


MANUAL DE USO



## MANUAL DE CALMAQ+

# Calculadora de Emisiones Contaminantes de Maquinaria Móvil No de Carretera - MMNC

 Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra  
  
Agencia Suiza para el Desarrollo  
y la Cooperación COSUDE

  
swisscontact

*CALAC+ es un programa de COSUDE ejecutado por Swisscontact*

## **MANUAL DE CALMAQ+ - Calculadora de Emisiones Contaminantes de Maquinaria Móvil No de Carretera - MMNC**

Documento elaborado en el marco del Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina - CALAC+ (Fase 1) financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación - COSUDE y ejecutado por la Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico – Swisscontact.

El presente manual es de carácter informativo y su uso al igual que el de la Herramienta CALMAC+ son responsabilidad del usuario y no necesariamente reflejan los puntos de vista u opiniones de las organizaciones y gobiernos participantes. Las denominaciones utilizadas y la presentación del material de esta publicación no implican en lo absoluto la expresión de ninguna opinión sobre el estatus legal de un país, territorio, ciudad o área, sobre sus autoridades. Los resultados del uso de esta información y la herramienta deben ser estudiados con cuidado, por las entidades o gobiernos interesados, considerando las condiciones locales propias (ej. riesgos para salud, tecnologías disponibles, aspectos económicos, factores políticos y sociales, nivel de desarrollo, la capacidad nacional o local, entre otros) antes de adoptar total o parcialmente contenidos de este manual o resultados de corridas de información directamente en instrumentos con validez jurídica.

Elaborado por:

**Andrés Felipe Diaz Barreto**  
Coordinador CALAC+ para Colombia

Revisado por:

**Adrián Montalvo**  
Director Programa CALAC+

**Helberth Santiago Morales Pinilla**  
Coordinador Non-Road CALAC+

En caso de realizar modificaciones a la herramienta o sugerencias de mejoras, les agradecemos escribirnos a [calac@swisscontat.org](mailto:calac@swisscontat.org) con sus propuestas o ajustes para considerar incorporarlas en la versión que ofrecemos al público y ayudar a más personas interesadas en optimizar el uso de la herramienta.

Imagen de Portada: N/A

Edición: Mayo 2021

LOS TEXTOS Y RESULTADOS DE EMISIONES POR CORRIDAS DE LA HERRAMIENTA CALMAC+ PUEDEN SER MENCIONADOS TOTAL O PARCIALMENTE CITANDO LA FUENTE.

## Tabla de contenido

1. Introducción .....	4
2. Modelo de Flujo de Información de CALMAQ+ .....	5
3. Uso básico de CALMAQ+ .....	6
4. Uso avanzado de CALMAQ+ .....	12
4.1. Pestaña <i>Cálculos</i> .....	13
4.2. Pestaña <i>Factor de Carga</i> .....	14
4.3. Pestaña <i>Deterioro</i> .....	14
4.4. Pestaña <i>Diésel suministro</i> .....	15
4.5. Pestaña <i>Factor de Ajuste Transitorio</i> .....	15
4.6. Pestaña <i>Vida media y Factor Proyecto</i> .....	16
4.7. Pestaña <i>Factores de Emisión</i> .....	17
4.8. Pestaña <i>soxcnv</i> .....	18
4.9. Pestaña <i>Carbono Negro</i> .....	18
4.10. Pestaña <i>Azufre por estándar</i> .....	19
4.11. Pestaña <i>Listas desplegadas</i> .....	20
4.12. Ajuste de factores de emisión con base en información local .....	20
4.12.1. Edición de factores de emisión obtenidos en pruebas en dinamómetro .....	20
4.12.2. Edición de factores de emisión obtenidos en pruebas con PEMS .....	21
4.13. Adición de nuevos rubros y tipos de maquinaria .....	23
5. Referencias .....	30
6. Anexo 1 – Ecuaciones de Cálculo de Emisiones .....	31

## 1. Introducción

El Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina (CALAC+) persigue una visión de ciudades más sanas que reducen sus emisiones de contaminantes y gases de efecto invernadero (GEI), mediante el fomento de un cambio hacia autobuses urbanos y maquinaria móvil no de carretera libres de hollín y bajos en emisiones de carbono.

Desde CALAC+ se desarrollaron cuatro herramientas creadas con el propósito de solucionar retos en la formulación de políticas, que incluyen la transformación de información técnica en resultados de cálculos de emisiones para simular escenarios prácticos de reducción de contaminantes. Lo anterior, considerando los impactos de costos asociados y beneficios ambientales y en la salud humana.

Se trata de instrumentos versátiles, fáciles de usar y en un software de amplia disponibilidad como es Excel de Microsoft, que permita su uso desde casi cualquier computador sin la necesidad de realizar instalaciones de programas ni altos requerimientos computacionales.

El presente documento corresponde al manual de usuario para la herramienta denominada *Calculadora de Emisiones Contaminantes de Maquinaria Móvil No de Carretera* (CALMAQ+).

Esta herramienta permite calcular de una manera muy sencilla las emisiones de los contaminantes que afectan la calidad del aire y de los gases y compuestos de efecto invernadero (GEI) de la maquinaria móvil utilizada en proyectos industriales, de construcción y agrícolas.

CALMAQ está especialmente diseñada para calcular las emisiones de flotas de maquinaria en obras o sitios puntuales de trabajo con maquinaria. Puede tratarse de una obra en ejecución, una obra ya terminada o una obra proyectada, en donde se tenga conocimiento del tipo de maquinaria específico, horas de uso, antigüedad y algunas otras características. Las sustancias que permite calcular esta herramienta son: Hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), material particulado (PM<sub>10</sub>) y (PM<sub>2.5</sub>), Carbono Negro (BC), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Así mismo, calcula el consumo de combustible diésel y la energía consumida de la flota analizada en un tiempo dado.

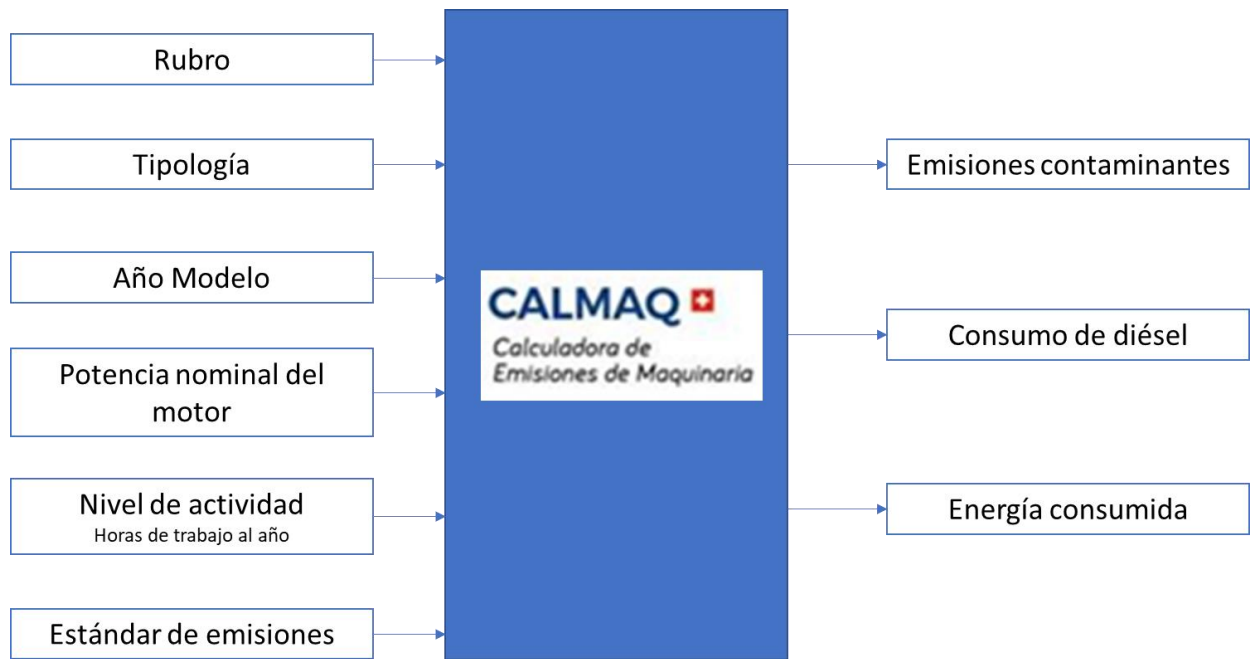
La metodología de cálculo empleada se presenta en la GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE MAQUINARIA MÓVIL NO DE CARRETERA (CALAC+, 2020) que se fundamenta principalmente en documentos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

El manual tiene el propósito de mostrarle al usuario cómo funciona la herramienta; cuál es la manera para operarla de una manera básica, utilizando la información predeterminada que tiene CALMAQ+, y cómo deben realizarse los ajustes que se consideren necesarios para utilizar información local. Por último, el documento muestra el modelo matemático que utiliza la herramienta para calcular las emisiones contaminantes.

## 2. Modelo de Flujo de Información de CALMAQ+

La metodología de cálculo de la herramienta está descrita en la guía metodológica desarrollada por CALAC+ (2020). En la Figura 1, se presenta los parámetros de entrada y los resultados de CALMAQ+:

Figura 1. Modelo de Flujo de Información CALMAQ+



### 3. Uso básico de CALMAQ+

En esta sección se describirá el paso a paso para utilizar la herramienta con el fin de obtener los resultados de emisiones de escape, de consumo de combustible y de energía utilizada, mediante el ingreso de la información de la maquinaria. En la sección 4, se explicará cómo el usuario puede modificar la información relacionada con los factores de emisión, de carga, de deterioro y otros aspectos que corresponden a un uso más avanzado de la herramienta.

