

ANEXO IV: ESTUDIO ESPECÍFICO DE CAMBIO CLIMÁTICO Y HUELLA DE CARBONO

**DOCUMENTO AMBIENTAL PROYECTO DE
MODIFICACIÓN L/ 220KV SIMPLE CIRCUITO BESSONS-
LLUBÍ I ENTRE APOYO T44 Y NUEVO PÓRTICO DE
LLEGADA A SE BESSON. ISLAS BALEARES.**

Fecha: marzo 2023
CI-051796-001-002 Ed. 1



ÍNDICE:

1.	CONTRIBUCIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO	3
2.	METODOLOGÍA DE LA ESTIMACION DE EMISIONES GEI	7
3.	MODELO DE CÁLCULO TEÓRICO	11
3.1.	SUMINISTRO DE MATERIALES Y ELEMENTOS.....	14
3.2.	CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA	17
3.3.	EXPLOTACIÓN DE LA LÍNEA	36
3.4.	DESMANTELAMIENTO DE LA LÍNEA	42
4.	RESULTADO DEL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO	44
5.	ANEXO	45

ÍNDICE DE TABLAS:

<i>Tabla 1. Estimación de emisiones por tipo de procesos y fases del proyecto.....</i>	44
<i>Tabla 2. Datos Producción y suministro de materiales.....</i>	46
<i>Tabla 3. Datos Construcción</i>	48

ÍNDICE DE FIGURAS:

<i>Figura 1. Contribución de distintos sectores a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Fuente: Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de España. Años 1990-2017 (MITECO, 2018).....</i>	3
<i>Figura 2. Esquema simplificado de la comparativa de los efectos ambientales potenciales de las distintas acciones asociadas a la planificación eléctrica. Fuente: Informe de sostenibilidad ambiental de la planificación del sector eléctrico 2015-2020. (Minetur, 2015)</i>	4
<i>Figura 3. Ciclo de vida de subestación eléctrica. Fuente: Manual de usuario modelo de cálculo teórico de la huella de carbono de una línea eléctrica aérea. REE, 2016</i>	8

1. CONTRIBUCIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático es considerado actualmente desde instancias internacionales como uno de los mayores problemas de alcance global, tanto por sus causas como por sus efectos, cuya amenaza ha de ser combatida con carácter urgente desde las políticas públicas y el sector privado y requiere de una respuesta multilateral basada en la colaboración de todos los países.

El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) 2021-2030 constituye el instrumento de planificación básico para promover la acción coordinada frente a los efectos del cambio climático en España. Tiene como principal objetivo evitar o reducir los daños presentes y futuros derivados del cambio climático y construir una economía y una sociedad más resilientes.

En España sector energético es responsable de la mayor parte de las emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero (76%). Dentro de este sector, la generación de electricidad aporta algo más del 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero totales.

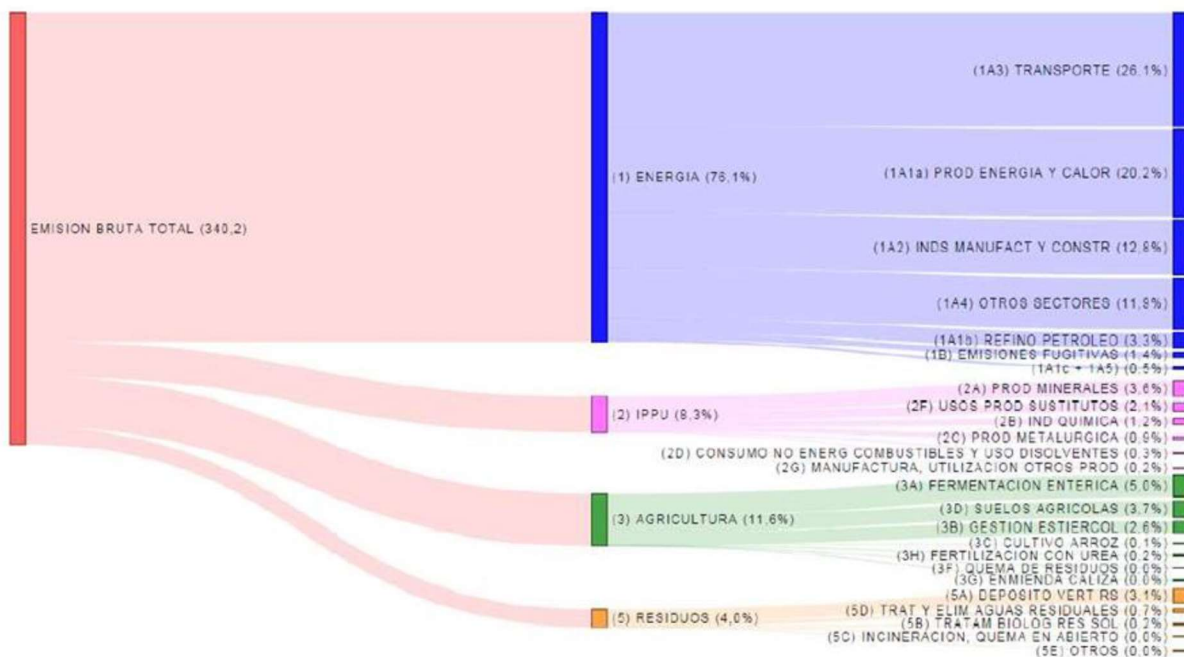


Figura 1. Contribución de distintos sectores a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Fuente: Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de España. Años 1990-2017 (MITECO, 2018)

Las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (en adelante, GEI) del sector eléctrico se deben, fundamentalmente, a la quema de combustibles fósiles en las centrales térmicas para la generación de energía (planificación indicativa). Las centrales nucleares y aquellas que utilizan fuentes de energía renovables no emiten GEI durante su funcionamiento, y aunque generan emisiones durante las

operaciones de construcción, mantenimiento, desmantelamiento y gestión de residuos, tienen efectos muy reducidos sobre el cambio climático global.

Del cuadro siguiente se concluye que el desarrollo de la red de transporte de electricidad (o planificación vinculante en el contexto de la planificación del sector eléctrico, en cuyo marco se desarrolla la construcción del proyecto objeto del presente estudio de impacto ambiental) no presenta una incidencia significativa sobre las emisiones GEI, a excepción de la debida a las subestaciones eléctricas por fugas de SF6, si bien ésta es de baja entidad.

Por el contrario, son esperables sus efectos ambientales positivos respecto a la situación actual, derivados de la viabilidad que proporciona una mejora de la infraestructura eléctrica vinculada con el desarrollo de las energías renovables que introduce en el sistema el desarrollo de la planificación.

PRINCIPALES EFECTOS POTENCIALES DIRECTOS		PLANIFICACIÓN INDICATIVA			PLANIFICACIÓN VINCULANTE		
		Uso de conductores bobina	Uso de energía nuclear	Uso de fuentes de energía renovables	Nuevas subestaciones	Nuevas líneas cables	Cables subterráneos
GLOBALES / REGIONALES	Emissiones de GEI*	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■
	Emisiones de GAEPO**	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■
	Agujamiento de recursos no renovables	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■
	Proliferación de residuos nucleares y radioactivos	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■
LOCALES	Acceso a ENE*	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■
	Alcance a Red Natura 2000 y hábitats	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■
	Alteración de la estructura logística	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■
	Pérdida biodiversidad	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■
	Alteraciones paisajísticas	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■
	Accesos turísticos	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■
	Efectos sobre la población	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■

* GEI: Gases de efecto Invernadero

** GAEPO: Gases acidificantes, eutrofizantes y precursores de ozono troposférico

Figura 2. Esquema simplificado de la comparativa de los efectos ambientales potenciales de las distintas acciones asociadas a la planificación eléctrica. Fuente: Informe de sostenibilidad ambiental de la planificación del sector eléctrico 2015-2020. (Minetur, 2015)

Los gases que contribuyen al cambio climático son aquellos gases constituyentes de la atmósfera, tanto de origen natural como antropogénico, que tienden a retener parte de la energía en forma de calor que irradia la superficie de la Tierra. Esto provoca el calentamiento de la parte baja de la atmósfera, generando el denominado "efecto invernadero". El vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (NO₂), metano (CH₄) y ozono (O₃) son los principales GEI presentes en la atmósfera, a los que se suman otros de origen humano, tales como los hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

La Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (1992) describe el cambio climático como un *"cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables"*. Esta variabilidad en el clima puede desembocar en importantes impactos sobre el medio físico y natural, siendo los más notables el aumento de las temperaturas y la subida del nivel del mar.

Según el informe *"Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático"*, elaborado y publicado por el Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, los principales efectos ambientales del cambio climático son:

- Alteración de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas terrestres
- Alteración y desaparición de ecosistemas acuáticos continentales Afección sobre ecosistemas marinos y el sector pesquero
- Pérdida de biodiversidad florística y faunística Merma de recursos hídricos
- Afección sobre recursos edáficos (erosión, desertificación, pérdida fertilidad)
- Pérdidas en los sectores forestal y agrario (plagas y enfermedades)
- Subida del nivel del mar
- Riesgos naturales de origen climático (crecidas fluviales, inestabilidad de

Según el Quinto Informe de Seguimiento del PNACC (2021), las Líneas de actuación del Plan Nacional de Adaptación en el sector industrial y energético:

- Cartografía de las potencialidades climáticas (positivas y negativas) de las regiones de España para la producción de energías renovables bajo distintos escenarios de cambio climático.
- Evaluación de los efectos de los escenarios hidrológicos proyectados para el siglo XXI sobre los sistemas de producción energética dependientes de recursos hídricos.
- Evaluación de la incidencia de las condiciones de temperatura proyectadas por los escenarios climáticos para el siglo XXI sobre los sistemas de producción energética dependientes de refrigeración por aire.
- Evaluación del efecto del cambio climático sobre la demanda de energía en España, a nivel regional y por sectores económicos.

Como se ha indicado anteriormente, las emisiones de GEI procedentes del sector eléctrico se atribuyen fundamentalmente a la generación de energía a partir de combustibles fósiles, por lo que su estimación (que se encuentra fuera del alcance de este análisis) depende directamente de la proporción en que participan las distintas tecnologías en la generación eléctrica nacional.

Por lo que respecta a las instalaciones de transporte de electricidad, las emisiones correspondientes a sus fases de construcción y funcionamiento son comparativamente muy inferiores. Así, las emisiones en fase de construcción se deben a la fabricación y transporte de los materiales necesarios, mientras que, en fase de funcionamiento de las instalaciones, las únicas significativas son las derivadas del uso del gas SF₆ (hexafluoruro de azufre) en las subestaciones. Dicho gas tiene unas excelentes propiedades para su uso en la extinción del arco eléctrico y como material aislante. Está presente principalmente en los interruptores y en las subestaciones blindadas o GIS (subestaciones aisladas en SF₆).

La correcta valoración del efecto de contribución al cambio climático por el proyecto que nos ocupa ha de tener un enfoque necesariamente global que considere las distintas fases de su ciclo de vida (calculando las emisiones en cada fase).

2. METODOLOGÍA DE LA ESTIMACION DE EMISIONES GEI

El cálculo de la "huella de carbono" es una herramienta de la que disponen las organizaciones para poder valorar el impacto total que su actividad tiene sobre el clima, en referencia a las emisiones de GEI. En este sentido, REE ha avanzado en la definición de instrumentos para la lucha contra el cambio climático en distintos ámbitos de su actividad y con distintos alcances.

- *"Adoptar un claro compromiso en la lucha contra el cambio climático, apostando por la eficiencia energética y la movilidad sostenible como pilares fundamentales".*
- *"Contribuir a un modelo energético sostenible, con mayor presencia de energías generadas por tecnologías limpias y eficiencia en el consumo eléctrico".*

REE se ha dotado de herramientas de cálculo propias que permiten calcular la huella de carbono de sus actuaciones y que se centran en la estimación de las emisiones de GEI de sus infraestructuras a lo largo de su ciclo de vida.

Se incluyen en su cálculo la cantidad total de estas emisiones causadas de manera directa o indirecta por:

- Un producto/servicio a lo largo del ciclo de vida del mismo (apoyado en la metodología de análisis del ciclo de vida), como es el caso que nos ocupa.
- Una organización durante un periodo de tiempo dado (generalmente un año). Un evento o un individuo.

