diesel Mixer por Mes	L		
Tiempo de Ciclo por Mes	Min		
Tiempo Ciclo Mixer	Min		
Cantidad Hormigon Mixer	m3 hormigón		