



**Benemérita  
Universidad Autónoma de Puebla**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“Valorización de postes de concreto reforzado  
(PCR-13-600) mediante el criterio de  
análisis de ciclo de vida”**

**TESINA**

**Que para obtener el Título de:**

**Licenciatura en Ingeniería Ambiental**

**Presenta:**

**Sidney Brenda Rojas Soria**

**Director de Tesina:**

**M.I.A. Miriam Vega Hernández**

**Puebla, Pue. Noviembre 2020**

## AGRADECIMIENTOS

Mamá a ti por siempre estar conmigo, por darme tu amor y fuerza para poder salir adelante en cada una de las etapas de mi vida y mi formación profesional, por ser una mamá águila y dejarme volar tan alto y lejos para cumplir mis sueños.

Papá agradezco tu apoyo en todo momento por aquellos consejos que me hicieron reflexionar una y otra vez mis decisiones y por ser un gran respaldo todos estos años.

Jesus, mi hermano que admiro y respeto por todos los logros de tu vida por tu sencillez y carisma porque me has enseñado que todo conlleva un sacrificio haciendo lo que más te gusta y saber que estas siempre a mi lado.

Mayeira, la hermana que respeto y quiero por todos tus logros y tu perseverancia para conseguir tus objetivos, gracias por tus consejos, ayuda en los momentos difíciles, gracias por darme el mejor ejemplo como hermana mayor.

A mi abuelo Manuel que aunque no está aquí con nosotros siempre me decía que el que persevera logra sus objetivos y hoy soy tan feliz de haber culminado mi hermosa Ingeniería Ambiental te quiero mucho abuelo y te extraño demasiado.

Maestra Miriam gracias por su tiempo, dedicación y asesoramiento en esta etapa de mi formación, cada enseñanza ha sido fundamental en mi formación académica, sus conocimientos y forma de enseñar motivan para ser mejor día con día.

A mi máxima casa de estudios BUAP y mi Facultad de Ingeniería Química por brindarme las facilidades de aprender y estudiar en sus aulas así como las oportunidades de realizar mi movilidad nacional en IPN - Campus Zacatecas y mi movilidad internacional en Francia, INSA-Lyon.

## Resumen

La generación de diferentes tipos de residuos ha hecho que en la actualidad las empresas realicen planes de manejo y una gestión ambiental sobre este tema.

Cabe destacar que un Plan de Manejo es un instrumento cuyo objetivo es minimizar la generación y maximizar la valorización de residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial y residuos peligrosos específicos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, con fundamento en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, diseñado bajo principios de responsabilidad compartida y manejo integral que considera el conjunto de acciones, procedimientos, etc.

El Manejo Integral comprende las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social.

Para ello es necesario realizar una cuantificación de los tipos de residuos generados en la empresa siendo en este caso CFE- División Centro Oriente Zona Tlaxcala.

Existe una generación de residuos de manejo especial la cual esta categorizada en gran generador debido a que supera las 10 toneladas anuales con base a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), en este caso por la generación de postes de concreto principalmente y entre otro tipo de materiales que se utilizan en el proceso de distribución de la energía eléctrica.

Con base en la Gestión Integral de residuos de manejo especial de Postes de Concreto Reforzado PCR-13-600, de CFE Distribución Zona Tlaxcala, y considerando los criterios del Análisis del Ciclo de Vida, se propone una estrategia de mejora para la valorización de éstos, desde la fabricación hasta su fin de uso, llevando a cabo un análisis comparativo inventarios ambientales.

## Abstract

The generation of different types of waste has made companies currently carry out management plans and environmental management on this issue.

It should be noted that a Management Plan is an instrument whose objective is to minimize the generation and maximize the recovery of urban solid waste, special management waste and specific hazardous waste, under criteria of environmental, technological, economic and social efficiency, based on the Basic Diagnosis for Comprehensive Waste Management, designed under principles of shared responsibility and comprehensive management that considers the set of actions, procedures, etc.

The Integral Management includes the activities of reduction at the source, separation, reuse, recycling, co-processing, biological, chemical, physical or thermal treatment, collection, storage, transport and final disposal of waste, fulfilling objectives of recovery, sanitary efficiency, environmental, technological, economic and social.

For this, it is necessary to quantify the types of waste generated in the company, in this case CFE- División Centro Oriente Zona Tlaxcala.

There is a generation of waste with special handling which is categorized into a large generator because it exceeds 10 tons per year based on the General Law for the Prevention and Integral Management of Waste por sus siglas en español (LGPGIR), in this case it is due to the generation of Mainly concrete poles and among other types of materials that are generated.