El análisis de ciclo de vida (ACV) de un producto considera todas las etapas de la vida del mismo, desde la extracción y adquisición de la materia prima hasta su disposición final, pasando por la generación de energía, producción de materiales, transporte, fabricación, utilización y tratamiento al final de su vida útil.

Las etapas y actividades consideradas en el cálculo de la Huella de Carbono durante el ciclo de vida de una línea eléctrica aérea se esquematizan en la siguiente figura:

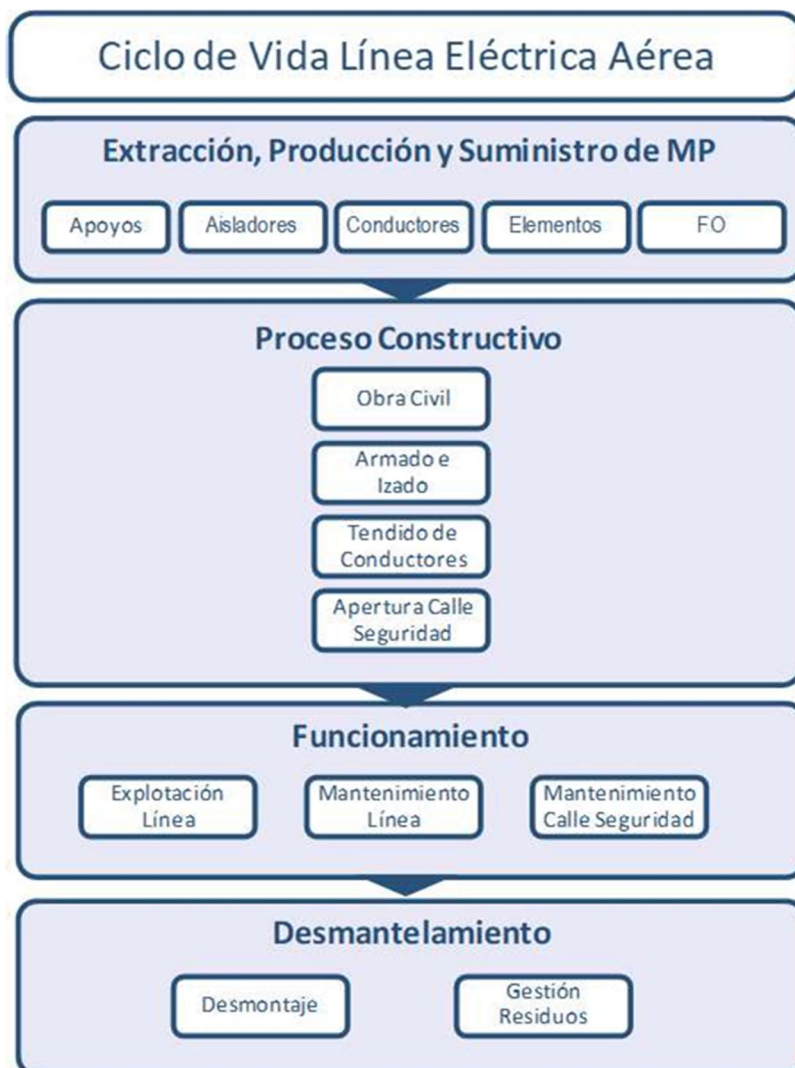


Figura 3. Ciclo de vida de subestación eléctrica. Fuente: Manual de usuario modelo de cálculo teórico de la huella de carbono de una línea eléctrica aérea. REE, 2016

La metodología adoptada por REE para el análisis de ciclo de vida de una línea eléctrica aérea está basada en los criterios establecidos en la norma ISO 14044 (Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices. Diciembre 2006), considerando las siguientes etapas, procesos y actividades unitarios:

- **Suministro de elementos y materiales:** esta etapa contempla los procesos de fabricación y suministro de los apoyos, conductores, anclajes y otros elementos de la línea eléctrica, como los herrajes (cadenas, grapas, aisladores...), o la fibra óptica y los dispositivos salvapájaros.

- **Construcción de la línea aérea:** incluye el transporte de los materiales y elementos a obra, los movimientos de maquinaria para la apertura de accesos y obra civil, el armado e izado, así como el tendido y apertura de calles de seguridad. En esta etapa también se contemplan los desplazamientos de personal para la dirección y control de los distintos aspectos de la obra, así como la gestión de los residuos generados.
- **Explotación:** en esta etapa se incluyen los procesos y actividades relativos a la inspección y mantenimiento de la línea, incluyendo el mantenimiento de las calles de seguridad. Los aspectos relativos al transporte de electricidad (balance eléctrico) no se han considerado en esta fase del proyecto.
- **Desmantelamiento:** en esta etapa las actividades se corresponden con las de un proceso constructivo inverso, utilizándose el mismo tipo de maquinaria, y considerando la gestión de los residuos generados en el desmantelamiento.

La metodología general para el cálculo de emisiones GEI está basada en la descomposición de cada etapa del ciclo de vida en procesos y actividades individuales. Para cada actividad se calcularán las emisiones asociadas a cada input a partir de los datos de actividad y los factores de emisión (FE):

$$\text{GEI}_{\text{actividad}} = \sum \text{Datos Actividad}_{\text{input}} \times \text{FE}_{\text{Input}}$$

El modelo de cálculo teórico de la huella de carbono desarrollado por REE aplica esta metodología para la estimación de la huella de carbono teórica de una línea eléctrica aérea, utilizando los datos del proyecto. Esta huella se calcula por tanto por agregación de las emisiones GEI de todas las actividades. En relación con este cálculo hay que tener en cuenta lo siguiente:

- En cada actividad individual se consideran todos los inputs relevantes en la generación directa o indirecta de emisiones GEI, tales como el consumo de combustibles, electricidad, calor, la incorporación de materiales y productos, el transporte, los desplazamientos de personal, o la creación o remoción de sumideros GEI. Los datos de actividad para cada input del modelo se obtienen del proyecto de ejecución de la línea eléctrica y aplicando estándares típicos de rendimiento basados en valores históricos de proyectos anteriores de REE.
- Los factores de emisión del modelo teórico para cada input se obtienen a partir de fuentes de referencia, como las bases de datos Ecoinvent, y organismos de referencia como IPCC y GHG Protocol, identificando en cada caso la trazabilidad a la fuente.

- Para evitar una complejidad excesiva del modelo de cálculo, se establece un valor de corte para considerar únicamente los inputs que en cada actividad contribuyen de forma relevante a las emisiones GEI, hasta alcanzar el 98% de las mismas.
- En fase de construcción de las instalaciones, el principal residuo generado por el proyecto será la biomasa vegetal producida en los desbroces de vegetación necesarios, a la que se asocia un balance neto positivo de emisiones de GEI. Otros residuos generados en esta fase pueden ser reciclados (chatarra y restos de cables eléctricos) o su tratamiento (depósito en vertedero) prácticamente sólo genera emisiones durante su transporte.
- En fase de desmantelamiento, el acero y aluminio procedente del desmontaje se recicla, por lo que se considera que su contribución neta al balance de emisiones de GEI es negativa (se evitan las emisiones asociadas a la producción de sus materias primas).

3. MODELO DE CÁLCULO TEÓRICO

El Modelo de Cálculo Teórico de Emisiones GEI se desarrolla para cada etapa del ciclo de vida de la línea aérea, siguiendo el siguiente esquema:

- Despliegue de la estructura de actividades.
- Identificación de inputs de cada actividad.
- Establecimiento de Datos de Actividad y su fuente.
- Establecimiento de Factores Emisión (FE) para cada input.

El despliegue en detalle de la estructura de etapas, procesos y actividades del ciclo de vida de una línea eléctrica aérea se ha realizado en colaboración con técnicos de RED de las áreas de construcción, compras, e ingeniería.

Los Datos de Actividad para cada input del Modelo Teórico se obtienen del proyecto de ejecución de la línea, aplicando estándares típicos de rendimiento basados en valores históricos de proyectos anteriores de REE..

Los Factores de Emisión del Modelo Teórico para cada input se han obtenido a partir de fuentes de referencia, como las bases de datos Ecoinvent, u organismos de referencia como IPCC, o GHG Protocol, identificando la trazabilidad a la fuente.

De esta forma se ha establecido un catálogo de FE únicos para cada input, de manera que las emisiones GEI del ciclo de vida de distintas líneas puedan compararse a nivel de proyecto.

MODELO TEÓRICO		
1	Etapa:	Suministro de Materiales y Elementos
1.1	Proceso:	Producción de hormigón para cimentaciones
	1.1.1	Producción de hormigón para cimentaciones
1.2	Proceso:	Producción de apoyos y anclajes
	1.2.1	Producción de apoyos
	1.2.2	Producción de anclajes
1.3	Proceso:	Producción de cables
	1.3.1	Producción de conductores
	1.3.2	Producción de cables de tierra
	1.3.3	Producción de cables de fibra óptica
1.4	Proceso:	Producción y Suministro de elementos y herrajes

MODELO TEÓRICO		
	1.4.1	Suministro de elementos y herrajes
2	Etapa:	Construcción
2.1	Proceso:	Transporte materiales y elementos a obra
	2.1.1	Transporte apoyos
	2.1.2	Transporte anclajes
	2.1.3	Transporte conductor
	2.1.4	Transporte CT
	2.1.5	Transporte FO
	2.1.6	Transporte herrajes
	2.1.7	Transporte hormigón
2.2	Proceso:	Obra Civil: Cimentación y Apertura de accesos
	2.2.1	Excavación cimientos
	2.2.2	Uso de vehículos todoterreno para movimiento de personal en obra
	2.2.3	Uso de excavadora para apertura de accesos
	2.2.4	Uso de camión grúa
	2.2.5	Desbroce y tala
	2.2.6	Remoción de arbolado
	2.2.7	Excavación para zanjas de tomas de tierras:
2.3	Proceso:	Armado e Izado
	2.3.1	Uso de vehículos todoterreno para movimiento de personal en obra
	2.3.2	Uso de camión grúa
	2.3.3	Uso de grúa / pluma para armado e izado
2.4	Proceso:	Tendido y Apertura de Calles
	2.4.1	Uso de vehículos todoterreno para movimiento de personal en obra
	2.4.2	Uso de camión grúa
	2.4.3	Uso de cabrestante / máquina de tiro-freno
	2.4.5	Desbroce y tala
	2.4.6	Remoción de arbolado
2.5	Proceso:	Servicios
	2.5.1	Uso de vehículos todoterreno para movimiento de personal para servicios en obra
	2.5.2	Traslado de personal REE
2.6	Proceso:	Gestión de residuos
	2.6.1	Gestión de residuos
3	Etapa:	Explotación de la línea
3.1	Proceso:	Inspecciones periódicas
	3.1.1	Intensiva aérea

MODELO TEÓRICO	
3.1.2	Visual y termográfica
3.1.3	Normal aérea
3.1.4	Intensiva a pie
3.1.5	Normal a pie
3.2	Proceso: Mantenimiento de calles
3.2.1	Uso de vehículos todoterreno para movimiento de personal en obra
3.2.2	Desbroce-Tala de calles
3.2.3	Remoción de arbolado
3.3	Proceso: Mantenimiento preventivo
3.3.1	Reposición periódica
4	Etapa: Desmantelamiento
4.1	Proceso: Desmontaje
4.1.1	Uso de vehículos todoterreno para movimiento de personal en el desmontaje
4.1.2	Uso de camión grúa
4.1.3	Uso de excavadora
4.2	Proceso: Gestión de residuos
4.2.1	Gestión de residuos

Se describe a continuación en detalle las etapas identificadas.

DEFINICIONES

- SP: Según Proyecto
- SR: Según Registro
- EC: Estimado por el Departamento de Construcción
- EM: Estimado por el Departamento de Mantenimiento de Líneas
- Cat: Catálogo de elementos constructivos

NOTA

Este modelo de cálculo no contempla los trabajos con helicóptero al no planificarse en la etapa de proyecto.