Al abrir la herramienta, se despliega la siguiente ventana de bienvenida:

Figura 2. Ventana inicial de CALMAQ+

Bienvenido

**CALAC**  
Programa Clima y Aire Limpio  
en Ciudades de América Latina

**Calculadora de emisiones contaminantes de Maquinaria Móvil  
No de Carretera - CALMAQ+**

Tiempo del proyecto

Tiempo del proyecto [días]

Combustible

Seleccione si quiere definir la cantidad de azufre en el diésel

Seleccione si quiere que la herramienta defina la cantidad de azufre según norma colombiana

Azufre en diésel [ppm]

OK

#### Paso 1

Definir en días el tiempo de proyecto en la casilla que está al frente del título *Tiempo del proyecto [días]*. Si no se introduce esta información y se cierra la ventana, la herramienta arrojará un error y no permitirá el cálculo de las emisiones de la flota cargada.

## Paso 2

Seleccionar en el recuadro *Combustible* la opción que más se ajuste de acuerdo con las especificaciones del combustible diésel que van a utilizar las máquinas durante el tiempo del proyecto:

1. *Seleccione si desea definir la cantidad de azufre en el diésel:* Al seleccionar esta opción, el usuario debe diligenciar en la casilla *Azufre en diésel* la cantidad de azufre en partes por millón que contiene el diésel que va a ser suministrado a las máquinas durante el proyecto.
2. *Seleccione si desea que la herramienta defina la cantidad de azufre según norma colombiana:* La selección de esta opción deshabilita la casilla *Azufre en diésel* y asignará la cantidad de azufre según la fecha en la que se esté utilizando la herramienta y los cronogramas de implementación en la norma:

Tabla 1. Cronograma de cantidad de azufre en el diésel, según norma colombiana

Fecha	Cantidad de azufre en el diésel [ppm]
Antes del 30 de abril del 2021	50
Entre el 1 de mayo del 2021 y el 31 de diciembre del 2022	20
Entre el 1 de enero del 2023 y el 31 de noviembre del 2025	15
A partir del 1 de diciembre del 2025	10

Fuente: Elaboración propia a partir de la Resolución 40103 del 2021 del Ministerio de Minas y Energía y del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

## Paso 3

Dar clic en el botón *Ok* cuando ya se haya diligenciado correctamente la información solicitada en los Pasos 1 y 2.

## Paso 4

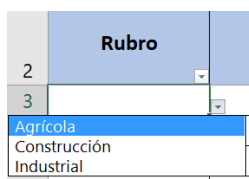
En la Figura 3, se presenta la pestaña principal de la herramienta, en la que el usuario deberá diligenciar la información de la maquinaria cuyas emisiones desean ser calculadas a través de CALMAQ+.

Figura 3. Pestaña en la que se ingresa la información de la maquinaria

Rubro	Tipo	Año modelo	Potencia [kW]	Nivel de Actividad [horas/año]	Estándar de emisiones	Cantidad	Rango de potencia

En la columna *Rubro*, el usuario debe seleccionar entre las tres opciones que se despliegan en la celda correspondiente:

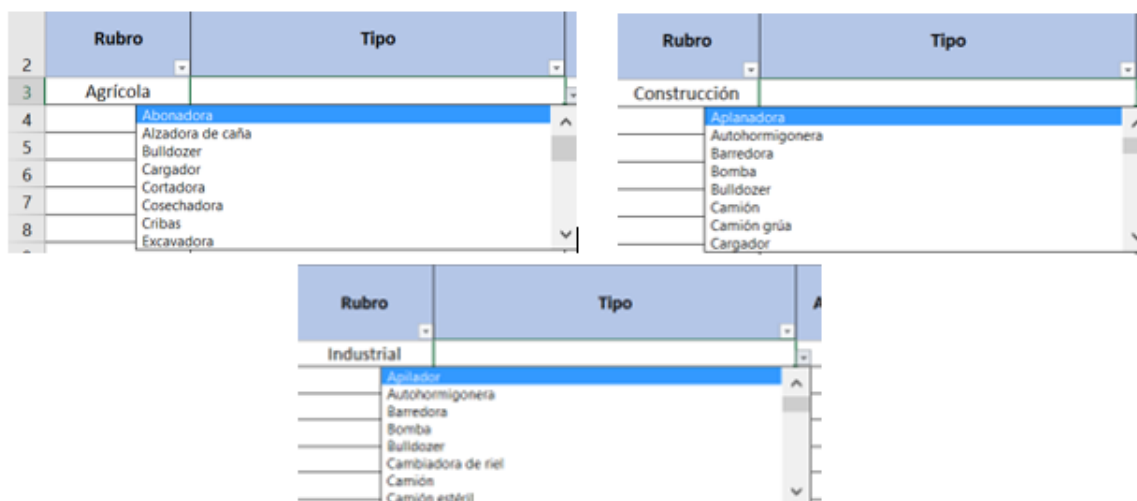
Figura 4. Columna Rubro



### Paso 5

Seleccionar una de las opciones que se listan en la celda correspondiente a la columna *Tipo*. Es importante seleccionar adecuadamente el rubro, teniendo en cuenta que las opciones que se van a presentar en la columna *Tipo* dependen de la selección en la columna *Rubro*:

Figura 5. Opciones que se despliegan en la columna *Tipo*, según la selección en la columna *Rubro*



La herramienta también presenta la opción *Otra maquinaria* para incluir alguna máquina que no se encuentre dentro de las opciones preestablecidas. En la sección 4, que corresponde a la del uso avanzado de la herramienta, se muestra cómo el usuario puede incluir más tipos de máquinas para que sean contempladas en esta lista.

### Paso 6

Diligenciar en formato numérico las columnas *Año modelo*, *Potencia [kW]* y *Nivel de actividad [horas/año]*, tomando en cuenta las unidades solicitadas para potencia y nivel de actividad, que son kW<sup>1</sup> y horas por año. Para la columna de *Nivel de actividad [horas/año]*, en caso de que no tenga información sobre la actividad real de las máquinas, el usuario puede utilizar los valores que se encuentran en la

<sup>1</sup> 1 kW corresponde 1,34102 hp



pestaña *Niveles de Actividad*, que corresponden a los datos de referencia de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, 2010).

Figura 6. Pestaña Niveles de Actividad

Niveles de Actividad		
Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos		
Rubro	Tipo	Nivel de Actividad [h/año]
Agrícola	Retrocargador	1135
Agrícola	Retroexcavadora	1135
Agrícola	Taladro perforación pozo petrolero	466
Agrícola	Tractor	475
Agrícola	Tractor sobre oruga	936
Agrícola	Transplantadora	381
Agrícola	Zanjadora	593
Construcción	Aplanadora	760
Construcción	Autohormigonera	606
Construcción	Bulldozer	899

### Paso 7

Escoger el estándar de emisiones que aplica según la potencia que tiene la máquina. Para ello, CALMAQ+ presenta una lista desplegable en la que el usuario debe escoger una opción, según la información que tenga del fabricante o de la homologación realizada en otro país para la máquina en cuestión:

Figura 7. Columna Estándar de emisiones

Rubro	Tipo	Año modelo	Potencia [kW]	Nivel de Actividad [horas/año]	Estándar de emisiones
Construcción	Aplanadora	2010	101	650	Tier 0
					Tier 1
					Tier 2
					Tier 3
					Tier 4I
					Tier 4IB
					Tier 4IC
					Tier 4ID

Los estándares de emisiones con los que trabaja CALMAQ+ son los que se han implementado en los Estados Unidos. Cabe aclarar que el estándar Tier 0 realmente no existe en la normativa, sino es el rótulo que se le da a los motores construidos previo a la implementación del Tier 1. Así mismo, la herramienta presenta algunas subcategorías dentro de ciertos estándares que se distinguen según los dispositivos de postratamiento que esté utilizando la máquina. En la Tabla 2, se presentan las subcategorías de los estándares Tier 4I (Intermedio) y Tier 4F (Final) y los correspondientes dispositivos de postratamiento que tendría la máquina.

Tabla 2. Subcategorías de los estándares Tier 4 Intermedio y Tier 4 Final

Subcategoría	SCR	DPF
Tier 4IA y Tier 4FA	No	No
Tier 4IB y Tier 4FB	Sí	No
Tier 4IC y Tier 4FC	No	Sí
Tier 4ID y Tier 4FD	Sí	Sí

Fuente: Adaptado de CALAC+, 2020.

Cabe aclarar que el usuario también puede diligenciar estándares de emisión de máquinas cuyos niveles han sido homologados con estándares de la Unión Europea, utilizando la tabla de equivalencias que se presenta a continuación:

Tabla 3. Equivalencia entre estándares de emisiones de Estados Unidos y de la Unión Europea

Estándar de emisiones estadounidense	Estándar de emisiones europeo
Tier 0	Pre-Stage
Tier 1	Stage I
Tier 2	Stage II
Tier 3	Stage IIIA
Tier 4I	Stage IIIB
Tier 4F	Stage IV
Tier 4FD	Stage V

Fuente: CALAC+, 2020.

### Paso 8

Ingresa la cantidad de máquinas que cumplan con las mismas características anteriormente diligenciadas en la columna *Cantidad*. En caso de que no se tengan más máquinas con las mismas características, el valor que debe diligenciarse es uno (1).