Based on the Integral Management of waste from the special handling of Reinforced Concrete Posts PCR-13-600, of CFE Distribución Zona Tlaxcala, and considering the criteria of the Life Cycle Analysis, an improvement strategy is proposed for their recovery, from manufacture to end of use, carrying out a comparative analysis of environmental inventories.

# CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	7
PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA .....	10
OBJETIVOS .....	11
GENERAL .....	11
ESPECÍFICOS .....	11
ANTECEDENTES .....	11
Descripción de las actividades de la empresa .....	12
MARCO TEÓRICO.....	16
Residuo.....	16
Residuos de Manejo Especial .....	17
Residuos Sólidos Urbanos.....	17
Residuos Peligrosos.....	17
Criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial.....	17
Análisis de Ciclo de vida.....	18
Etapas y alcances del análisis de ciclo de vida .....	19
Etapas en la vida de un producto .....	22
Postes .....	25
Criterios de valorización de residuos de manejo especial .....	26
DIAGNÓSTICO DEL MANEJO DE RESIDUOS .....	29
Generación residuos de manejo especial.....	29
Controles Administrativos .....	31
Almacenamiento de Residuos de Manejo Especial.....	32
METODOLOGÍA .....	33
ETAPA 1. Definición del Objetivo y Alcance del ACV.....	33
ETAPA 2- Análisis de Inventario del Ciclo de Vida (ICV) .....	36
ETAPA 3- Evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV) .....	37
ETAPA 4- Interpretación de los resultados de la evaluación de impactos .....	46
Caso de estudio México .....	48
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	49
CONCLUSIONES .....	51
TRABAJOS CITADOS .....	52
ANEXOS .....	53

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Etapas del ciclo de vida de un producto. ....	8
Imagen 2. Diagrama de la comercialización de la energía eléctrica .....	12
Imagen 3. Diagrama de procesos del SIG-CFE.....	13
Imagen 4. Operación de Subestaciones Eléctricas en el proceso de distribución .....	15
Imagen 5. Elementos principales para el Análisis de Ciclo de Vida. ....	18
Imagen 6. Diagrama Etapas del Ciclo de Vida,.....	19
Imagen 7. Alcances del Análisis del Ciclo de Vida .....	20
Imagen 8. Esquema de la metodología (estructura) de un Análisis de Ciclo de Vida.....	22
Imagen 9. Etapas del análisis de ciclo de vida .....	25
Imagen 10. Etapas de la valorización de RME.....	26
Imagen 11. Generación de RME de construcción. ....	28
Imagen 12. Principios de la economía circular.....	29
Imagen 13. Postes PCR-13-600 en fin de uso en almacén de Zona Tlaxcala .....	32
Imagen 14. Almacén de Zona Tlaxcala, PCR 13-600 NUEVOS Y FIN DE USO .....	33
Imagen 15. Diseño de PCR-13-600, con sus especificaciones .....	34
Imagen 16. Diagrama de etapas de ACV para PCR-13-600 .....	34
Imagen 17. Componentes del EICV. ....	37
Imagen 18. Análisis de LCA con ELCD .....	44
Imagen 19. Diagrama de Alternativas y propuestas de fin de uso de PCR-13-600 .....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Residuos de Manejo Especial generados en División Centro Oriente-Zona Tlaxcala .....	15
Tabla 2. Residuos Sólidos Urbanos generados en División Centro Oriente-Zona Tlaxcala 16	
Tabla 3. Residuos Peligrosos generados en División Centro Oriente-Zona Tlaxcala .....	16
Tabla 4. Características de PCR. ....	25
Tabla 5. Generación de residuos de manejo especial 2019 .....	30
Tabla 6. Generación de residuos de manejo especial 2018 .....	30
Tabla 7. Generación de residuos de manejo especial 2017 .....	31
Tabla 8. Instructivos de controles administrativos CFE. ....	32
Tabla 9. Especificaciones de EICV de software y bases de datos.....	38

# INTRODUCCIÓN

La electricidad es de suma importancia para satisfacer las necesidades de la población desde el hogar hasta las industrias. La distribución de electricidad aérea se realiza mediante postes de servicios públicos, siendo en algunos casos de acero, hormigón, de aquí surge la generación de estos residuos de manejo especial.