3.1. SUMINISTRO DE MATERIALES Y ELEMENTOS

3.1.1. Producción de hormigón para cimentaciones

Cálculo Teórico:

La producción del hormigón para las cimentaciones de los apoyos se realiza en plantas próximas a la obra. Las emisiones GEI derivadas de la producción de hormigón se determinarán aplicando un Factor de Emisión calculado mediante la aplicación SimaPro para el tipo de hormigón utilizado.

$$GEI_{\text{Hormigón}} [\text{kgCO}_2\text{eq}] = \text{Hormigón}[\text{m}^3] \times FE_{\text{Hormigón}} [\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{m}^3]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Hormigón[m ³]	Volumen total hormigonado.	INLI_RecuentoCubicacion CimentacionesPorApoyo	SP
FE _{Hormigón} [kgCO ₂ eq/m ³]	Producción m ³ hormigón en masa 200kg/m ³ cemento, en planta	Cálculo SimaPro Concrete normal (200 kg/m ³ cemento)	179

3.1.2. Producción de apoyos

Cálculo Teórico:

Las emisiones GEI derivadas de la producción de los elementos constituyentes de los apoyos se determinarán aplicando un Factor de Emisión calculado mediante la aplicación SimaPro para el tipo de acero utilizado.

$$GEI_{\text{Apoyos}} [\text{kgCO}_2\text{eq}] = \text{Acero}_{\text{Apoyos}}[\text{kg}] \times FE_{\text{Acero}} [\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{kg}]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Acero _{Apoyos} [kg]	Masa total de los apoyos	INLI_RecuentoPesosTorresPorTipoAltura	SP
FE _{Acero} [kgCO ₂ eq/kg]	Producción kg elemento de acero galvanizado, en planta	Cálculo SimaPro	3,59

3.1.3. Producción de anclajes

Cálculo Teórico:

Las emisiones GEI derivadas de la producción de los anclajes se determinarán aplicando un Factor de Emisión calculado mediante la aplicación SimaPro para el tipo de acero utilizado.

$$GEI_{Anclajes} [kgCO_2eq] = Acero_{Anclajes}[kg] \times FE_{Acero} [kgCO_2eq/kg]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Acero _{Anclajes} [kg]	Masa total de los anclajes	INLI_RecuentoAnclajes	SP
FE _{Acero} [kgCO ₂ eq/kg]	Producción kg elemento de acero galvanizado, en planta	Cálculo SimaPro	3,59

3.1.4. Producción de cables

Cálculo Teórico:

Las emisiones GEI derivadas de la producción de los conductores se determinarán aplicando un Factor de Emisión calculado mediante la aplicación SimaPro para el tipo de conductor utilizado.

$$GEI_{Conductores} [kgCO_2eq] = \sum_{Conductores} Conductor[kg] \times FE_{Conductor} [kgCO_2eq/kg]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Conductor[kg]	Masa total del tipo de conductor	INLI_RecuentoTotalPorApoyo	SP
FE _{HAWK} [kgCO ₂ eq/kg]	Producción kg HAWK	Cálculo SimaPro	6,93
FE _{GULL} [kgCO ₂ eq/kg]	Producción kg HAWK	Cálculo SimaPro	7,31
FE _{CONDOR} [kgCO ₂ eq/kg]	Producción kg HAWK	Cálculo SimaPro	7,39
FE _{CARDINAL} [kgCO ₂ eq/kg]	Producción kg HAWK	Cálculo SimaPro	7,43
FE _{LAPWING} [kgCO ₂ eq/kg]	Producción kg HAWK	Cálculo SimaPro	8,24
FE _{RAIL} [kgCO ₂ eq/kg]	Producción kg HAWK	Cálculo SimaPro	8,26

3.1.5. Producción de cables de Tierra

Cálculo Teórico:

Las emisiones GEI derivadas de la producción de los cables de tierra se determinarán aplicando un Factor de Emisión calculado mediante la aplicación SimaPro para el tipo de cable utilizado.

$$GEI_{CT} [kgCO_2eq] = Cable_{CT}[m] \times FE_{CT} [kgCO_2eq/m]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Cable _{CT} [m]	Longitud total del cable de tierra	INLI_RecuentoTotalPorApoyo	SP
FE _{CT} [kgCO ₂ eq/m]	Producción m cable de tierra	Cálculo SimaPro	1,40

3.1.6. Producción de Cables de FO:

Cálculo Teórico:

Las emisiones GEI derivadas de la producción de los cables de fibra óptica se determinarán aplicando un Factor de Emisión calculado mediante la aplicación SimaPro para el tipo de cable utilizado.

$$GEI_{FO} [kgCO_2eq] = Cable_{FO}[m] \times FE_{FO} [kgCO_2eq/m]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Cable _{FO} [m]	Longitud Total cable FO(*)	INLI_RecuentoTotalPorApoyo	SP
FE _{FO} [kgCO ₂ eq/m]	Producción m cable OPGW 53G8z	Cálculo SimaPro	7,70

* Longitud Total FO = Longitud Línea Eléctrica +

- Líneas > 10 km: Cada 4.000 m de longitud de la línea se incrementan 120 m de bajar y subir hasta la caja.
- Líneas < 10 km: Tienen 3 cajas (120 m x 3 = 360 m) así que la longitud se incrementa en 360 m.

3.1.7. Producción y suministro de elementos y herrajes

Cálculo Teórico:

Las emisiones GEI derivadas de la producción y el suministro al almacén de Mudarra de los elementos y herrajes se determinarán aplicando un Factor de Emisión calculado mediante la aplicación SimaPro para cada unidad del tipo de elemento considerado. Este factor incluye las emisiones relativas al transporte desde el productor a la Mudarra, a 984 km de distancia.

$$GEI_{Elementos} [kgCO_2eq] = \sum_{Elementos} Elemento [Ud] \times FE_{Elemento} [kgCO_2eq/Ud]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Elemento[Ud]	Unidades totales suministradas del tipo de elemento (*)	INLI_RecuentoTotalPorApoyo	SP
FE _{Elemento} [kgCO ₂ eq/kg]	Emisiones correspondientes a la producción y suministro de cada unidad de elemento	Cálculo SimaPro	Tabla

* La longitud de anillos de tierra se corresponde con la calculada para las zanjas en el caso más exigente (doble anillo). Cada apoyo requiere 8 grapas para las tierras.

3.2. CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA

3.2.1. Transporte de materiales y elementos a obra

Los materiales son transportados hasta el almacén o campa de obra. El movimiento de materiales al punto de montaje se incluye en los procesos posteriores de la etapa de construcción

3.2.1.1. Transporte de los apoyos

Cálculo Teórico:

El transporte se realiza por el contratista desde los fabricantes directamente al almacén de obra. Las emisiones GEI se calcularán en base al número de camiones necesarios para llevar la carga total de apoyos a dicho almacén, suponiendo una carga por camión de 20t. La distancia del transporte se tomará como la distancia media entre los fabricantes y la obra. El factor de emisión tendrá en cuenta el trayecto de ida, con carga, y el de vuelta en vacío.

$$GEI_{TpteApoyos} [kgCO_{2eq}] = Apoyos[kg] / Carga[kg] \times Distancia[km] \times FE_{Art>33t} [kgCO_{2eq}/km]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Apoyos[kg]	Masa total de los apoyos	INLI_RecuentoPesosTorresPorTipoAltura	SP
Distancia[km]	Distancia media a obra desde los proveedores	Listados de fabricantes de apoyos (*)	SP
Carga[kg]	Carga media por camión	Departamento Construcción	20.000

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
FE _{Art >33 t}	HGV - Articulated - Engine Size >33 tonnes	GHG Protocol 2015. Transport Tool v2.6 (**)	1,861

* Localización de fabricantes de apoyos:

- Medina del Campo (MADE)
- Torrejón de Ardoz (FUNTAM)
- Utrera (EUCOMSA)

Se considera Torrejón de Ardoz, el más próximo a Manacor que dista 747 km.

** FE viaje ida y vuelta

- Ida: 1,163 kgCO_{2eq}/km
- Vuelta: 0,698 kgCO_{2eq} /km
- Ida y vuelta: 1,861 kgCO_{2eq}/km

3.2.1.2. Transporte de los anclajes

Cálculo Teórico:

El transporte se realiza por el contratista desde los fabricantes directamente al almacén de obra. Las emisiones GEI se calcularán en base al número de camiones necesarios para llevar la carga total de anclajes a dicho almacén, suponiendo una carga por camión de 20t. La distancia del transporte se tomará como la distancia media entre los fabricantes y la obra. El factor de emisión tendrá en cuenta el trayecto de ida, con carga, y el de vuelta en vacío.

$$GEI_{TpteAnclajes}[kgCO_{2eq}] = \text{Anclajes}[kg] / \text{Carga}[kg] \times \text{Distancia}[km] \times FE_{Art >33 t} kgCO_{2eq} / km]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Anclajes[kg]	Masa total de los anclajes	INLI_RecuentoAnclajes	SP
Distancia[km]	Distancia media a obra desde los proveedores	Listados de fabricantes de anclajes(*)	SP
Carga[kg]	Carga media por camión	Departamento Construcción	20.000
FE _{Art >33 t}	HGV - Articulated - Engine Size >33 tonnes	GHG Protocol 2015. Transport Tool v2.6 (**)	1,861

* Localización de fabricantes de anclajes:

- Medina del Campo (MADE)

- Torrejón de Ardoz (FUNTAM)
- Utrera (EUCOMSA)

Se considera Torrejón de Ardoz, el más próximo a Manacor que dista 747 km.

** FE viaje ida y vuelta

- Ida: 1,163 kgCO_{2eq}/km
- Vuelta: 0,698 kgCO_{2eq} /km
- Ida y vuelta: 1,861 kgCO_{2eq} /km

3.2.1.3. Transporte del conductor

Cálculo Teórico:

El transporte se realiza en bobinas por los fabricantes directamente al almacén de obra. Las emisiones GEI se calcularán en base al número de camiones necesarios para llevar la carga total de bobinas a dicho almacén, suponiendo una carga por camión de 20t. La distancia del transporte se tomará como la distancia media entre los fabricantes y la obra. El factor de emisión tendrá en cuenta el trayecto de ida, con carga, y el de vuelta en vacío.

$$GEI_{TpteConductor}[kgCO_{2eq}] = \text{Conductor}[kg] / \text{Carga}[kg] \times \text{Distancia}[km] \times FE_{Art>33 t} kgCO_{2eq} / km]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Conductores[kg]	Masa total de los conductores	INLI_RecuentoTotalPorApoyo	SP
Distancia[km]	Distancia media a obra desde los proveedores	Listado de fabricantes de conductores (*)	SP
Carga[kg]	Carga media por camión	Departamento Construcción	20.000
FE _{Art >33 t}	HGV - Articulated - Engine Size >33 tonnes	GHG Protocol 2015. Transport Tool v2.6 (**)	1,861

* Localización de fabricantes de anclajes:

- Pamplona (INCASA-CABELTE)
- Oporto (Solicabel)
- Ugarte, Navarra (Trefinasa)

Se considera Ugarte, el más próximo a Manacor que dista 792 km.

** FE viaje ida y vuelta

- Ida: 1,163 kgCO_{2eq}/km
- Vuelta: 0,698 kgCO_{2eq} /km

- Ida y vuelta: 1,861 kgCO_{2eq} /km

3.2.1.4. Transporte de CT

Cálculo Teórico:

El transporte de cable de tierra se realiza en bobinas por los fabricantes directamente al almacén de obra. Las emisiones GEI se calcularán en base al número de camiones necesarios para llevar la carga total de CT a dicho almacén, suponiendo una carga por camión de 20t. La distancia del transporte se tomará como la distancia media entre los fabricantes y la obra. El factor de emisión tendrá en cuenta el trayecto de ida, con carga, y el de vuelta en vacío.

$$GEIT_{TpteCT}[kgCO_{2eq}] = CT[m] \times Pesom_{CT}[kg/m] / Carga[kg] \times Distancia[km] \times FE_{Art>33t} \text{ kgCO}_{2eq} / km]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
CT[kg]	Masa total del Cable de Tierra	INLI_RecuentoTotalPorApoyo	SP
Distancia[km]	Distancia media a obra desde los proveedores	Listado de fabricantes de conductores (*)	SP
Carga[kg]	Carga media por camión	Departamento Construcción	20.000
FE _{Art >33 t}	HGV - Articulated - Engine Size >33 tonnes	GHG Protocol 2015. Transport Tool v2.6 (**)	1,861
Pesom _{CT} [kg/m]	Peso del metro de cable CT	Spec HC	0,390

* Localización de fabricantes de Cable de Tierra:

- Pamplona (INCASA-CABELTE)
- Oporto (Solicabel)
- Ugarte, Navarra (Trefinasa)

Se considera Ugarte, el más próximo a Manacor que dista 792 km.