### Paso 9

Repetir los pasos 4 al 8 para cada una de las máquinas que se tengan en la flota que se quiere evaluar, teniendo en cuenta que las máquinas pueden agruparse en segmentos si tienen las mismas características técnicas que se pidieron en los pasos anteriores. En la siguiente figura, se presenta un ejemplo de la pestaña diligenciada:

Figura 8. Pestaña principal diligenciada con la información de la flota de maquinaria


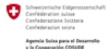

Rubro	Tipo	Año modelo	Potencia [kW]	Nivel de Actividad [horas/año]	Estándar de emisiones	Cantidad	Rango de potencia
Construcción	Aplanadora	2010	101	650	Tier 4FB	3	75skW<130
Construcción	Bulldozer	1980	123	800	Tier 0	1	75skW<130
Construcción	Autohormigonera	2008	93	720	Tier 1	2	75skW<130
Construcción	Excavadora	1994	209	1092	Tier 0	1	130skW<225
Industrial	Montacargas	2016	44	1500	Tier 4FC	2	37skW<56
Industrial	Barredora	2018	118	1220	Tier 2	1	75skW<130

### Paso 10

Dar clic en el botón *Calcular* (señalado en un recuadro verde en la Figura 8) una vez se haya diligenciado la información de toda la maquinaria.

Luego de haber dado clic en el botón *Calcular*, la herramienta automáticamente mostrará la pestaña *Resultados*, que presenta la siguiente interfaz:

Figura 9. Presentación de resultados calculados por CALMAQ+

 		Resultados									
	Total [ton/proyecto]	Total [kg/proyecto]	Emisiones específicas de la flota [g/kWh]								
Hidrocarburos (HC)	0,27	272,70	0,52								
Monóxido de Carbono (CO)	1,53	1.531,07	2,90								
Óxidos de Nitrógeno (NOx)	3,33	3.332,42	6,31								
Material Particulado (PM <sub>10</sub> )	0,23	229,79	0,44								
Material Particulado (PM <sub>2.5</sub> )	0,22	222,89	0,42								
Carbono Negro (BC)	0,14	135,68	0,26								
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	388,38	388.380,74	735,98								
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	0,00	4,25	0,01								
BSFC	122,02	122.022,15	231,23								
<table border="1"> <tr> <td>Consumo de diésel [gal/proyecto]</td> <td>37.657,54</td> </tr> <tr> <td>Energía consumida [MWh/proyecto]</td> <td>1.485,59</td> </tr> <tr> <td>Trabajo realizado [MWh/proyecto]</td> <td>527,71</td> </tr> </table>						Consumo de diésel [gal/proyecto]	37.657,54	Energía consumida [MWh/proyecto]	1.485,59	Trabajo realizado [MWh/proyecto]	527,71
Consumo de diésel [gal/proyecto]	37.657,54										
Energía consumida [MWh/proyecto]	1.485,59										
Trabajo realizado [MWh/proyecto]	527,71										

Reiniciar y borrar información diligenciada

Como puede verse, en la Figura 9, se presentan los resultados de las emisiones contaminantes en toneladas y en kilogramos de la flota diligenciada en la pestaña *Principal*. Así mismo, se presentan las emisiones específicas de la flota, con el fin de poder comparar el desempeño ambiental entre diferentes flotas. Adicionalmente, CALMAQ+ presenta el consumo de combustible, la energía consumida según el poder calorífico del combustible y el trabajo realizado de la flota diligenciada en la pestaña *Principal*.

Los resultados de los cálculos son obtenidos a partir de los factores de emisión, los factores de carga<sup>2</sup> y los consumos de combustible específicos (BSFC, por sus siglas en inglés) que utiliza la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, 2018).

En la sección 4, se muestra cómo se puede editar esta información, para que la herramienta pueda calcular las emisiones contaminantes según datos de operación y factores de emisión obtenidos localmente.

Por último, si el usuario quiere reiniciar la herramienta y borrar la información, CALMAQ+ presenta un botón para así hacerlo, que se encuentra señalado con un recuadro rojo en la Figura 9.

<sup>2</sup> Definido como la fracción de la potencia nominal del motor a la que típicamente opera la maquinaria.

#### 4. Uso avanzado de CALMAQ+

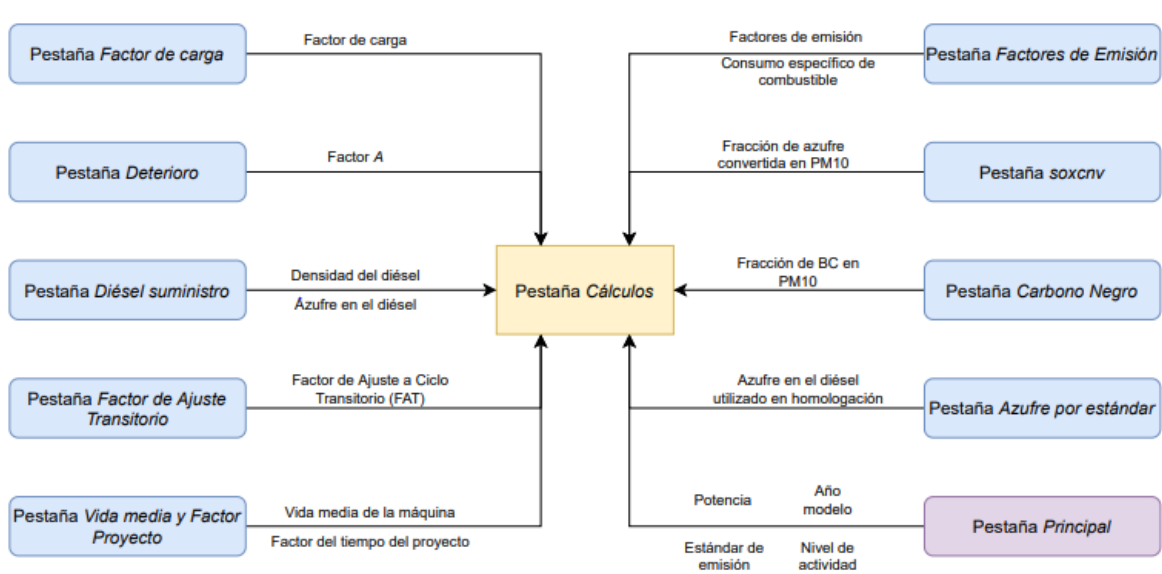
La presente sección está dividida en subsecciones que representan cada una de las pestañas que tiene CALMAQ+ pensada en el uso avanzado de la herramienta con intenciones de modificación de valores de cálculo.

**En caso de realizar modificaciones a la herramienta o sugerencias de mejoras, les agradecemos escribirnos a [calac@swisscontat.org](mailto:calac@swisscontat.org) con sus propuestas o ajustes para considerar incorporarlas en la versión que ofrecemos al público y ayudar a más personas interesadas en optimizar el uso de la herramienta.**

Para realizar los ajustes que se crean necesarios para el cálculo de las emisiones contaminantes, es necesario entender cómo funciona la herramienta. El corazón de CALMAQ+ es la pestaña llamada *Cálculos*, ya que es en donde el archivo realiza todos los cálculos para estimar las emisiones contaminantes y los consumos de combustible según la información diligenciada en la pestaña *Principal* y los valores configurados en las demás pestañas.

En el Anexo 1, se presentan las ecuaciones del modelo matemático que utiliza CALMAQ+ para cuantificar las emisiones contaminantes y los consumos de combustible; estas ecuaciones se encuentran contempladas en la pestaña *Cálculos*, cuyos insumos de información se recuperan de las demás pestañas de la siguiente manera:

Figura 10. Interacción entre pestañas para calcular las emisiones



Las pestañas que se presentan a continuación tienen diferentes formatos, sin embargo, para claridad del usuario, las celdas que están sombreadas con color gris (excepto por los casos mencionados en la

sección 4.13) no deben ser modificadas, ya que son necesarias para el funcionamiento adecuado de la herramienta.

#### 4.1. Pestaña *Cálculos*

Como se mencionó anteriormente, la pestaña *Cálculos* contiene las ecuaciones que se encuentran en el Anexo 1 – Ecuaciones de Cálculo de Emisiones. La pestaña se encuentra dividida en diferentes secciones para que el usuario pueda identificar de manera sencilla los parámetros que se calcularon:

- Información de la maquinaria:
  - Edad de la maquinaria calculada a partir del año modelo.
  - SCC (Código de Clasificación de Fuente)<sup>3</sup>, tomado de la documentación de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y que se encuentra en la pestaña *Factor de Carga*.
  - Factor de carga.
  - Factor de edad calculado con la
  - 
  - Ecuación 4.
  - Trabajo realizado en [kWh] calculado a partir de la potencia, el factor de carga, la cantidad, el nivel de actividad y el factor del proyecto.
- Factores de Ajuste a Ciclo Transitorio
- Deterioro
- Emisiones específicas [g/kWh]
- Resultados totales [g/proyecto]

Esta pestaña tiene exclusivamente las ecuaciones y su modificación no sería recomendable a menos de que se considere utilizar un modelo matemático alternativo. Por otro lado, la pestaña, específicamente en la parte de *Resultados totales [g/proyecto]*, presenta una ayuda visual para identificar los segmentos de flota que tienen una mayor contribución en las emisiones contaminantes:

Figura 11. Presentación de resultados por segmento de flota diligenciada en la pestaña Principal

ID	Resultados Totales [g/proyecto]			
	Emisiones NOx	Emisiones PM10	Emisiones PM2.5	Emisiones Carbono Negro
Construcción_Aplanadora	3,23,E+05	0,00,E+00	0,00,E+00	0,00,E+00
Construcción_Bulldozer	6,43,E+05	5,07,E+04	4,92,E+04	2,79,E+04
Construcción_Autohormigonera	5,91,E+05	4,52,E+04	4,39,E+04	3,62,E+04
Construcción_Excavadora	1,49,E+06	1,18,E+05	1,14,E+05	5,88,E+04
Industrial_Montacargas	2,37,E+05	3,19,E+02	3,09,E+02	4,78,E+01
Industrial_Barredora	3,46,E+05	1,32,E+04	1,28,E+04	1,06,E+04

<sup>3</sup> Es un código que utiliza la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos para clasificar a los emisores de contaminantes. Se utiliza en esta herramienta para armonizar los tipos de máquinas con los que utiliza esta Agencia, para así utilizar los valores de factor de carga y de ajuste a ciclo transitorio que se tienen para los inventarios de Estados Unidos.