** FE viaje ida y vuelta

- Ida: 1,163 kgCO_{2eq}/km
- Vuelta: 0,698 kgCO_{2eq} /km
- Ida y vuelta: 1,861 kgCO_{2eq} /km

3.2.1.5. Transporte de la Fibra óptica

Cálculo Teórico:

El transporte de la FO se realiza por el contratista en bobinas directamente desde el fabricante al almacén de obra. Las emisiones GEI se calcularán en base al número de camiones necesarios para llevar la carga total de FO a obra, suponiendo una carga por camión de 20t. La distancia del transporte se tomará como la distancia media entre los fabricantes y la obra. El factor de emisión tendrá en cuenta el trayecto de ida, con carga, y el de vuelta en vacío.

$$GEIT_{TpteFO} [kgCO_{2eq}] = FO[m] \times Pesom_{FO} [kg/m] / Carga[kg] \times Distancia[km] \times FE_{Art>33t} [kgCO_{2eq} / km]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
FO[m]	Longitud total de la FO	INLI_RecuentoTotalPorApoyo	SP
Distancia[km]	Distancia a obra desde Mudarra	Localización de obra en Proyecto (*)	SP
Carga[kg]	Carga media por camión	Departamento Construcción	20.000
FE _{Art >33 t}	HGV - Articulated - Engine Size >33 tonnes	GHG Protocol 2015. Transport Tool v2.6 (**)	1,861
Pesom _{FO} [kg/m]	Peso del metro de cable FO	PRYSMIAN OPGW53G8z	0,68

** Localización de fabricantes de FO:

- Cabelte en Pamplona
- Prismian en Vilanova i la Geltru
- Draca (comprada por Prismian) en Maliaño (Santander)

Se considera Vilanova i la Geltru, el más próximo a Manacor que dista 351 km.

*** FE viaje ida y vuelta

- Ida: 1,163 kgCO_{2eq}/km
- Vuelta: 0,698 kgCO_{2eq} /km
- Ida y vuelta: 1,861 kgCO_{2eq} /km

3.2.1.6. Transporte de herrajes

Cálculo Teórico:

El transporte se realiza desde el almacén de Mudarra, a obra. Las emisiones GEI se calcularán en base al número de camiones necesarios para llevar la carga total de herrajes Al almacén de obra, suponiendo

una carga por camión de 20t. La distancia del transporte se tomará como la distancia media entre los fabricantes y la obra. El factor de emisión tendrá en cuenta el trayecto de ida, con carga, y el de vuelta en vacío.

$$GEI_{TpteHerrajes}[kgCO_{2eq}] = Herrajes[kg] / Carga[kg] \times Distancia[km] \times FE_{Art>33t} [kgCO_{2eq} / km]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Herrajes[kg]	Masa total de los herrajes	INLI_RecuentoTotalPorApoyo Tabla Elementos por tipo	SP
Distancia[km]	Distancia a obra desde Mudarra	Localización de obra en Proyecto	SP
Carga[kg]	Carga media por camión	Departamento Construcción	20.000
FE _{Art >33 t}	HGV - Articulated - Engine Size >33 tonnes	GHG Protocol 2015. Transport Tool v2.6 (**)	1,861

** FE viaje ida y vuelta

- Ida: 1,163 kgCO_{2eq}/km
- Vuelta: 0,698 kgCO_{2eq} /km
- Ida y vuelta: 1,861 kgCO_{2eq} /km

3.2.1.7. Transporte de hormigón

Cálculo Teórico:

El transporte se realiza desde plantas de hormigón próximas a la obra. Las emisiones GEI se calcularán en base al número de camiones necesarios para llevar la carga total de hormigón a obra, suponiendo una carga media por camión de 6m³ (criterio conservador, ya que la hormigonera no carga completamente para evitar derrames en subida de cuestas).

La distancia del transporte se tomará como la distancia recorrida en el tiempo máximo permitido hasta puesta en obra, que es de hora y media (EHE-08 art. 71.4.1). Suponiendo una velocidad media de 50km/h, esta distancia sería de 75km (criterio conservador).

$$GEI[kgCO_{2eq}] = Hormigón[m^3] / Carga[m^3] \times Distancia[km] \times FE_{Art>33t} [kgCO_{2eq} / km]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Hormigón[m ³]	Volumen total hormigonado.	INLI_RecuentoCubicacion CimentacionesPorApoyo	SP
Distancia[km]	Distancia a obra desde planta de hormigón.	Distancia máxima recorrida en 1,5 h (EHE) a una velocidad media de 50km/h	75
Carga[m ³]	Carga media por camión	Catálogo STEYR WD615.69 camión hormigonera 8m ³	7
FE _{Art >33 t}	HGV - Rigid - Engine Size >17 tonnes	GHG Protocol 2015. Transport Tool v2.6 (**)	1,947

** FE viaje ida y vuelta

- Ida: 0,863 kgCO_{2eq}/km
- Vuelta: 0,798 kgCO_{2eq} /km
- Ida y vuelta: 1,947 kgCO_{2eq} /km

3.2.2. Obra Civil

3.2.2.1. Excavación para cimentación de apoyos

Cálculo Teórico:

La cimentación de los apoyos requiere la excavación previa del volumen de tierras indicado en el proyecto. Las emisiones GEI se calcularán en base al consumo de combustible de la retroexcavadora utilizada, durante el tiempo de funcionamiento necesario para extraer la cubicación total proyectada. Para ello será necesario estimar el volumen de tierras extraído en cada hora de trabajo, así como el consumo horario de combustible de dicha maquinaria.

$$GEI[kgCO_{2eq}] = \text{Excavación}[m^3] / \text{Rendimiento}[m^3/h] \times \text{Consumo}[l/h] \times FEDiesel [kgCO_{2eq}/l]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Excavación[m ³]	Volumen total de la excavación	INLI_RecuentoCubicacion CimentacionesPorApoyo	SP
Rendimiento[m ³ /h]	Volumen extraído por hora de trabajo	Departamento Construcción	1

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Consumo[l/h]	Consumo horario de combustible de excavadora	Parámetro estimado por dpto. Construcción	8
FE _{Diesel} [kgCO _{2eq} /l]	Construction Equipment - Diesel Fuel.	WRI 2008. GHG Protocol Tool for mobile combustion v2.6	2,706

3.2.2.2. Uso de vehículos todoterreno para movimiento de personal en obra

Cálculo Teórico:

El movimiento del personal en obra para la excavación de las cimentaciones de los apoyos requiere la utilización de vehículos todoterreno. Las emisiones GEI se calcularán en base al consumo de combustible de los todoterreno, durante el tiempo de funcionamiento. Para ello será necesario estimar las horas de trabajo de estos vehículos en relación a un parámetro característico a nivel de proyecto para este tipo de trabajo, como es el número de apoyos.

$$GEITT[\text{kgCO}_{2\text{eq}}] = TT[\text{h/Apoyo}] \times \text{Apoyos}[n] \times \text{Consumo}[\text{l/h}] \times FE_{\text{Diesel}} [\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{l}]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
TT[h/ Apoyo]	Tiempo de trabajo de todoterreno por apoyo	Departamento Construcción	2
Apoyos[n]	Número de Apoyos	INLI_RecuentoPesosTorresPorTipoAltura	SP
Consumo[l/h]	Consumo horario de combustible del TT	Parámetro estimado por dpto. Construcción	1,5
FE _{Diesel} [kgCO _{2eq} /l]	TT- Diesel Fuel. Emisión litro diesel.	GHG Protocol 2015. Transport Tool v2.6	2,664

3.2.2.3. Uso de excavadora para apertura de accesos

Cálculo Teórico:

La apertura de accesos requiere de la ejecución de movimientos de tierras, desmontes y terraplenes. Las emisiones GEI se calcularán en base al consumo de combustible de la excavadora utilizada durante el tiempo de trabajo. Para ello será necesario estimar las horas de trabajo de estas máquinas en relación a un parámetro característico a nivel de proyecto, como puede ser la longitud de los accesos.

$$GEIEXC [\text{kgCO}_{2\text{eq}}] = EXC[\text{h/kmAccesos}] \times \text{Longitud}[\text{kmAccesos}] \times \text{Consumo}[\text{l/h}] \times FE_{\text{Diesel}} [\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{l}]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
EXC[h/kmAcceso]	Tiempo de trabajo de máquina por km de acceso	Departamento Construcción	40
Longitud[kmAccesos]	Longitud de los accesos	Estudio de impacto ambiental/Estudio de accesos	SP
Consumo[l/h]	Consumo horario de combustible de excavadora	Parámetro estimado por dpto. Construcción	8
FE _{Diesel} [kgCO _{2eq} /l]	Construction Equipment - Diesel Fuel.	WRI 2008. GHG Protocol Tool for mobile combustion v2.6	2,706

3.2.2.4. Uso de camión grúa

Cálculo Teórico:

El movimiento de materiales, como los anclajes y el material para la toma de tierras del apoyo, desde el almacén de obra hasta la campa de trabajo para cada apoyo requiere la utilización de camiones grúa. También se emplean en la colocación de los anclajes durante el hormigonado de las cimentaciones. Las emisiones GEI se calcularán en base al consumo de combustible de los camiones grúa durante el tiempo de trabajo. Para ello será necesario estimar las horas de trabajo de estos vehículos en relación a un parámetro característico a nivel de proyecto para este tipo de trabajo, como es el número de apoyos.

$$GEICG[kgCO_{2eq}] = CG[h/Apoyo] \times Apoyos[n] \times Consumo[l/h] \times FE_{Diesel} [kgCO_{2eq} /l]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
CG[h/ Apoyo]	Tiempo de trabajo de camión grúa por apoyo	Departamento Construcción	2
Apoyos[nº]	Número de Apoyos	INLI_RecuentoPesosTorresPorTipoAltura	SP
Consumo[l/h]	Consumo horario de combustible del camión grúa	Parámetro estimado por dpto. Construcción	3
FE _{Diesel} [kgCO _{2eq} /l]	Construction Equipment - Diesel Fuel.	WRI 2008. GHG Protocol Tool for mobile combustion v2.6	2,706

Cuando las condiciones del terreno no permiten el acceso con camión, este trabajo se puede realizar con tractor. Puesto que esta circunstancia no se contempla a nivel de proyecto, para el Modelo Teórico se considerará que todo el trabajo se realiza con camión grúa.

3.2.2.5. Desbroce y Tala

Cálculo Teórico:

La tala de arbolado y vegetación para apertura de accesos y línea puede realizarse mediante tala manual (motosierra) o mediante tala mecánica (desbrozadora). Las emisiones GEI se calcularán en base al consumo de combustible de estas máquinas durante el tiempo de trabajo. Para ello será necesario estimar las horas de trabajo en relación a un parámetro característico relacionado a nivel de proyecto, como puede ser la superficie a despejar según el Estudio de Impacto Ambiental.

$$GEITMan[kgCO_{2eq}] = Superficie[Ha] \times RendimientoTMan[h/Ha] \times UsoTMan [\%] \times ConsumoTMan [l/h] \times FE_{Gasolina}[kgCO_{2eq} /l]$$

$$GEITMec[kgCO_{2eq}] = Superficie[Ha] \times RendimientoTMec[h/Ha] \times UsoTMec[\%] \times ConsumoTMec[l/h] \times FEDiesel[kgCO_{2eq} /l]$$

$$GEIDesbTala[kgCO_{2eq}] = GEITMan[kgCO_{2eq}] + GEITMec[kgCO_{2eq}]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Superficie[Ha]	Superficie a despejar	Estudio de impacto ambiental/Estudio de accesos	(*)
Rendimiento _{TMan} [h/Ha]	Hora de trabajo de tala manual por Ha	Departamento construcción	40
Consumo _{TMan} [l/h]	Consumo horario de combustible tala manual	Departamento construcción	3,13
Uso _{TMan} [%]	Factor de utilización de tala manual	Departamento construcción	(**)
Rendimiento _{TMec} [h/Ha]	Hora de trabajo de tala mecanizada por Ha	Departamento construcción	11,42
Consumo _{TMec} [l/h]	Consumo horario de combustible tala mecán.	Departamento construcción	12,50
Uso _{TMec} [%]	Factor de utilización de tala mecanizada	Departamento construcción	(**)
FE _{Gasolina} [kgCO _{2eq} /l]	Agricultural Equipment - Gasoline	WRI 2008. GHG Protocol Tool for mobile combustion v2.6	2,353
FE _{Diesel} [kgCO _{2eq} /l]	Agricultural Equipment – Diesel Fuel	WRI 2008. GHG Protocol Tool for mobile combustion v2.6	2,670

* A partir de la información de accesos del Estudio, calcular la superficie de los accesos para los que se prevé que será necesario talar: longitud de dichos accesos x 5 m (se considera la anchura media del acceso)

** Generalmente se considerará la tala manual 100%, sólo se considera que la tala va a ser mecanizada para los accesos que mayoritariamente en eucaliptales o pinar denso.