## 4.2. Pestaña *Factor de Carga*

En esta pestaña se presentan los tipos de máquinas según rubro, tipo, SCC y factor de carga. Como se muestra en la Figura 10, la información que toma la pestaña *Cálculos* es el factor de carga, a partir de un ID, que es el concatenado del *Rubro* y *Tipo*.

Figura 12. Pestaña Factor de Carga

Rubro	Tipo	ID	SCC	Factor de carga
Agrícola	Abonadora	Agrícola_Abonadora	2270005055	0,59
Agrícola	Alzadora de caña	Agrícola_Alzadora de caña	2270005055	0,59
Agrícola	Bulldozer	Agrícola_Bulldozer	2270002063	0,59
Agrícola	Cargador	Agrícola_Cargador	2270002060	0,59
Agrícola	Cortadora	Agrícola_Cortadora	2270004040	0,43
Agrícola	Cosechadora	Agrícola_Cosechadora	2270005045	0,59

Así mismo, la herramienta, para tomar los valores de factores de ajuste a ciclo transitorio (FAT), debe conocer el SCC para la combinación de *Tipo* y *Rubro*. Este SCC es tomado también de esta pestaña.

El usuario puede ajustar los factores de carga en caso de que tenga información local. Para hacerlo, el usuario simplemente debe ajustar los valores que están en la columna *Factor de carga*, según el tipo de máquina y el rubro.

Para adicionar un tipo de máquina que no esté contemplada, debe realizarse una serie de ajustes en esta pestaña y en otras; el procedimiento para hacerlo está explicado en la sección *Adición de nuevos rubros y tipos* de maquinaria.

Los valores predeterminados en la herramienta son tomados de Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2018).

## 4.3. Pestaña *Deterioro*

El usuario puede editar la constante *A*, que se encuentra en las ecuaciones *Ecuación 5* y *Ecuación 6*, que es la que determina el comportamiento lineal del deterioro, desde el año 0 hasta cumplir la vida útil de la máquina, que también puede ser editada en la Pestaña *Vida media y Factor Proyecto*.

Figura 13. Pestaña Deterioro

Parámetro	Factor de deterioro												
	Base	Tier 0	Tier 1	Tier 2	Tier 3	Tier 4IA	Tier 4IB	Tier 4IC	Tier 4ID	Tier 4FA	Tier 4FB	Tier 4FC	Tier 4FD
HC_A	0,047	0,047	0,036	0,034	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
CO_A	0,185	0,185	0,101	0,101	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151	0,151
NOx_A	0,024	0,024	0,024	0,009	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
PM_A	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473

Como puede verse en la figura anterior, este parámetro A depende del contaminante<sup>4</sup> y del estándar de emisiones. El usuario puede ajustar los valores simplemente mediante la edición de la celda o celdas según el contaminante y el estándar de emisiones.

Los valores predeterminados en la herramienta son tomados de Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2018).

#### 4.4. Pestaña Diésel suministro

Los parámetros del combustible diésel que se vaya a utilizar en las máquinas móviles influyen en los resultados que presenta CALMAQ+.

Figura 14. Pestaña Diésel suministro

<b>Azufre en el diésel [ppm]</b>	<b>20</b>
<b>Azufre en el diésel [%]</b>	<b>0,002</b>
<b>Densidad del diésel [kg/m3]</b>	<b>856</b>
<b>Densidad del diésel [g/gal]</b>	<b>3240,3</b>
<b>Low Heating Value [MJ/kg]</b>	<b>43,8</b>
<b>Low Heating Value [kWh/gal]</b>	<b>39,4</b>

Aunque en la ventana inicial de CALMAQ+ el usuario puede definir la cantidad de azufre en el diésel, también es posible editarla en esta pestaña. Por otro lado, según la información actualizada que se tenga sobre el diésel que se está utilizando, podría editarse la densidad y el poder calorífico inferior (Low Heating Value) para actualizar los resultados de consumo de combustible de la flota y de la energía consumida.

#### 4.5. Pestaña Factor de Ajuste Transitorio

Los factores de ajuste a ciclo transitorio (FAT) son una herramienta matemática para cuantificar las emisiones de las máquinas móviles cuyos motores solamente fueron evaluados bajo un ciclo

<sup>4</sup> El modelo matemático utilizado para esta herramienta solamente contempla el factor de deterioro para HC, CO, NOx y PM. Para CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, las emisiones son estimadas por el consumo de combustible y por la cantidad de azufre en el combustible, por lo que el deterioro las afecta, pero indirectamente por los hidrocarburos no quemados.

estacionario, tomando en consideración que un ciclo transitorio, como es el NRTC, contempla las variaciones en par motor y régimen que se esperaría de una máquina móvil en operación.

En la siguiente figura, los FAT dependen del estándar de emisiones (hasta Tier 3, ya que en Tier 4I y Tier 4F el ajuste no es necesario, porque los motores fueron evaluados bajo un ciclo transitorio) y de los SCC (los valores predeterminados en la herramienta son tomados de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2018)):

Figura 15. Pestaña Factor de Ajuste Transitorio

SCC	Rubro	Tipo	ID	Tier 0	Tier 1	Tier 2	Tier 3	Tier 4IA	Tier 4IB	Tier 4IC
2270005055	Agrícola	Abonadora	Agrícola_Abonadora	1.05	1.05	1.05	1.05	1	1	1
2270005055	Agrícola	Alzadora de caña	Agrícola_Alzadora de caña	1.05	1.05	1.05	1.05	1	1	1
2270002063	Agrícola	Bulldozer	Agrícola_Bulldozer	1.05	1.05	1.05	1.05	1	1	1
2270002060	Agrícola	Cargador	Agrícola_Cargador	1.05	1.05	1.05	1.05	1	1	1
2270004040	Agrícola	Cortadora	Agrícola_Cortadora	1	1	1	1	1	1	1
2270005045	Agrícola	Cosechadora	Agrícola_Cosechadora	1.05	1.05	1.05	1.05	1	1	1
2270005055	Agrícola	Cribas	Agrícola_Cribas	1.05	1.05	1.05	1.05	1	1	1
2270002036	Agrícola	Excavadora	Agrícola_Excavadora	1.05	1.05	1.05	1.05	1	1	1
2270005055	Agrícola	Fertilizadora	Agrícola_Fertilizadora	1.05	1.05	1.05	1.05	1	1	1
2270005055	Agrícola	Fresadora	Agrícola_Fresadora	1.05	1.05	1.05	1.05	1	1	1

El ajuste de estos valores puede ser realizado con base en información local que se tenga sobre la relación entre los factores de emisión obtenidos mediante mediciones. Sin embargo, se recomienda revisar la sección *Ajuste de factores de emisión con base en información local*, con el fin de que la herramienta pueda funcionar adecuadamente.

#### 4.6. Pestaña Vida media y Factor Proyecto

La vida media de las máquinas móviles es una variable que se utiliza en esta herramienta para determinar el deterioro en función de su edad. La información tomada de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2010) es utilizada como insumo para determinar un factor de edad, como se muestra en la

*Ecuación 4*, y así determinar el factor de deterioro.

Estos valores están organizados según rango de potencia, de conformidad con el análisis cualitativo que hace la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de que la vida media es dependiente del tamaño del motor.



Figura 16. Pestaña Vida media y Factor Proyecto

Rango de potencia	Vida Media [h]
kW<8	2500
8≤kW<12	2500
12≤kW<19	2500
19≤kW<37	2500
37≤kW<56	4667
56≤kW<75	4667
75≤kW<130	4667
130≤kW<225	4667
225≤kW<450	7000
450≤kW<560	7000
560≤kW	7000
Tiempo del proyecto [días]	365
Factor del proyecto	1

El usuario puede editar estos valores según la información local; esta deberá tener en cuenta un análisis de datos obtenidos a partir de mediciones en diferentes edades de la maquinaria móvil, para así contemplar un modelo matemático que requiera el ajuste del parámetro *A* en las ecuaciones *Ecuación 5* y *Ecuación 6*, así como una vida media según rango de potencia.

En cuanto al *Tiempo del proyecto [días]*, la información que se presenta allí es la que el usuario diligenció en la interfaz de bienvenida de la herramienta, como se muestra en la Figura 2; sin embargo, el usuario puede editar el valor desde esta pestaña.

#### 4.7. Pestaña *Factores de Emisión*

En esta pestaña, el usuario encontrará los factores de emisión que son utilizados según potencia y tecnología o estándar de emisiones, los cuales corresponden a los datos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2018). La edición de esta pestaña es muy sencilla, ya que solamente requiere encontrar el valor según contaminante y tecnología para editarlo. Es importante aclarar que los factores de emisión que se presentan en esta pestaña son exclusivamente del motor, bajo un ciclo estandarizado. Para utilizar factores de emisión locales, se recomienda revisar la sección *Ajuste de factores de emisión con base en información local*, con el fin de que la herramienta pueda funcionar adecuadamente.

Figura 17. Pestaña Factores de Emisión

Potencia [kW]	Tecnología	ID_FE	FE HC [g/kWh]	FE CO [g/kWh]	FE NOx [g/kWh]	FE PM [g/kWh]	FE BSFC [g/kWh]
kW<8	Tier 0	kW<8_Tier 0	2,04	6,80	13,60	1,36	251,62
kW<8	Tier 1	kW<8_Tier 1	1,04	5,59	7,11	0,61	251,62
kW<8	Tier 2	kW<8_Tier 2	0,75	5,59	5,85	0,68	251,62
kW<8	Tier 4FA	kW<8_Tier 4FA	0,73	2,83	5,49	0,29	251,62
kW<8	Tier 4FB	kW<8_Tier 4FB	1,01	3,06	5,66	0,25	251,62
8≤kW<12	Tier 0	8≤kW<12_Tier 0	2,31	6,80	11,56	1,22	251,62
8≤kW<12	Tier 1	8≤kW<12_Tier 1	0,60	2,94	6,04	0,36	251,62
8≤kW<12	Tier 2	8≤kW<12_Tier 2	0,60	2,94	6,04	0,36	251,62
8≤kW<12	Tier 4FA	8≤kW<12_Tier 4FA	0,73	2,83	5,49	0,29	251,62
8≤kW<12	Tier 4FB	8≤kW<12_Tier 4FB	0,42	1,85	5,09	0,18	251,62
12≤kW<19	Tier 0	12≤kW<19_Tier 0	2,31	6,80	11,56	1,22	251,62

#### 4.8. Pestaña *soxcnv*

Esta pestaña presenta el factor de conversión *soxcnv*<sup>5</sup> que se utiliza para saber la fracción de azufre que se convierte en material particulado. Este factor es importante para determinar el ajuste que debe realizar el modelo matemático para contemplar la cantidad de SO<sub>2</sub> que emite la maquinaria, así como el ajuste en el material particulado por utilizar un combustible que tiene una cantidad de azufre distinta de la utilizada en la prueba para la certificación del motor. Este valor es tomado de la Agencia Protección Ambiental de los Estados (2018).

Es recomendable no editar esta pestaña, a menos de que se tenga información científica que haga replantear esta suposición.

#### 4.9. Pestaña *Carbono Negro*

El carbono negro es calculado a partir de la emisión de material particulado PM<sub>10</sub>, y es tomado en cuenta en esta herramienta como una fracción. Los valores predeterminados en CALMAQ+ fueron tomados de la Agencia Ambiental Europea (2019).

Por lo tanto, la pestaña en cuestión presenta la fracción de este contaminante en PM<sub>10</sub> según estándar de emisiones y potencia:

<sup>5</sup> Gramos de Azufre en MP/gramos de Azufre en combustible consumido.

Figura 18. Pestaña Carbono Negro

Estándar	< 130 kW	≥ 130 kW
	BC/PM10	BC/PM10
Tier 0	0,55	0,5
Tier 1	0,8	0,7
Tier 2	0,8	0,7
Tier 3	0,8	0,7
Tier 4IA	0,8	0,7
Tier 4IB	0,8	0,7
Tier 4IC	0,15	0,15
Tier 4ID	0,15	0,15
Tier 4FA	0,8	0,7
Tier 4FB	0,8	0,7
Tier 4FC	0,15	0,15
Tier 4FD	0,15	0,15

El usuario puede editar esta información según la información científica actualizada que pueda tener, para que así la herramienta pueda estimar la emisión de carbono negro con la información más actualizada posible.

#### 4.10. Pestaña *Azufre por estándar*

La información sobre el contenido de azufre en el diésel utilizado para la certificación del motor es necesaria para contemplar los ajustes en SO<sub>2</sub> y en el material particulado, que corresponden a valores tomados de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2018). Estos valores no son editables, ya que corresponden a información estandarizada que no debería cambiar a pesar de las condiciones locales.

Figura 19. Pestaña Azufre por estándar

Estándar	Azufre en el diésel [%]
Tier 0	0,33
Tier 1	0,33
Tier 2	0,2
Tier 3	0,2
Tier 4IA	0,05
Tier 4IB	0,05
Tier 4IC	0,05
Tier 4ID	0,05
Tier 4FA	0,0015
Tier 4FB	0,0015
Tier 4FC	0,0015
Tier 4FD	0,0015

#### 4.11. Pestaña *Listas desplegadas*

Con el fin de que el usuario pueda seleccionar las opciones adecuadas en la pestaña *Principal*, CALMAQ+ tiene una serie de listas desplegadas que presentan la información según la selección realizada en una casilla determinada. Por ejemplo, si el usuario diligencia una potencia entre 19 kW y 37 kW, la herramienta solamente va a presentarle los estándares de emisión que aplican según esta selección.

Esta pestaña puede ser editada para adicionar nuevos rubros o tipos de maquinaria (para las demás listas no es recomendable hacer cambios ya que podrían afectar el funcionamiento adecuado de la herramienta). Para realizar este proceso, se recomienda revisar la sección *Adición de nuevos rubros y tipos de maquinaria*.

#### 4.12. Ajuste de factores de emisión con base en información local

La herramienta CALMAQ+ tiene la característica de ser editada según considere el usuario. Teniendo en cuenta que los esfuerzos de autoridades locales es poder obtener factores de emisión locales, ya sea por medio de pruebas en dinamómetro o de pruebas con PEMS, esta sección tiene como objeto presentar los procedimientos para editar la información pertinente a los factores de emisión obtenidos por estas dos formas de medición.

##### 4.12.1. Edición de factores de emisión obtenidos en pruebas en dinamómetro

Los factores de emisión que utiliza la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2010) son estimados a partir de los valores obtenidos en los procesos de certificación que deben cumplir los fabricantes para comercializar maquinaria móvil en Estados Unidos, así como de información disponible de otras fuentes cuando no se tuvieran estos valores. Los valores reportados por esta Agencia están presentados de acuerdo con el nivel tecnológico o estándar de emisiones y la potencia.

Es importante aclarar que estos factores de emisión fueron estimados a partir de las características de la flota de los Estados Unidos, considerando la distribución porcentual según potencia y nivel tecnología.

En caso de que se tenga información local sobre los resultados de emisiones obtenidos en pruebas en dinamómetro de la flota que se va a analizar, luego de haber realizado un análisis estadístico de la información que resulte en valores esperados de factores de emisión por tecnología y rango de potencia, el usuario puede ingresar estos valores en la pestaña *Factores de Emisión* de la siguiente manera:

### Paso 1:

En la pestaña de *Factores de Emisión*, identificar la tecnología y el rango de potencia que se va a editar (en la siguiente figura, se resalta, como ejemplo, el rango de potencia  $56 \leq kW < 75$  y el nivel tecnológico Tier 4IA):

1	Potencia [kW]	Tecnología	ID_FE	FE HC	FE CO	FE NOx	FE PM	FE BSFC
32	56≤kW<75	Tier 3	56≤kW<75_Tier 3	0,25	3,22	4,08	0,27	251,62
33	56≤kW<75	Tier 4IA	56≤kW<75_Tier 4IA	0,12	0,53	3,43	0,16	251,62
34	56≤kW<75	Tier 4IC	56≤kW<75_Tier 4IC	0,01	0,04	2,66	0,01	251,62

### Paso 2:

Ingresar los valores en g/kWh de los factores de emisión que se tienen para este rango de potencia y nivel tecnológico (por ejemplo, HC= 0,1 g/kWh; CO=0,2 g/kWh; NOx= 3,2 g/kWh; PM=0,05 g/kWh; BSFC=230 g/kWh).

1	Potencia [kW]	Tecnología	ID_FE	FE HC	FE CO	FE NOx	FE PM	FE BSFC
32	56≤kW<75	Tier 3	56≤kW<75_Tier 3	0,25	3,22	4,08	0,27	251,62
33	56≤kW<75	Tier 4IA	56≤kW<75_Tier 4IA	0,10	0,20	3,20	0,05	230,00
34	56≤kW<75	Tier 4IC	56≤kW<75_Tier 4IC	0,01	0,04	2,66	0,01	251,62

## 4.12.2. Edición de factores de emisión obtenidos en pruebas con PEMS

Las pruebas con PEMS permiten obtener factores de emisión de fuentes móviles con un ciclo de operación real. Por lo tanto, a pesar de que dos tipos de máquinas puedan tener el mismo motor, los factores de emisión pueden variar debido a la diferencia en los ciclos de operación que puedan tener estos dos tipos de máquinas. Si bien el modelo matemático que utiliza CALMAQ+ solamente contempla los factores de emisión por rango de potencia y por tecnología, el usuario puede usar los factores de ajuste a ciclo transitorio como una herramienta matemática para diferenciar los resultados según el tipo de máquina.