3.2.2.6. Remoción de arbolado

Cálculo Teórico:

Se ha estimado que la tala de arbolado supone una remoción del CO₂ que habría sido fijado en el árbol, suponiendo una vida media de 30 años, equiparable a una emisión GEI de la misma magnitud. Esta emisión GEI se calculará en base al número y especie de árboles que se prevé talar en el proyecto.

$$GEI_{Arbol}[kgCO_{2eq}] = \sum Especies Arbolado Especie[pies] \times FE_{Especie} [kgCO_{2eq}/arbol]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Arbolado _{Especie} [n]	Nº de árboles a talar de cada especie (pies)	Estudio de Impacto Ambiental / Estudio de Accesos	SP
FE _{Especie} [kgCO _{2eq} /pie]	CO _{2eq} que deja de estar fijado por cada árbol	Monografías INIA Nª 12-2005 Ministerio de Medio Ambiente	Tabla 2.4.6

3.2.2.7. Excavación para zanjas de tomas de tierras

Cálculo Teórico:

La toma de tierras requiere la excavación para la apertura de zanjas. Las emisiones GEI se calcularán en base al consumo de combustible de la retroexcavadora utilizada, durante el tiempo de funcionamiento necesario para extraer la cubicación total de las zanjas. Para ello será necesario estimar el volumen de tierras extraído en cada hora de trabajo, así como el consumo horario de combustible de dicha maquinaria.

$$Excavación[m^3] = Apoyos[n] \times AnchoZanja TT [m] \times ProfundidadZanja TT [m] \times LongitudZanja TT [m]$$

$$GEI[kgCO_{2eq}] = Excavación[m^3] / Rendimiento[m^3/h] \times Consumo[l/h] \times FEDiesel [kgCO_{2eq}/l]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Apoyos[n]	Número de Apoyos	INLI_RecuentoPesosTorresPor TipoAltura	SP
AnchoZanja TT [m]	Ancho de zanja	ET 109	0,40
ProfundidadZanja TT[m]	Profundidad máxima zanja	ET 109	0,80
LongitudZanja TT [m]	Longitud media zanja	Departamento ingeniería	40
Rendimiento[m ³ /h]	Volumen extraído / hora de trabajo	Departamento Construcción	1
Consumo[l/h]	Consumo horario de combustible de excavadora	Parámetro estimado por dpto. Construcción	8
FE _{Diesel} [kgCO ₂ eq/l]	Construction Equipment - Diesel Fuel.	WRI 2008. GHG Protocol Tool for mobile combustion v2.6	2,706

3.2.3. Armado e Izado

3.2.3.1. Uso de vehículos todoterreno para movimiento de personal en obra

Cálculo Teórico:

El movimiento del personal para el armado e izado de cada apoyo requiere la utilización de vehículos todoterreno. Las emisiones GEI se calcularán en base al consumo de combustible de los todoterreno, durante el tiempo de funcionamiento en la fase de armado e izado. Para ello será necesario estimar las horas de trabajo de estos vehículos en relación a un parámetro característico como es el número de apoyos hasta los que hay que desplazarse. También es necesario tener en cuenta que el número de personal varía en función del método de izado: grúa o pluma.

$$GEI_{TTGrúa}[\text{kgCO}_2\text{eq}] = TT_{Grúa}[\text{h/Apoyo}] \times Apoyos[n] \times Uso_{Grúa}[\%] \times Consumo_{TT}[\text{l/h}] \times FE_{Diesel} [\text{kgCO}_2\text{eq/l}]$$

$$GEI_{TTPluma}[\text{kgCO}_2\text{eq}] = TT_{Pluma}[\text{h/Apoyo}] \times Apoyos[n] \times Uso_{Pluma}[\%] \times Consumo_{TT}[\text{l/h}] \times FE_{Diesel} [\text{kgCO}_2\text{eq/l}]$$

$$GEI_{TT}[\text{kgCO}_2\text{eq}] = GEI_{TTGrúa}[\text{kgCO}_2\text{eq}] + GEI_{TTPluma}[\text{kgCO}_2\text{eq}]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
TT _{Grua} [h/ Apoyo]	h de trabajo de todoterreno por apoyo a montar con grúa	Departamento Construcción	4
Uso _{Grua} [%]	Factor de utilización media de grúa en armado e izado	Departamento Construcción	SP
TT _{Pluma} [h/ Apoyo]	h de trabajo de todoterreno por apoyo a montar con pluma	Departamento Construcción	2
Uso _{Pluma} [%]	Factor de utilización media de pluma en armado e izado	Departamento Construcción	SP
Apoyos [n]	Número de Apoyos	INLI_RecuentoPesosTorresPorTipoAltura	SP
Consumo _{TT} [l/h]	Consumo horario de combustible del TT	Departamento Construcción	1,5
FE _{Diesel} [kgCO ₂ eq/l]	TT- Diesel Fuel. Emisión litro diesel.	GHG Protocol 2015. Transport Tool v2.6	2,664

3.2.3.2. Uso de camión grúa

Cálculo Teórico:

El transporte de materiales para el armado e izado de los apoyos requiere la utilización de camiones grúa. Las emisiones GEI se calcularán en base al consumo de combustible de los camiones grúa durante el tiempo de trabajo. Para ello será necesario estimar las horas de trabajo de estos vehículos en relación a un parámetro característico a nivel de proyecto de la complejidad del armado de cada apoyo, el peso total de los apoyos.

También es necesario tener en cuenta que el tiempo de trabajo por apoyo del camión grúa es diferente si el izado se realiza con grúa o con pluma.

$$GEI_{CGGrua}[\text{kgCO}_2\text{eq}] = CG_{Grua}[\text{h/kgApoyo}] \times \text{Apoyos} [\text{kg}] \times \text{Uso}_{Grua}[\%] \times \text{Consumo}_{CG}[\text{l/h}] \times FE_{Diesel} [\text{kgCO}_2\text{eq/l}]$$

$$GEI_{CGPluma}[\text{kgCO}_2\text{eq}] = CG_{Pluma} [\text{h/kgApoyo}] \times \text{Apoyos} [\text{kg}] \times \text{Uso}_{Pluma}[\%] \times \text{Consumo}_{CG}[\text{l/h}] \times FE_{Diesel} [\text{kgCO}_2\text{eq/l}]$$

$$GEI_{CGizado}[\text{kgCO}_2\text{eq}] = GEI_{CGGrua}[\text{kgCO}_2\text{eq}] + GEI_{CGPluma}[\text{kgCO}_2\text{eq}]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
CG _{Grua} [h/ kgApoyo]	Tiempo de trabajo CG por kg de apoyo en montaje con grúa	Departamento Construcción	0,00025
Uso _{Grua} [%]	Factor de utilización media de grúa en armado e izado	Departamento Construcción	SP
CG _{Pluma} [h/ kgApoyo]	Tiempo de trabajo CG por kg de apoyo en montaje con pluma	Departamento Construcción	0,00055
Uso _{Pluma} [%]	Factor de utilización media de pluma en armado e izado	Departamento Construcción	SP
Consumo _{CG} [l/h]	Consumo horario de combustible del camión Grúa	Departamento Construcción	3,5
Apoyos[kg]	Peso total de los apoyos	INLI_RecuentoPesosTorresPorTipoAltura	SP
FE _{Diesel} [kgCO ₂ eq/l]	Construction Equipment - Diesel Fuel. Scope 3	WRI 2008. GHG Protocol Tool for mobile combustion v2.6	2,706

3.2.3.3. Uso de Grúa / Pluma para armado e izado

Cálculo Teórico:

El armado e izado de los apoyos puede requerir la utilización de Grúa o de Pluma (cabrestante). Las emisiones GEI se calcularán en base al consumo de combustible cada máquina durante el tiempo de trabajo. Para ello será necesario estimar las horas de trabajo de estas máquinas en relación a un parámetro característico a nivel de proyecto de la complejidad del armado de cada apoyo, como puede ser el peso de los apoyos.

$$GEI_{Grua}[kgCO_2eq] = Grua[h/kgApoyo] \times Apoyos [kg] \times Uso_{Grua}[\%] \times Consumo_{Grua}[l/h] \times FE_{Diesel} [kgCO_2eq/l]$$

$$GEI_{Pluma}[kgCO_2eq] = Pluma[h/kgApoyo] \times Apoyos [kg] \times Uso_{Pluma}[\%] \times Consumo_{Pluma}[l/h] \times FE_{Diesel} [kgCO_2eq/l]$$

$$GEI_{Izado}[kgCO_2eq] = GEI_{Grua}[kgCO_2eq] + GEI_{Pluma}[kgCO_2eq]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Grua[h/ kgApoyo]	Tiempo de trabajo de grúa por kg de apoyo	Departamento Construcción	0,00025
Uso _{Grua} [%]	Factor de utilización media de grúa en armado e izado	Departamento Construcción	SP
Consumo _{Grua} [l/h]	Consumo horario de combustible de grúa	Departamento Construcción	35
Pluma[h/ kgApoyo]	Tiempo de trabajo de pluma por kg de apoyo	Departamento Construcción	0,00055
USO _{Pluma} [%]	Factor de utilización media de pluma en armado e izado	Departamento Construcción	SP
Consumo _{Pluma} [l/h]	Consumo horario de combustible de pluma	Departamento Construcción	3,5
Apoyos[kg]	Peso total de los apoyos	INLI_RecuentoPesosTorresPorTipoAltura	SP
FE _{Diesel} [kgCO ₂ eq/l]	Construction Equipment - Diesel Fuel. Scope 3	WRI 2008. GHG Protocol Tool for mobile combustion v2.6	2,706

3.2.4. Tendido y apertura de calles

3.2.4.1. Uso de vehículos todoterreno para movimiento de personal

Cálculo Teórico:

El movimiento de personal en obra requiere la utilización de vehículos todoterreno. Las emisiones GEI se calcularán en base al consumo de combustible durante el tiempo de funcionamiento en la fase de tendido. Para ello será necesario estimar las horas de trabajo de estos vehículos en relación a un parámetro característico a nivel de proyecto, como puede ser la longitud de la línea. También es necesario tener en cuenta el tipo de tendido, Dúplex o Triplex, ya que las horas de trabajo varían.

$$GEI_{TTDúplex}[\text{kgCO}_2\text{eq}] = TT_{Dúplex}[\text{h/kmLínea}] \times \text{Longitud}[\text{kmLínea}] \times \text{Consumo}_{TT}[\text{l/h}] \times FE_{\text{Diesel}}[\text{kgCO}_2\text{eq/l}]$$

$$GEI_{TTTriplex}[\text{kgCO}_2\text{eq}] = TT_{Triplex}[\text{h/kmLínea}] \times \text{Longitud}[\text{kmLínea}] \times \text{Consumo}_{TT}[\text{l/h}] \times FE_{\text{Diesel}}[\text{kgCO}_2\text{eq/l}]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
TT _{Duplex} [h/ kmLinea]	h de trabajo de todoterreno por km línea Duplex	Departamento Construcción	5
TT _{Triplx} [h/ kmLinea]	h de trabajo de todoterreno por km línea Triplx	Departamento Construcción	5
Longitud[kmlinea]	Longitud de la línea	Longitud de la línea en proyecto	SP
Consumo _{TT} [l/h]	Consumo horario de combustible del TT	Departamento Construcción	1,5
FE _{Diesel} [kgCO ₂ eq/l]	TT- Diesel Fuel. Emisión litro diesel.	GHG Protocol 2015. Transport Tool v2.6	2,664