Para ilustrar mejor este punto, se presenta el siguiente ejemplo:

Luego de pruebas realizadas con PEMS a varios cargadores y retroexcavadoras de construcción que tuvieran un motor entre  $56 \leq kW < 75$  y un nivel tecnológico Tier 4IA, se obtuvieron los siguientes factores de emisión:

	FE HC [g/kWh]	FE CO [g/kWh]	FE NOx [g/kWh]	FE PM [g/kWh]	FE BSFC [g/kWh]
<b>Cargador</b>	0,52	2,91	6,31	0,44	231,46
<b>Retroexcavadora</b>	0,48	1,46	2,00	0,24	260,22

Teniendo en cuenta que se quiere que CALMAQ+ contemple estos factores, y dado el caso que se quiera mantener los factores de emisión predeterminados en la herramienta para máquinas distintas de estos dos tipos, se deben utilizar los factores de ajuste FAT para realizar esto. La manera de hacerlo es la siguiente:

**Paso 1:**

Calcular los factores de ajuste FAT para estos dos tipos de maquinaria, mediante la siguiente relación:

$$FAT = \frac{FE_{PEMS}}{FE_{CALMAQ+}}$$

Por ejemplo, para el caso del cargador, el factor de emisión de HC obtenido mediante la medición de PEMS es 0,52 g/kWh, mientras que el factor de emisión de HC para el rango de potencia y nivel tecnológico anteriormente mencionados que tiene CALMAQ+ es 0,12 g/kWh. El FAT sería el siguiente:

$$FAT(HC) = \frac{0,52 \frac{g}{kWh}}{0,12 \frac{g}{kWh}} = 4,33$$

Esto se haría para los demás contaminantes y para el otro tipo de maquinaria, que resultaría en los siguientes valores:

	FAT HC	FAT CO	FAT NOx	FAT PM10	FAT BSFC
<b>Cargador</b>	4,33	5,39	1,84	2,75	0,92
<b>Retroexcavadora</b>	4,00	2,70	0,58	1,50	1,03

**Paso 2:**

Reemplazar los valores FAT que están en la herramienta por los obtenidos en el paso 1, en la pestaña *Factor de Ajuste Transitorio*, así:

Figura 20. Valores FAT predeterminados que tiene la herramienta CALMAQ+

SCC	Rubro	Tipo	ID	HC	CO	NOx	PM	BSFC
				Tier 4IA	Tier 4IA	Tier 4IA	Tier 4IA	Tier 4IA
2270002060	Construcción	Cargador	Construcción_Cargador	1	1	1	1	1
2270002066	Construcción	Retroexcavadora	Construcción_Retroexcavadora	1	1	1	1	1

Nota: Para una mejor visualización, se filtra por cargador y retroexcavadora, y se ocultan las columnas con niveles tecnológicos distintos de Tier 4IA, que es el caso del ejemplo

Figura 21. Valores FAT actualizados a partir del paso 1

SCC	Rubro	Tipo	ID	HC	CO	NOx	PM	BSFC
				Tier 4IA	Tier 4IA	Tier 4IA	Tier 4IA	Tier 4IA
2270002060	Construcción	Cargador	Construcción_Cargador	4,33	5,39	1,84	2,75	0,92
2270002066	Construcción	Retroexcavadora	Construcción_Retroexcavadora	4,00	2,70	0,58	1,50	1,03

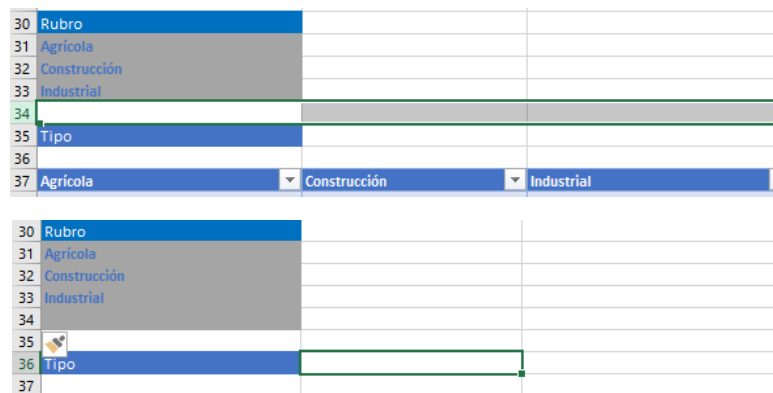
De esta manera el usuario puede editar la herramienta para contemplar esta información obtenida localmente. Es importante tener en cuenta que, como se ha presentado anteriormente, la herramienta contempla también el deterioro en función de la edad y un ajuste de material particulado por la cantidad de azufre, por lo que el usuario los debe tener presentes al momento de estimar unos factores de emisión locales.

#### 4.13. Adición de nuevos rubros y tipos de maquinaria

La herramienta tiene una amplia información sobre los tipos de maquinaria que se utilizan; sin embargo, puede haber algunos que no estén y que el usuario quiera adicionar. Así mismo, la herramienta actualmente sólo contempla tres rubros (agrícola<sup>6</sup>, construcción<sup>7</sup> e industrial); sin embargo, es posible que el usuario quiera incluir otros adicionales, como son el forestal y la minería. Para realizar esto, debe seguirse el siguiente procedimiento:

##### Paso 1:

En la pestaña *Listas desplegables*, ingresar una fila nueva entre las tablas de rubro y tipo de maquinaria:



##### Paso 2:


Diligenciar el nombre del nuevo rubro. Para este caso, se va a adicionar *Minería*:

<sup>6</sup> Es preciso aclarar que la herramienta contempla también maquinaria forestal bajo este rubro. La razón de incluirla en el rubro agrícola es por la estructura de clasificación que se tiene en Colombia.

<sup>7</sup> Es preciso aclarar que la herramienta contempla también maquinaria minera bajo este rubro. La razón de incluirla en el rubro de construcción es por la estructura de clasificación que se tiene en Colombia.

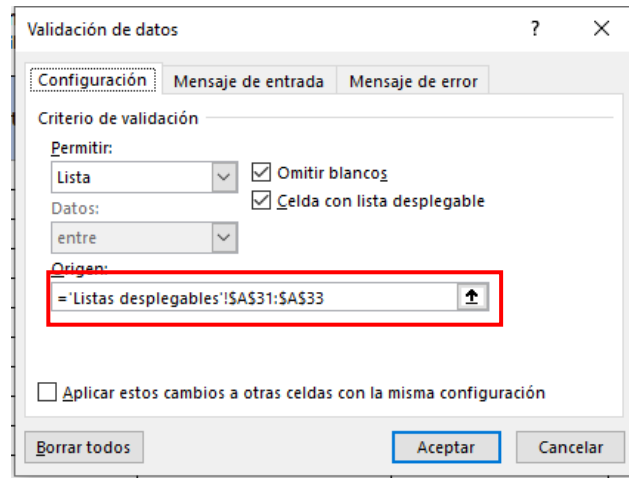
30	Rubro		
31	Agrícola		
32	Construcción		
33	Industrial		
34	Minería		
35			
36	Tipo		

**Paso 3:**

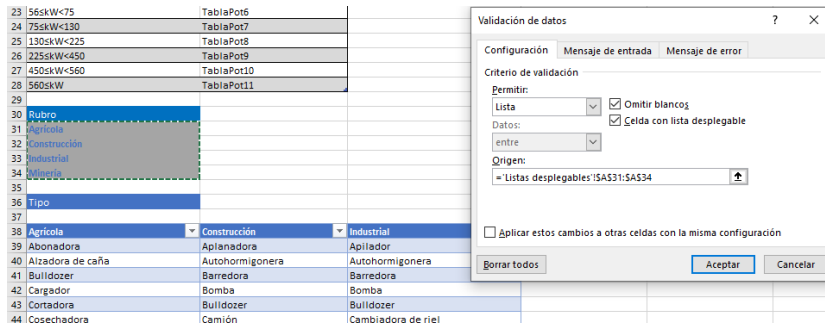
En la pestaña *Principal*, seleccionar las casillas debajo del título de la columna *Rubro* y dar clic en *Validación de datos* que está en la pestaña *Datos* de Excel. Luego, en *Origen*, dar clic en la flecha para  actualizar el rango, incluyendo la celda de *Minería*:

CALAC Comisión Ejecutiva de  
Calificación de  
Credenciales de  
Competencias Laborales **Calculadora d**

Rubro	Tipo
Construcción	Aplanadora
Construcción	Bulldozer
Construcción	Autohormigonera
Construcción	Excavadora
Industrial	Montacargas
Industrial	Barredora
Agrícola	Alzadora de caña