3.2.4.2. Uso de camión grúa

Cálculo Teórico:

Durante el tendido puede requerirse la utilización de camiones grúa para llevar cables, elementos y herrajes. Las emisiones GEI se calcularán en base al consumo de combustible de los camiones grúa durante el tiempo de trabajo. Para ello será necesario estimar las horas de trabajo de estos vehículos en relación a un parámetro característico relacionado a nivel de proyecto, como puede ser la longitud de la línea. También es necesario tener en cuenta tipo de tendido, Dúplex o Triplex, ya que la cantidad de material necesario en cada caso es muy diferente, lo que influye considerablemente en el número de transportes a realizar.

$$GEI_{CGDuplex}[kgCO_2eq] = CG_{Duplex}[h/kmLinea] \times Longitud[kmLinea] \times Consumo_{CG}[l/h] \times FE_{Diesel} [kgCO_2eq/l]$$

$$GEI_{CGTriplx}[kgCO_2eq] = TCG_{Triplx}[h/kmLinea] \times Longitud[kmLinea] \times Consumo_{CG}[l/h] \times FE_{Diesel} [kgCO_2eq/l]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
GC _{Duplex} [h/ kmLinea]	h de trabajo de camión grúa por km línea Duplex	Departamento Construcción	4,5
CG _{Triplx} [h/ kmLinea]	h de trabajo de camión grúa por km línea Triplx	Departamento Construcción	7
Longitud[kmlinea]	Longitud de la línea	Longitud de la línea en proyecto	SP
Consumo _{CG} [l/h]	Consumo horario de combustible del camión grúa	Parámetro estimado por dpto. Construcción	3

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
FE _{Diesel} [kgCO ₂ eq/l]	Construction Equipment - Diesel Fuel. Scope 3	WRI 2008. GHG Protocol Tool for mobile combustion v2.6	2,706

Cuando las condiciones del terreno no permiten el acceso con camión, este trabajo se puede realizar con tractor. Puesto que esta circunstancia no se contempla a nivel de proyecto, para el Modelo Teórico se considerará que todo el trabajo se realiza con camión grúa. En el cálculo con el Modelo Real se tendrán en cuenta los vehículos efectivamente utilizados y los tiempos reales de trabajo para calcular las emisiones GEI correspondientes.

3.2.4.3. Uso de cabrestante /tiro-freno

Cálculo Teórico:

Durante el tendido puede requerirse la utilización de cabrestantes o máquinas de tiro-freno. Las emisiones GEI se calcularán en base al consumo de combustible de la máquina durante el tiempo de trabajo. Para ello será necesario estimar las horas de trabajo de estas máquinas en relación a un parámetro característico relacionado a nivel de proyecto, como puede ser la longitud de la línea.

$$GEI_{CAB}[kgCO_2eq] = CAB[h/kmlínea] \times Longitud[kmlínea] \times Consumo_{CAB}[l/h] \times FE_{Diesel}[kgCO_2eq/l]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
CAB[h/ kmlínea]	Tiempo de trabajo de cabrestante por km línea	Departamento Construcción	5
Longitud[kmlínea]	Longitud de la línea	Longitud de la línea en proyecto	SP
Consumo _{CAB} [l/h]	Consumo horario de combustible máquina	Parámetro estimado por dpto. Construcción	2
FE _{Diesel} [kgCO ₂ eq/l]	Construction Equipment - Diesel Fuel. Scope 3	WRI 2008. GHG Protocol Tool for mobile combustion v2.6	2,706

3.2.5. Servicios

Cálculo Teórico:

3.2.5.1. Uso de vehículos todoterreno para movimiento de personal

Cálculo Teórico:

El movimiento del personal que realiza servicios en obra requiere la utilización de vehículos todoterreno. Las emisiones GEI se calcularán en base al consumo de combustible de los todoterreno en los desplazamientos. Para ello será necesario estimar la distancia recorrida por estos vehículos en relación a un parámetro característico a nivel de proyecto, como puede ser la longitud de la línea. El número de desplazamientos será igual a la duración de la obra multiplicada por la frecuencia de los desplazamientos.

$$GEI[kgCO_2eq] = \sum_{Servicio} Duración[sem] \times Frecuencia_{Servicio} [d/sem] \times Desplazamiento_{Servicio} [km/d] \times FE_{Diesel} [kgCO_2eq/km]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Duración[sem]	Nº semanas previsto para construcción de la línea	Estudio Impacto Ambiental	SP
Desplazamiento _{Servicio} [km/d]	Desplazamiento en obra	Longitud de la línea en proyecto	Tabla
Frecuencia _{Servicio} [d]	Días/semana de visita a obra de cada servicio	Departamento Construcción	Tabla
FE _{Diesel} [kgCO ₂ eq/km]	Passenger Car - Diesel - Engine Size >2.0 liters	GHG Protocol Tool for mobile combustion v2.6	0,258

Personal	Frecuencia de visita a obra días/semana	Desplazamiento en obra al día km
Director facultativo	1	50
Supervisor de obra	5	50
Técnico de SyS	2	10
Técnico de permisos	5	70
Técnico medio ambiente	5	50
Arqueólogo (movimiento de tierras)	5	10

A nivel de proyecto no se dispone de datos para estimar las emisiones GEI imputables a los viajes del personal de los servicios hasta las obras. Un cálculo conservador, bajo la hipótesis más desfavorable de que todo el personal se desplazase una vez a la semana a obra viajando en avión (modo de transporte con FE más elevado), la emisión GEI no llegarían al 0,4% del total del ciclo de vida de la línea. Aplicando el criterio indicado, la magnitud de estas emisiones serían inferiores al margen establecido por el valor de corte, por lo que no se tendrán en cuenta en el modelo teórico.

3.2.6. Gestión de residuos

Cálculo Teórico:

Durante la construcción se generan residuos. A nivel de Modelo Teórico, se considerarán las emisiones originadas por la gestión de residuos de chatarra, papel y cartón, plásticos, escombros, asimilables a urbanos y residuos vegetales

$$GEI_{Residuos} [kgCO_2eq] = \sum_{Residuos} Residuo_{Tipo} [kg] \times FE_{Residuo} [kgCO_2eq/kg]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Residuo _{Tipo} [kg]	Masa de cada tipo de residuos	Estudio de Gestión de Residuos	SP
FE _{ResiPlásticos} [kgCO ₂ eq/kg]	Emisiones GEI gestión residuos plásticos (inc tpte)	Simapro	0,0848
FE _{ResiUrbanos} [kgCO ₂ eq/kg]	Emisiones GEI gestión residuos urbanos (inc tpte)	Simapro	0,455
FE _{ResiEscombros} [kgCO ₂ eq/kg]	Emisiones GEI gestión kg escombros (inc tpte)	Simapro	0,014
FE _{ResiT ierrass} [kgCO ₂ eq/kg]	Emisiones GEI gestión kg tierras excedentes (inc tpte)	Simapro	0,000559
FE _{ResAcero} [kgCO ₂ eq/kg]	Emisiones GEI reciclado kg acero (inc tpte)	Simapro	-1,69
FE _{ResAlum} [kgCO ₂ eq/kg]	Emisiones GEI reciclado kg aluminio (inc tpte)	Simapro	-9,99
FE _{ResPapel} [kgCO ₂ eq/kg]	Emisiones GEI reciclado kg papel (inc tpte)	Simapro	-0,0626

En caso de que las cantidades se expresen en m³, se utilizarán las siguientes densidades (RD105/2008):

- Escombros. 1.500 kg/m³

- Tierras: 2.000 kg/m³

En un Estudio de Gestión de Residuos los tipos de residuos considerados en la tabla anterior suponen el 99,97% del total gestionado, por lo que no se han tenido en cuenta el resto de tipologías de residuos, al quedar muy por debajo del valor de corte.

3.3. EXPLOTACIÓN DE LA LÍNEA

En la fase de explotación, las emisiones teóricas GEI de cada actividad durante todo ciclo de vida se calcularán como el producto de las emisiones anualizadas, multiplicadas por el número de años de vida útil previstos para la línea en el proyecto.

3.3.1. Inspecciones periódicas

3.3.1.1. Inspección intensiva aérea

Cálculo Teórico:

La inspección intensiva aérea (IAI) de líneas se realiza utilizando un helicóptero. Las emisiones GEI correspondientes a esta actividad se calcularán a partir del consumo de combustible del helicóptero durante el tiempo de trabajo. Para ello será necesario estimar las horas de vuelo de estos vehículos para este tipo de inspección, en relación a un parámetro característico relacionado a nivel de proyecto, como puede ser la longitud de la línea.

La imputación anual de emisiones GEI de esta actividad se realizará multiplicando las emisiones GEI correspondientes a una inspección por la frecuencia anual de dicha inspección.

$$GEI[kgCO_2eq] = Heli_{IAI}[h/km] \times Longitud_{Línea}[km] \times FE_{Heli}[kgCO_2eq/h]$$

$$GEI[kgCO_2eq]_{anual} = GEI[kgCO_2eq] \times Frecuencia_{IAI}$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Heli _{IAI} [h/ km]	Tiempo de vuelo de helicóptero por km línea en IAI	Departamento mantenimiento de líneas	0,339
Longitud _{Línea} [km]	Longitud de la línea	Longitud de la línea en proyecto	SP
FE _{Heli} [kgCO ₂ eq/h]	Emisiones GEI Bell 407	Interagency Aviation Training, 2010	374,99
FE _{Heli} [kgCO ₂ eq/h]	Emisiones GEI Bell HU-1H	SimaPro/ Datos fabricante	192,6
FE _{Heli} [kgCO ₂ eq/h]	Emisiones GEI Hughes 500	SimaPro/ Datos fabricante	118,8

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Frecuencia _{IAI}	Frecuencia anual de IAI	Guía AT 025	1/8

3.3.1.2. Inspección visual y termo gráfica

Cálculo Teórico:

La inspección visual y termográfica (IVT) de líneas se realiza utilizando un helicóptero. Las emisiones GEI correspondientes a esta actividad se calcularán a partir del consumo de combustible del helicóptero durante el tiempo de trabajo. Para ello será necesario estimar las horas de vuelo de estos vehículos para este tipo de inspección, en relación a un parámetro característico relacionado a nivel de proyecto, como puede ser la longitud de la línea.

La imputación anual de emisiones GEI de esta actividad se realizará multiplicando las emisiones GEI correspondientes a una inspección por la frecuencia anual de dicha inspección.

$$GEI[\text{kgCO}_2\text{eq}] = \text{Heli}_{IVT}[\text{h/km}] \times \text{Longitud}_{\text{Línea}}[\text{km}] \times FE_{\text{Heli}}[\text{kgCO}_2\text{eq/h}]$$

$$GEI[\text{kgCO}_2\text{eq}]_{\text{anual}} = GEI[\text{kgCO}_2\text{eq}] \times \text{Frecuencia}_{IVT}$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Heli _{IVT} [h/ km]	Tiempo de vuelo de helicóptero por km línea en IVT	Departamento mantenimiento de líneas	0,031
Longitud _{Línea} [km]	Longitud de la línea	Longitud de la línea en proyecto	SP
FE _{Heli} [kgCO ₂ eq/l]	Emisiones GEI Bell 407	Interagency Aviation Training, 2010	374,99
FE _{Heli} [kgCO ₂ eq/l]	Emisiones GEI Bell HU-1H	SimaPro/ Datos fabricante	192,6
FE _{Heli} [kgCO ₂ eq/l]	Emisiones GEI Hughes 500	SimaPro/ Datos fabricante	118,8
Frecuencia _{IVT}	Frecuencia anual de IVT	Guía AT 025	1/8

3.3.1.3. Inspección normal aérea

Cálculo Teórico:

La inspección normal aérea (IA) de líneas se realiza utilizando un helicóptero. Las emisiones GEI correspondientes a esta actividad se calcularán a partir del consumo de combustible del helicóptero durante el tiempo de trabajo. Para ello será necesario estimar las horas de vuelo de estos vehículos para este tipo de inspección, en relación a un parámetro característico relacionado a nivel de proyecto, como puede ser la longitud de la línea.