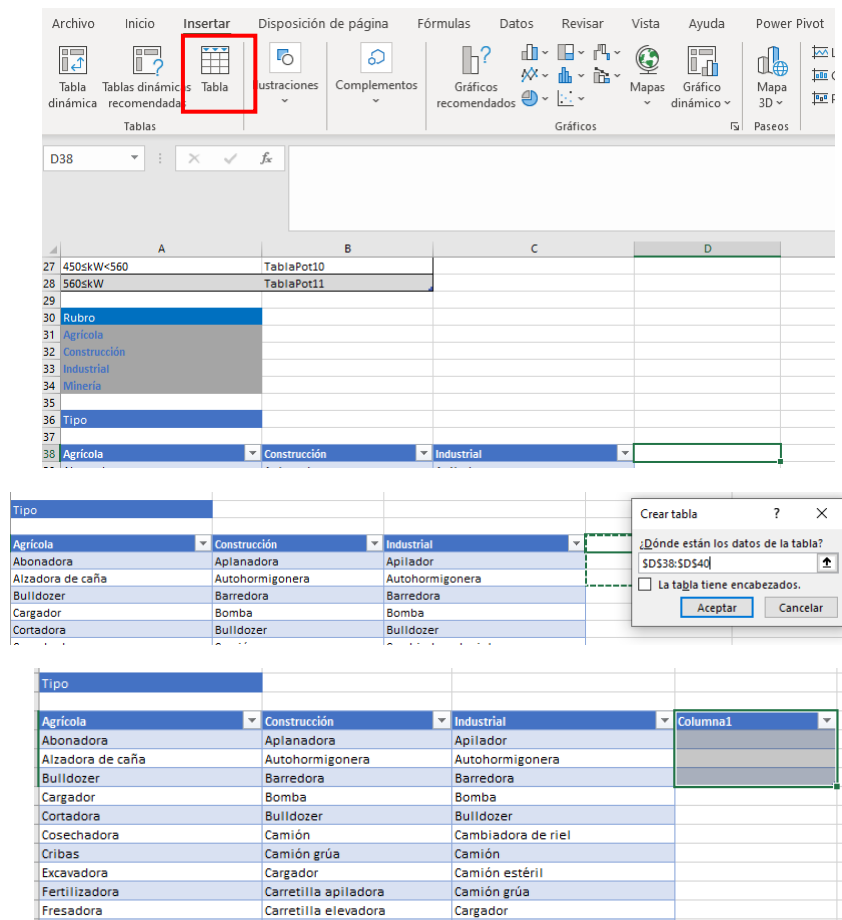






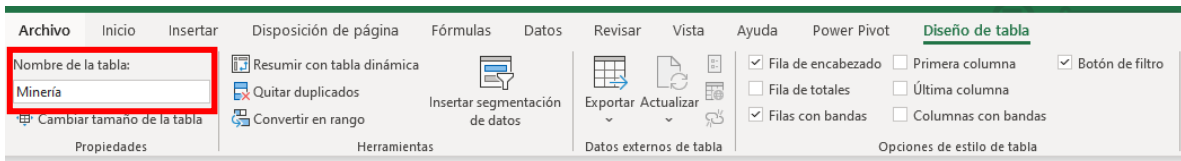
#### Paso 4:

En la pestaña *Listas desplegables*, crear una nueva tabla en la que van a ir los tipos de maquinaria para este nuevo rubro. La creación de la tabla debe hacerse por medio de la opción *Tabla* que está en la pestaña *Insertar* de Excel:



#### Paso 5:

Editar el título del nombre de la tabla en la pestaña *Diseño de tabla* y en la casilla *Nombre de la tabla*, ingresado el mismo nombre del rubro creado:

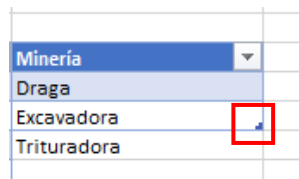


**Paso 6:**

Editar el título de la columna por el mismo nombre del rubro y adicionar los tipos de maquinaria que se requiera. Es importante verificar que todos estén en la tabla:

Tipo			
Agrícola	Construcción	Industrial	Minería
Abonadora	Aplanadora	Apilador	Draga
Alzadora de caña	Autohormigonera	Autohormigonera	Excavadora
Bulldozer	Barredora	Barredora	Trituradora
Cargador	Bomba	Bomba	
Cortadora	Bulldozer	Bulldozer	
Cosechadora	Camión	Cambiadora de riel	

La siguiente imagen es un ejemplo de cómo queda alguna casilla por fuera y, por lo tanto, no saldría en la lista desplegable:



Se recomienda fijarse en la marca que se genera al final de la tabla y que está señalada en la imagen anterior.

**Paso 7:**

Adicionar los tipos de maquinaria con su nuevo rubro en la pestaña *Factor de carga*. Para esto se recomienda no agregar nueva información justo debajo de las tablas, sino creando nuevas filas en la penúltima casilla, con el fin de que los rangos de las fórmulas se actualicen automáticamente:

Rubro	Tipo	ID	SCC	Factor de carga
Industrial	Tractor	Industrial_Tractor	2270002066	0,21
Industrial	Tractor sobre oruga	Industrial_Tractor sobre oruga	2270002069	0,59
Industrial	Trituradora	Industrial_Trituradora	2270002054	0,43
Industrial	Vibrocompactadora	Industrial_Vibrocompactadora	2270002015	0,59
Industrial	Volco	Industrial_Volco	2270003040	0,43

Rubro	Tipo	ID	SCC	Factor de carga
Industrial	Tractor	Industrial_Tractor	2270002066	0,21
Industrial	Tractor sobre oruga	Industrial_Tractor sobre oruga	2270002069	0,59
Industrial	Trituradora	Industrial_Trituradora	2270002054	0,43
Industrial	Vibrocompactadora	Industrial_Vibrocompactadora	2270002015	0,59
Minería	Draga			
Minería	Excavadora			
Minería	Trituradora			
Industrial	Volco	Industrial_Volco	2270003040	0,43

Las casillas bajo la columna *ID* están formuladas, así que simplemente es ampliar la formula a las nuevas casillas:

Rubro	Tipo	ID	SCC	Factor de carga
Industrial	Tractor	Industrial_Tractor	2270002066	0,21
Industrial	Tractor sobre oruga	Industrial_Tractor sobre oruga	2270002069	0,59
Industrial	Trituradora	Industrial_Trituradora	2270002054	0,43
Industrial	Vibrocompactadora	Industrial_Vibrocompactadora	2270002015	0,59
Minería	Draga	Minería_Draga		
Minería	Excavadora	Minería_Excavadora		
Minería	Trituradora	Minería_Trituradora		
Industrial	Volco	Industrial_Volco	2270003040	0,43

El usuario debe ingresar un valor único para los SCC. Es recomendable buscar si las máquinas están en el documento de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2010) para asignarles el SCC en aras de armonización. Sin embargo, en caso de que no se tenga, pueden asignarse códigos únicos para identificarlas:

Rubro	Tipo	ID	SCC	Factor de carga
Industrial	Tractor	Industrial_Tractor	2270002066	0,21
Industrial	Tractor sobre oruga	Industrial_Tractor sobre oruga	2270002069	0,59
Industrial	Trituradora	Industrial_Trituradora	2270002054	0,43
Industrial	Vibrocompactadora	Industrial_Vibrocompactadora	2270002015	0,59
Minería	Draga	Minería_Draga	Min_Draga	
Minería	Excavadora	Minería_Excavadora	Min_Excavadora	
Minería	Trituradora	Minería_Trituradora	Min_Trituradora	
Industrial	Volco	Industrial_Volco	2270003040	0,43

Ingresar los factores de carga que les corresponda a estos nuevos tipos de maquinaria, según la información local que se tenga o el documento de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2010):

Rubro	Tipo	ID	SCC	Factor de carga
Industrial	Tractor	Industrial_Tractor	2270002066	0,21
Industrial	Tractor sobre oruga	Industrial_Tractor sobre oruga	2270002069	0,59
Industrial	Trituradora	Industrial_Trituradora	2270002054	0,43
Industrial	Vibrocompactadora	Industrial_Vibrocompactadora	2270002015	0,59
Minería	Draga	Minería_Draga	Min_Draga	0,3
Minería	Excavadora	Minería_Excavadora	Min_Excavadora	0,4
Minería	Trituradora	Minería_Trituradora	Min_Trituradora	0,5
Industrial	Volco	Industrial_Volco	2270003040	0,43

### Paso 8:

En la pestaña *Factor de Ajuste Transitorio* se deben ingresar estos nuevos tipos de máquinas. Para ello, se debe crear nuevas filas en la penúltima fila de la tabla para así actualizar automáticamente los rangos de las fórmulas:

SCC	Rubro	Tipo	ID	Tier 0	Tier 1	Tier 2	Tier 3
2270002054	Industrial	Trituradora	Industrial_Trituradora	1	1	1	1
2270002015	Industrial	Vibrocompactadora	Industrial_Vibrocompactadora	1,05	1,05	1,05	1,05
2270003040	Industrial	Volco	Industrial_Volco	1	1	1	1

En la columna SCC incluir los códigos que se ingresaron en la pestaña *Factor de Carga* y diligenciar la demás información. La columna *ID* está formulada, así que solamente debe ampliarse la formulación a las nuevas casillas:

SCC	Rubro	Tipo	ID	Tier 0	Tier 1	Tier 2	Tier 3
2270002054	Industrial	Trituradora	Industrial_Trituradora	1	1	1	1
2270002015	Industrial	Vibrocompactadora	Industrial_Vibrocompactadora	1,05	1,05	1,05	1,05
Min_Draga	Minería	Draga	Minería_Draga				
Min_Excavadora	Minería	Excavadora	Minería_Excavadora				
Min_Trituradora	Minería	Trituradora	Minería_Trituradora				
2270003040	Industrial	Volco	Industrial_Volco	1	1	1	1

Por último, debe completarse la información de los FAT para todas las columnas que están a la derecha de la columna *ID*, con información local o con la obtenida a partir del documento de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2018):

SCC	Rubro	Tipo	ID	Tier 0	Tier 1	Tier 2	Tier 3
2270002054	Industrial	Trituradora	Industrial_Trituradora	1	1	1	1
2270002015	Industrial	Vibrocompactadora	Industrial_Vibrocompactadora	1,05	1,05	1,05	1,05
Min_Draga	Minería	Draga	Minería_Draga	2,29	2,29	2,29	2,29
Min_Excavadora	Minería	Excavadora	Minería_Excavadora	1	1	1	1
Min_Trituradora	Minería	Trituradora	Minería_Trituradora	1,05	1,05	1,05	1,05
2270003040	Industrial	Volco	Industrial_Volco	1	1	1	1

Con los anteriores pasos, el usuario puede incluir nuevos rubros y dentro de ellos los tipos de maquinaria que corresponde. En caso de que solamente se quiera adicionar nuevos tipos de máquinas sin adicionar nuevos rubros, se debe seguir el siguiente paso y luego los pasos 7 y 8 presentados anteriormente:

#### Paso 1\*:

En la pestaña *Listas desplegables*, ir a la lista en la que están los tipos de máquinas para el rubro en cuestión. Para este caso, se adicionará el tipo de máquina *Tiendetubo* en el rubro de *Construcción*:

Agrícola	Construcción	Industrial	Minería
Abonadora	Aplanadora	Apilador	Draga
Alzadora de caña	Autohormigonera	Autohormigonera	Excavadora
Bulldozer	Barredora	Barredora	Trituradora
Cargador	Bomba	Bomba	
	Zanjadora	Volco	
	Otra maquinaria	Otra maquinaria	

Adicionar *Tiendetubo* al final de la lista de *Construcción*:

Agrícola	Construcción	Industrial	Minería
Abonadora	Aplanadora	Apilador	Draga
Alzadora de caña	Autohormigonera	Autohormigonera	Excavadora
Bulldozer	Barredora	Barredora	Trituradora
Cargador	Bomba	Bomba	
	Zanjadora	Volco	
	Otra maquinaria	Otra maquinaria	
	Tiendetubo		

Excel automáticamente incluirá el nuevo tipo de máquina a la lista. Sin embargo, en caso de que no lo haga, simplemente se debe ampliar el tamaño al arrastrar el rango de la tabla a la celda correspondiente:

37				
38	Agrícola	Construcción	Industrial	Minería
39	Abonadora	Aplanadora	Apilador	Draga
40	Alzadora de caña	Autohormigonera	Autohormigonera	Excavadora
41	Bulldozer	Barredora	Barredora	Trituradora
42	Cargador	Bomba	Bomba	
77		Zanjadora	Volco	
78		Otra maquinaria	Otra maquinaria	
79		Tiendetubo		

Luego de hacer esto, deben seguirse los pasos 7 y 8 presentados anteriormente, para completar la información requerida para que la herramienta funcione adecuadamente.

## 5. Referencias

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2010). Median Life, Annual Activity, and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling.

<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P100058Z.TXT>

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2018). Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Compression-Ignition Engines in MOVES2014b.

<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P100UXEN.TXT>

CALAC+ (2020). GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE MAQUINARIA MÓVIL NO DE CARRETERA (Cálculo de Emisiones del Inventario).

<https://programacalac.com/publicaciones/guia-metodologica-para-la-estimacion-de-emisiones-de-maquinaria-movil-no-de-carretera-calculo-de-emisiones-del-inventario/>

## 6. Anexo 1 – Ecuaciones de Cálculo de Emisiones

### Ecuación 1

$$E_i = FP \cdot \sum_{sub} [N_{sub} \cdot NA_{sub} \cdot Pot_{sub} \cdot FC_{sub} \cdot (FE_{sub,i} \cdot FAT_{sub,i} \cdot FD_{sub,i} - SMP_{sub,i})]$$

Donde:

- Sub* : Subíndice que señala el segmento de la población que tiene los siguientes mismos atributos: tipo de maquinaria, potencia nominal, edad y estándar de emisiones.
- E<sub>i</sub>* : Emisiones del segmento *sub* de la población para el contaminante *i* en el año de evaluación [g/periodo].
- i* : Subíndice para los contaminantes HC, CO, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>.
- FP* : Factor del proyecto, calculado a partir de la división entre la cantidad de días del proyecto y la cantidad de días que tiene un año.
- N<sub>sub</sub>* : Cantidad de maquinaria del segmento *sub* de la población.
- NA<sub>sub</sub>* : Nivel de Actividad al año [h/año] para el segmento *sub* de la población.
- Pot<sub>sub</sub>* : Potencia nominal del motor en [kW] para el segmento *sub* de la población.
- FC<sub>sub</sub>* : Factor de carga representativo de las condiciones de operación para el segmento *sub* de la población. Representa la fracción de la potencia nominal del motor a la que típicamente opera la maquinaria (adimensional).
- FE<sub>sub,i</sub>* : Factor de emisión del contaminante *i* en estado estacionario del motor como si fuera nuevo para la maquinaria del segmento *sub* de la población. Representa las emisiones en gramos por unidad de energía, [g/kWh]. Para el caso de HC, se contemplan las emisiones del cárter en caso de que aplique<sup>8</sup>.
- FAT<sub>sub,i</sub>* : Factor para ajustar las emisiones del contaminante *i* obtenidas en ciclo en estado estacionario a ciclo en estado transitorio, (adimensional).
- FD<sub>sub,i</sub>* : Factor de deterioro que representa el ajuste del factor de emisiones del contaminante *i* por el envejecimiento o deterioro del motor y los sistemas de control de emisiones, (adimensional).
- SMP<sub>sub,i</sub>* : Ajuste de masa de PM<sub>10</sub> por variación del contenido de azufre en el combustible respecto de los valores de azufre del combustible de certificación utilizado para la medición de *FE<sub>sub,i</sub>*. Se expresa en [g/kWh]. Ver Ecuación 7.

---

<sup>8</sup> Las emisiones del cárter aplican cuando el motor tiene un estándar Tier 3 o inferior, ya que para aquellos certificados con Tier 4 tienen un sistema de recirculación de los gases del cárter. De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, estas emisiones son aproximadamente el 2% de las emisiones de escape de hidrocarburos.

## Ecuación 2

$$E_{CO_2} = \sum_{sub} [W_{sub} \cdot (BSFC_{sub} \cdot FAT_{sub,BSFC} - FE_{sub,HC} \cdot FAT_{sub,HC} \cdot FD_{sub,HC}) \cdot 0,87 \cdot (44/12)]$$

Donde:

$E_{CO_2}$  : Emisión de CO<sub>2</sub> en [g/periodo].

$W_{sub}$  : El trabajo realizado por el segmento de población  $sub$  [kWh/año]. Es calculado a partir de  $FP \cdot N_{sub} \cdot NA_{sub} \cdot Pot_{sub} \cdot FC_{sub}$

$BSFC$  : Consumo de combustible específico al freno en [g/kWh] del segmento  $sub$  de la población.

$FAT_{sub,BSFC}$  : Factor de ajuste transitorio para el BSFC.

$FE_{sub,HC}$  : Factor de emisión de Hidrocarburos (HC) [g/kWh] del segmento de población.

$FAT_{sub,HC}$  : Factor de ajuste transitorio para el HC.

$FD_{sub,HC}$  : Factor de deterioro para el HC.

$0,87$  : Fracción en masa de carbono en el diésel.

$44/12$  : Proporción entre la masa del CO<sub>2</sub> y del carbono.

## Ecuación 3

$$E_{SO_2} = \sum_{sub} [W_{sub} \cdot (BSFC_{sub} \cdot FAT_{sub,BSFC} \cdot (1 - soxcnv) - FE_{sub,HC} \cdot FAT_{sub,HC} \cdot FD_{sub,HC}) \cdot 0,01 \cdot soxdsl \cdot 2]$$

Donde:

$E_{SO_2}$  : Emisión de SO<sub>2</sub> en [g/periodo].

$soxcnv$  : Fracción de azufre convertida en material particulado. Para aquellos motores con un estándar de emisiones Tier 4 Intermedio y Tier 4 Final que cumplan con un valor máximo permisible de PM<sub>10</sub> de 0,1341 g/kWh, el valor de  $soxcnv$  es 0,3. Para los demás motores, el valor es 0,02247.

$0,01$  : Factor de conversión de fracción porcentual a fracción por peso.

$soxdsl$  : Fracción porcentual del azufre en el diésel con el que funciona la maquinaria.

$2$  : Proporción entre la masa del SO<sub>2</sub> y del azufre.



Ecuación 4

$$\text{Factor Edad}_{sub} = \frac{\text{Edad} \cdot N_{sub} \cdot FC_{sub}}{\text{Vida Media}_{sub}}$$

Ecuación 5

$$FD_{sub,i} = 1 + A_{sub,i} \cdot (\text{Factor Edad}_{sub})^b; \text{ Si Factor Edad}_{sub} < 1$$

Ecuación 6

$$FD_{sub,i} = 1 + A_{sub,i}; \text{ Si Factor Edad}_{sub} \geq 1$$

Donde:

$A_{sub,i}$  : Para cada contaminante  $i$  es una constante definida según el tipo de maquinaria y el estándar de emisiones. Como puede verse, al momento en que la maquinaria cumple su vida útil, el factor de deterioro toma su máximo valor que es  $1 + A_{sub,i}$ .

$b$  : Constante e igual a 1 para motores diésel, ya que se considera un deterioro lineal en función de la edad.

Ecuación 7

$$SMP_{sub,i} = BSFC \cdot 7 \cdot soxcnv \cdot 0,01 \cdot (soxbas - soxdsl)$$

Ecuación 8

$$FC = \frac{W_{sub} \cdot BSFC \cdot FAT_{sub,BSFC}}{\rho_{diésel}}$$

Donde:

$FC$  : Consumo de combustible en [gal/periodo].

$\rho_{diésel}$  : Densidad del diésel en [g/gal].

Ecuación 9

$$Q = FC \cdot LHV$$

Donde:

$Q$  : Energía consumida [kWh/periodo].

$LHV$  : Poder calorífico inferior en [kWh/gal].



Programa Clima y Aire limpio  
en Ciudades de América Latina

[calac@swisscontact.org.pe](mailto:calac@swisscontact.org.pe)

[www.programacalac.com](http://www.programacalac.com)

Facebook: @CALACplus

Twitter: @Calacplus

Calle José Gálvez N° 692 - Piso 7, Miraflores

Lima 15073 – Perú

Teléfono: +511 5005075

[www.swisscontact.org](http://www.swisscontact.org)

Es un Programa de:



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Agencia Suiza para el Desarrollo  
y la Cooperación COSUDE

Ejecutado por:

  
swisscontact