La imputación anual de emisiones GEI de esta actividad se realizará multiplicando las emisiones GEI correspondientes a una inspección por la frecuencia anual de dicha inspección.

$$GEI[\text{kgCO}_2\text{eq}] = \text{Heli}_{IA}[\text{h/km}] \times \text{Longitud}_{\text{Línea}}[\text{km}] \times \text{FE}_{\text{Heli}}[\text{kgCO}_2\text{eq/h}]$$

$$GEI[\text{kgCO}_2\text{eq}]_{\text{anual}} = GEI[\text{kgCO}_2\text{eq}] \times \text{Frecuencia}_{IA}$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Heli _{IA} [h/ km]	Tiempo de vuelo de helicóptero por km línea en IA	Departamento mantenimiento de líneas	0,03
Longitud _{Línea} [km]	Longitud de la línea	Longitud de la línea en proyecto	SP
FE _{Heli} [kgCO ₂ eq/l]	Emisiones GEI Hughes 500	SimaPro/ Datos fabricante	118,8
Frecuencia _{IA}	Frecuencia anual de IVT	Guía AT 025	1/8

3.3.1.4. Inspección intensiva a pie

Cálculo Teórico:

La inspección intensiva a pie (IIP) de líneas se realiza recorriendo toda la instalación a pie. Las emisiones GEI correspondientes a esta actividad se calcularán a partir del consumo de combustible de un todo terreno de apoyo a lo largo del recorrido.

La imputación anual de emisiones GEI de esta actividad se realizará multiplicando las emisiones GEI correspondientes a una inspección por la frecuencia anual de dicha inspección.

$$GEI[\text{kgCO}_2\text{eq}] = 2 \times \text{Longitud}_{\text{Línea}}[\text{km}] \times \text{FE}_{\text{TT}}[\text{kgCO}_2\text{eq/km}]$$

$$GEI[\text{kgCO}_2\text{eq}]_{\text{anual}} = GEI[\text{kgCO}_2\text{eq}] \times \text{Frecuencia}_{IIP}$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Longitud _{Línea} [km]	Longitud de la línea	Longitud de la línea en proyecto	SP
FE _{TT} [kgCO ₂ eq/km]	Passenger Car - Diesel - Engine Size >2.0 liters	WRI 2008. GHG Protocol Tool for mobile combustion v2.6	0,258
Frecuencia _{IP}	Frecuencia anual de IA	Guía AT 025	1/8

3.3.1.5. Inspección normal a pie

Cálculo Teórico:

La inspección normal a pie (IP) de líneas se realiza recorriendo toda la instalación a pie. Las emisiones GEI correspondientes a esta actividad se calcularán a partir del consumo de combustible de un todo terreno de apoyo a lo largo del recorrido.

La imputación anual de emisiones GEI de esta actividad se realizará multiplicando las emisiones GEI correspondientes a una inspección por la frecuencia anual de dicha inspección.

$$GEI[\text{kgCO}_2\text{eq}] = 2 \times \text{Longitud}_{\text{Línea}}[\text{km}] \times FE_{\text{TT}}[\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{km}]$$

$$GEI[\text{kgCO}_2\text{eq}]_{\text{anual}} = GEI[\text{kgCO}_2\text{eq}] \times \text{Frecuencia}_{\text{IP}}$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Longitud _{Línea} [km]	Longitud de la línea	Longitud de la línea en proyecto	SP
FE _{TT} [kgCO ₂ eq/km]	Passenger Car - Diesel - Engine Size >2.0 liters	WRI 2008. GHG Protocol Tool for mobile combustion v2.6	0,258
Frecuencia _{IP}	Frecuencia anual de IA	Guía AT 025	1/8

3.3.2. Mantenimiento de calles

3.3.2.1. Uso de vehículos todoterreno para movimiento de personal:

El movimiento del personal para la tala manual requiere la utilización de vehículos todoterreno. Las emisiones GEI se calcularán en base al consumo de combustible de los todoterreno, durante el tiempo de funcionamiento en la fase de mantenimiento de calles. Para ello será necesario estimar las horas de trabajo de estos vehículos en relación a un parámetro característico a nivel de proyecto, como puede ser la superficie a despejar según el Documento Ambiental.

La imputación anual de emisiones GEI de esta actividad se realizará multiplicando las emisiones GEI correspondientes a un trabajo de mantenimiento de calles por la frecuencia media anual teórica de dicho mantenimiento.

$$GEI[kgCO_2eq] = Superficie[Ha] \times Rendimiento_{TT}[h/Ha] \times Uso_{TalaManual} [\%] \times Consumo_{TT}[l/h] \times FE_{Diesel} [kgCO_2eq/l]$$

$$GEI[kgCO_2eq]_{anual} = GEI[kgCO_2eq] \times Frecuencia_{MC}$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Superficie[Ha]	Superficie a despejar	Estudio de Impacto Ambiental	SP
Rendimiento _{TT} h/Ha]	Horas de trabajo de TT en tala manual por Ha	Departamento mantenimiento de líneas	11,11
Consumo[l/h]	Consumo horario de combustible del TT	Parámetro estimado por dpto. Construcción	1,53
FE _{Diesel} [kgCO ₂ eq/l]	TT- Diesel Fuel. Emisión litro diesel.	GHG Protocol 2015. Transport Tool v2.6	2,664
Frecuencia _{MC}	Frecuencia anual de MC	Departamento mantenimiento de líneas	1/3

3.3.2.2. Desbroce –Tala

Cálculo Teórico:

El desbroce y la tala de vegetación para el mantenimiento de calles requieren la utilización de máquina de tala manual y tala mecánica. Las emisiones GEI se calcularán en base al consumo de combustible de estas máquinas durante el tiempo de trabajo. Para ello será necesario estimar las horas de trabajo en relación a un parámetro característico relacionado a nivel de proyecto, como puede ser la superficie a despejar según el Estudio de Impacto Ambiental.

La imputación anual de emisiones GEI de esta actividad se realizará multiplicando las emisiones GEI correspondientes a un trabajo de mantenimiento de calles por la frecuencia media anual teórica de dicho mantenimiento.

$$GEI_{TManual}[kgCO_2eq] = Superficie[Ha] \times Rendimiento_{TManual}[h/Ha] \times Uso_{TManual} [\%] \times Consumo_{TManual}[l/h] \times FE_{Gasolina}[kgCO_2eq/l]$$

$$GEI_{TMec}[kgCO_2eq] = Superficie[Ha] \times Rendimiento_{TMec}h/Ha] \times Uso_{TMec} [\%] \times Consumo_{TMec}[l/h] \times FE_{Diesel}[kgCO_2eq/l]$$

$$GEI_{TalaCalles}[kgCO_2eq] = GEI_{TManual}[kgCO_2eq] + GEI_{TMec}[kgCO_2eq]$$

$$GEI_{TalaAnual}[kgCO_2eq] = GEI_{TalaCalles}[kgCO_2eq] \times FrecuenciaMC$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Superficie[Ha]	Superficie a despejar	Estudio de Impacto Ambiental	SP
Rendimiento _{TManual} [h/Ha]	Hora de trabajo de tala manual por Ha	Departamento mantenimiento de líneas	11,11
Consumo _{TManual} [l/h]	Consumo horario de combustible de la tala	Departamento mantenimiento de líneas	2
USO _{TManual} [%]	Factor de utilización de tala manual	Departamento mantenimiento de líneas	0,5
Rendimiento _{TDesbc} [h/Ha]	Hora de trabajo de desbrozadora por Ha	Departamento mantenimiento de líneas	4
Consumo _{Desb} [l/h]	Consumo combustible/h de la desbrozadora	Catálogo SOLO 154: 1.25 kg/h gasolina Densidad RD 1088/10: 0,72kg/l	8
USO _{Desb} [%]	Factor de utilización de desbrozadora	Departamento mantenimiento de líneas	0,25
Rendimiento _{Astill} [h/Ha]	Hora de trabajo de astilladora por Ha	Departamento mantenimiento de líneas	10
Consumo _{Astill} [l/h]	Consumo combustible/h de la astilladora	Departamento mantenimiento de líneas	12
USO _{Astill} [%]	Factor de utilización de astilladora	Departamento mantenimiento de líneas	0,25
FE _{Gasolina} [kgCO ₂ eq/l]	Agricultural Equipment - Gasoline	WRI 2008. GHG Protocol Tool for mobile combustion v2.6	2,353
FE _{Diesel} [kgCO ₂ eq/l]	Construction Equipment - Diesel Fuel.	WRI 2008. GHG Protocol Tool for mobile combustion v2.6	2,706

3.3.2.3. Remoción de arbolado

A nivel teórico se ha considerado que la remoción de sumidero de carbono que conlleva la tala de arbolado para el mantenimiento de calles se compensa con la formación de un nuevo sumidero equivalente durante el periodo entre mantenimientos.

Atendiendo a este criterio, se ha considerado que la tala de arbolado asociada al mantenimiento de calles tiene un impacto neutro en cuanto a emisiones GEI a lo largo del ciclo de vida de la línea.

3.3.3. Mantenimiento preventivo

Cálculo Teórico:

Las emisiones por reposición de elementos se calcularán de forma análoga al suministro de dichos elementos en la etapa 1, afectadas por la tasa de reposición.

$$GEI_{ReposiciónAnual}[kgCO_2eq] = \sum_{Elementos} GEI_{Elementos}[kgCO_2eq] \times Reposición_{Elemento} [\%]$$

Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Reposición _{Apoyos} [%]	Tasa de reposición anual Apoyos	Departamento Mantenimiento	0,14%
Reposición _{Conductores} [%]	Tasa reposición anual Conductores	Departamento Mantenimiento	0,09%
Reposición _{CT} [%]	Tasa reposición anual Cable Tierra	Departamento Mantenimiento	0,90%
Reposición _{Cadenas} [%]	Tasa reposición anual Cadenas	Departamento Mantenimiento	2,44%

3.4. DESMANTELAMIENTO DE LA LÍNEA

3.4.1. Desmontaje

3.4.1.1. Uso de vehículos todoterreno para movimiento de personal en el desmontaje

A nivel de modelo teórico, las emisiones originadas por el uso de todoterreno para el movimiento de personal en obra en la fase de desmontaje se considerarán similares a las emisiones totales por uso de todoterreno calculadas para la fase de construcción.

$$GEI[kgCO_2eq]_{TTDesmontaje} = \sum_{Montajes} GEI[kgCO_2eq]_{TT}$$

3.4.1.2. Uso de camión grúa

A nivel de modelo teórico, las emisiones originadas por el uso de camión grúa para el movimiento de materiales en obra en la fase de desmontaje se considerarán similares a las emisiones totales por uso de este tipo de vehículo calculadas para la fase de construcción.

$$GEI[kgCO_2eq]_{CGDesmontaje} = \sum_{Montajes} GEI[kgCO_2eq]_{CG}$$

3.4.1.3. Uso de excavadora

A nivel de modelo teórico, las emisiones originadas por el uso de retro excavadora para el movimiento de tierras, demoliciones y nivelaciones en la fase de desmontaje se considerarán similares a las emisiones totales por uso de este tipo de vehículo calculadas para la fase de construcción.

$$GEI[kgCO_2eq]_{EXCDesmontaje} = \sum_{Montajes} GEI[kgCO_2eq]_{EXC}$$

3.4.2. Gestión de residuos

Cálculo Teórico:

A nivel de modelo teórico, se considerarán las emisiones originadas por el reciclado de residuos de acero, de aluminio, y la gestión de escombros.

$$GEI_{Residuos} [kgCO_2eq] = \sum_{Residuos} Residuo_{Tipo}[kg] \times FE_{Residuo} [kgCO_2eq/kg]$$

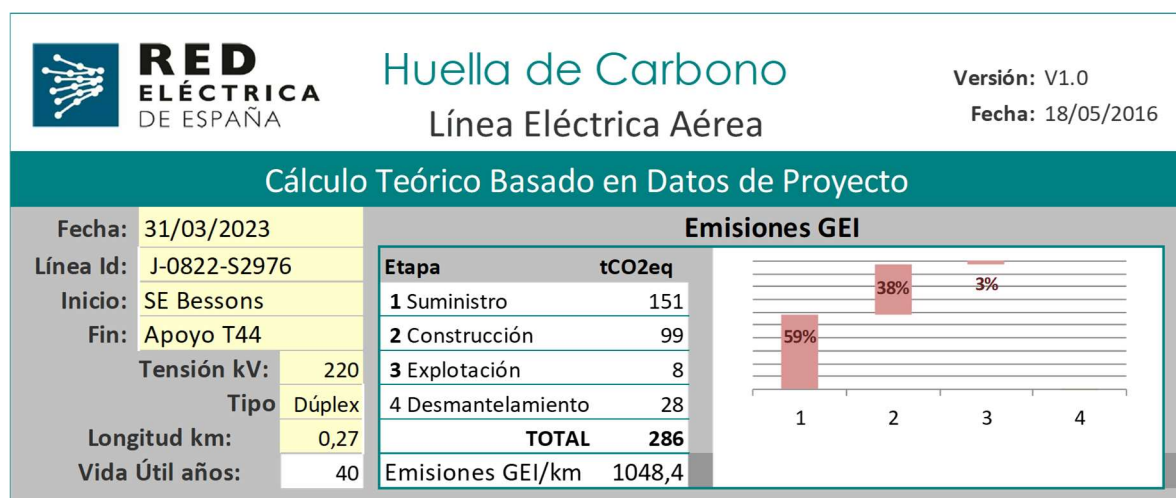
Parámetro	Descripción	Fuente	Valor
Residuo _{Acero} [kg]	Masa acero apoyos, anclajes, herrajes y conductores	Σ acero Etapa 1	SP
Residuo _{Aluminio} [kg]	Masa aluminio, herrajes y conductores	Σ aluminio Etapa 1	SP
Residuo _{Escombros} [kg]	Masa hormigón X factor demolición	Σ hormigón Etapa 1 x factor demolición (*)	SP
FE _{ResAcero} [kgCO ₂ eq/kg]	Emisiones GEI reciclado kg acero (inc tpte)	Simapro	-1,69
FE _{ResAlum} [kgCO ₂ eq/kg]	Emisiones GEI reciclado kg aluminio (inc tpte)	Simapro	-9,99
FE _{Escombros} [kgCO ₂ eq/kg]	Emisiones GEI gestión kg escombros (inc tpte)	Simapro	0,014

* Factor de demolición:

- Línea 400 kV: 10%
- Línea 220 kV: 30%
- Línea 132 kV: 30%
- Línea 66 kV: 30%

4. RESULTADO DEL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO

A continuación, se recoge un desglose de la estimación de emisiones por tipo de procesos y fases del proyecto para las fases de construcción, funcionamiento y desmantelamiento de la línea eléctrica objeto de estudio.



Desglose de Emisiones GEI		tCO2eq
Cálculo Teórico		
0 Ciclo de Vida		286
1 Etapa: Suministro de Materiales y Elementos tCO2eq		151
1.1 Proceso:	Producción de hormigón para cimentaciones	6
1.2 Proceso:	Producción de apoyos y anclajes	122
1.3 Proceso:	Producción de cables	14
1.4 Proceso:	Producción de herrajes	10
2 Etapa: Construcción tCO2eq		99
2.1 Proceso:	Transporte materiales y elementos a obra	2
2.2 Proceso:	Obra Civil: Cimentación y Apertura de accesos	100
2.3 Proceso:	Armado e Izado	0
2.4 Proceso:	Tendido y Apertura de Calles	0
2.5 Proceso:	Servicios	1
2.6 Proceso:	Gestión de residuos	-4
3 Etapa: Explotación de la línea tCO2eq		8
3.1 Proceso:	Inspecciones periódicas	0
3.2 Proceso:	Mantenimiento de calles	0
3.3 Proceso:	Mantenimiento preventivo	8
4 Etapa: Desmantelamiento tCO2eq		28
4.1 Proceso:	Desmontaje	101
4.2 Proceso:	Gestión de residuos	-73

Tabla 1. Estimación de emisiones por tipo de procesos y fases del proyecto

5. ANEXO

Tabla datos introducidos para el cálculo

Huella de Carbono Línea Eléctrica Aérea				Teórico		tCO2eq		
1	Etapa: Producción y Suministro de Materiales y Elementos					151		
Elementos	Categorías		Tensión	Unidad	Valor	kgCO2eq		
1.1.1	Producción de hormigón para cimentación			m3	34	6.107		
	Armado			m3		0		
1.2.1	Producción de apoyos			kg	32.181	115.530		
1.2.2	Producción de anclajes			kg	1.756	6.304		
1.3.1	Producción de Conductores			kg		0		
	HAWK			kg		0		
	GULL			kg		0		
	CONDOR			kg		0		
	CARDINAL			kg	1.411	10.479		
	LAPWING			kg		0		
	RAIL			kg		0		
1.3.1	Producción de Cables de Tierra			m	57	80		
1.3.2	Producción de Cables de Fibra Óptica			m	417	3.211		
Cadenas	Amarre	D Triplex	Todas	Ud		0		
		D Duplex	400	Ud		0		
		D Duplex F	400	Ud		0		
		D Duplex	220	Ud		0		
		D Duplex F	220	Ud		0		
		S Duplex F	220	Ud		0		
		Simplex	66-132	Ud	12	783		
	Suspensión	S Triplex	400	Ud		0		
		D Duplex	400	Ud		0		
		S Duplex	400	Ud		0		
		S Duplex	220	Ud		0		
		S Simplex	66-132	Ud	3	62		
		Grapas	Amarre	HAWK		Ud		0
				GULL		Ud		0
CONDOR				Ud		0		
CARDINAL				Ud	15	1.295		
LAPWING				Ud		0		
RAIL				Ud		0		
Suspensión	HAWK				Ud		0	
	GULL		Ud		0			
	CONDOR		Ud		0			
	CARDINAL		Ud	30	3.000			
	LAPWING		Ud		0			
	RAIL		Ud		0			
	1.4.1	Vidrio	E-160		Ud		0	
E-201				Ud		0		
Composite		Tipo 9	400	Ud		0		
		Tipo 4	400	Ud		0		
		Tipo 11	220	Ud	31	2.615		
		Tipo 21	132	Ud		0		

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA			Huella de Carbono		Teórico	
Línea Eléctrica Aérea					tCO2eq	
1	Etapa: Producción y Suministro de Materiales y Elementos				151	
Elementos	Categorías	Tensión	Unidad	Valor	kgCO2eq	
Amortiguador	Conductor		Ud		0	
	Fibra óptica		Ud	4	48	
	Cable de tierra		Ud	24	201	
Separador rígido	Duplex		Ud		0	
	Triplex		Ud		0	
Amortiguador-separador	Triplex		Ud		0	
Varilla preform. Amort.	Unica		Ud		0	
Empalme conductor	Compresión		Ud		0	
Contrapeso	10kg		Ud	18	666	
Tapones terminales	Unica		Ud		0	
Salvapájaros	Espiral		Ud	46	72	
	Nuevo		Ud		0	
Balizas	Unica		Ud	1	17	
Placas de señalización	Unica		Ud	4	1	
Peldaños	Unica		Ud	148	795	
Anillos de tierras	12mm		m	160	142	
Grapas tierras	Unica		Ud	16	19	

Tabla 2. Datos Producción y suministro de materiales

		Huella de Carbono			
		Línea Eléctrica Aérea		Teórico	tCO2eq
2	Etapa: Construcción				580
2.1	Transporte materiales a obra	Categorías	km	kg	kgCO2eq
2.1.1	Transporte de los apoyos	Medina del Campo (MADE)		10.727	0
		Torrejón de Ardoz (FUNTAM)	747	10.727	746
		Utrera (EUCOMSA)		10.727	0
2.1.2	Transporte de los anclajes	Medina del Campo (MADE)	0	585	0
		Torrejón de Ardoz (FUNTAM)	747	585	41
		Utrera (EUCOMSA)	0	585	0
2.1.3	Transporte de los conductores	Pamplona (INCASA-CABELTE)		470	0
		Oporto (Solicabel)		470	0
		Ugarte, Navarra (Trefinasa)	792	470	35
2.1.4	Transporte CT	Pamplona (INCASA-CABELTE)	0	7	0
		Oporto (Solicabel)	0	7	0
		Ugarte, Navarra (Trefinasa)	792	7	1
2.1.5	Transporte FO	Cabelte en Pamplona		95	0
		Prismian en Vilanova i la Geltru	351	95	3
		Draca en Maliaño (Santander)		95	0
2.1.6	Transporte de herrajes	Mudarra	984	1.549	142
2.1.7	Transporte del hormigón (m3)	Planta hormigón	75	34	830
2.2	Obra Civil y apertura de accesos	Categorías	Unidad	Valor	kgCO2eq
2.2.1	Excavadora para cimentación de apoyos	Volúmen cimentación	m3	37	792
2.2.2	Uso TT movimiento personal en obra	nº Apoyos	Ud	2	16
2.2.3	Excavadora para apertura de accesos	Longitud accesos	km	114	98.715
2.2.4	Camión grúa movimiento materiales	nº Apoyos	Ud	2	32
2.2.5	Desbroce y Tala de accesos	Superficie	Ha	0	
		Uso tala manual	%	50%	1
		Uso tala mecanizada	%	50%	1
2.2.6	Remoción de arbolado	Eucalipto	pie		0
		Pino	pie		0
		Otros	pie		0
2.2.7	Excavación zanjas de tomas de tierras	nº Apoyos	Ud	2	554
2.3	Armado e izado	Categorías	Unidad	Valor	kgCO2eq
2.3.1	Uso TT movimiento personal en obra	nº Apoyos	Ud	2	
		Uso grúa	%	0%	0
		Uso pluma	%	100%	16
2.3.2	Camión grúa movimiento materiales	kg Apoyos	kg	32.181	
		Uso grúa	%	0%	0
		Uso pluma	%	100%	144
2.3.3	Uso de Grúa / Pluma armado e izado	kg Apoyos	kg	32.181	
		Uso grúa	%	0%	0
		Uso pluma	%	100%	168


		Huella de Carbono			Línea Eléctrica Aérea	
					Teórico	tCO2eq
2	Etapa: Construcción					99
2.4	Tendido y Apertura de Calles	Categorías	Unidad	Valor	kgCO2eq	
2.4.1	Uso TT movimiento personal en obra	Dúplex	km	0,27	5	
2.4.2	Camión grúa movimiento materiales	Dúplex	km	0,27	10	
2.4.3	Uso de cabestrante/ tiro-freno	km Línea	km	0,27	7	
2.4.5	Desbroce y Tala de calles	Superficie	Ha			
		Uso tala manual	%	50%	0	
		Uso tala mecánica	%	50%	0	
2.4.6	Remoción de arbolado	Eucalipto	pie		0	
		Pino	pie		0	
		Otros	pie		0	
2.5	Servicios	Categorías	Unidad	Valor	kgCO2eq	
2.5.1	Uso TT movimiento personal en obra	Semanas obra	Semanas	4		
		Director facultativo			52	
		Supervisor de obra			258	
		Técnico de SyS			21	
		Técnico de permisos			361	
		Técnico medio ambiente			258	
		Semanas Arqueólogo	Semanas	0	0	
2.6	Gestión de Residuos	Categorías	Unidad	Valor	kgCO2eq	
2.6.1	Gestión de Residuos	Plásticos (inc tpte)	kg	10	1	
		Urbanos (inc tpte)	kg	58	27	
		Escombros (inc tpte)	m3	0	0	
		Excedentes excavación (inc tpte)	m3	111	125	
		Reciclado acero (inc tpte)	kg	2.527	-4.271	
		Reciclado papel/cartón	kg	1	0	

Tabla 3. Datos Construcción