La gestión ambiental adquiere una importancia crucial para un desarrollo sostenible, es decir hacer frente a los grandes problemas medioambientales que afectan a todo el planeta, como son el agotamiento de recursos naturales, el calentamiento global, la contaminación y la pérdida de biodiversidad. Ante estas problemáticas, la sociedad debe adoptar un enfoque coherente y holístico que integre junto con los aspectos ambientales, los económicos y sociales.

En este contexto, una metodología útil que facilita este necesario desarrollo sostenible es el análisis del ciclo de vida (ACV), cuya finalidad es analizar de forma objetiva, metódica, sistemática y científica, los diferentes impactos ambientales potenciales, como herramienta práctica de gestión ambiental, misma que requiere apoyo informático para facilitar el manejo de datos y análisis de resultados. (Rieznik & Hernández, 2005)

El presente documento se enfocará en el análisis de la generación, manejo, tratamiento y disposición final de los postes de concreto reforzado PCR-13-600, desde la perspectiva de análisis de ciclo de vida, para su gestión integral.

Actualmente la Comisión Federal de Electricidad (CFE) ha incorporado la materia ambiental en su misión, visión, objetivos y opera con una organización y reglamentación interna, para el cumplimiento del marco jurídico. (Distribución, 2015)

La generación de residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial y residuos peligrosos requieren de un Plan y Manejo para su tratamiento y disposición final como está estipulado en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) y su Reglamento. (Federación, 1996)

Un Plan de Manejo y un manejo integral son necesarios aplicarlos e implementarlos para evitar impactos ambientales y no conformidades en auditorías ambientales.

La distribución de electricidad aérea se realiza mediante postes de servicios públicos, siendo en algunos casos de acero, hormigón, de aquí surge la generación de residuos de manejo especial.

Es indispensable saber la definición de residuo siendo aquel material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la LGPGIR. (DOF, LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS, 1996) (Haya Leiva, 2016)

Es por ello que el presente documento se enfoca en la generación, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos de manejo especial siendo los postes de concreto reforzado, aplicando un análisis de ciclo de vida que nos sirve para identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos potenciales asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto.



Imagen 1. Etapas del ciclo de vida de un producto. (Haya Leiva, 2016)

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) está comprometida en reducir los impactos al ambiente, así como también cabe mencionar que las instalaciones de Comisión Federal de Electricidad, División de Distribución Centro Oriente, Zona Tlaxcala se encuentran clasificadas de la siguiente manera:

- Áreas (Centro de Distribución Panotla, Apizaco, Calpulalpan y Chignahuapan).



- Agencias comerciales (En Tlaxcala: Panzacola, Zacatelco, Tlaxcala, Santa Ana, Apizaco, Huamantla, Calpulalpan, Nanacamilpa y Tlaxco. En Puebla: Tétela de Ocampo, Chignahuapan y Zacatlán).
- Subestaciones Eléctricas.

En cada instalación, se generan diferentes tipos de residuos, que en las secciones posteriores se detallan de manera más específica. Por lo tanto, es importante realizar un manejo integral de los residuos generados en la Comisión Federal de Electricidad (CFE), a través de las siguientes actividades:

1. Reducción en la fuente
2. Separación
3. Reutilización
4. Almacenamiento
5. Transporte
6. Minimización
7. Disposición Final

También es importante mencionar como parte fundamental del presente plan de manejo la organización, cuenta con un Sistema Integral de Gestión (SIG), el cual se integra de los siguientes elementos:

- Política
- Objetivos
- Explicación de la política
- Inducción al SIG
- Manual del SIG
- Control de documentos e Indicadores

Un manual de organización debe ser percibido como un elemento de gran relevancia ya que es un documento en donde podemos conocer la estructura y organización de un ente normativo y de representación corporativa de la Comisión Federal de Electricidad.

## Análisis del ciclo de vida

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV), es una herramienta de gestión ambiental que identifica tanto a los recursos usados como a los residuos que se generan y se emiten a los vectores ambientales (aire, agua y suelo), a lo largo de todo el ciclo de vida (desde la cuna hasta la tumba) de un bien o servicio en específico.

En este caso es aplicado a postes de concreto reforzado (PCR-13-600) que son utilizados en la distribución aérea de la electricidad.

## PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

El incremento anual de la generación de residuos de postes de concreto reforzado PCR-13-600 utilizados en la distribución de la energía eléctrica, por la División Centro Oriente de Comisión Federal de Electricidad (CFE), Zona Tlaxcala ha generado aglomeración y falta de espacio en el almacén divisional, además de la falta de una valorización de este residuo. Con la finalidad de generar una propuesta para su gestión integral se realizará una revisión bibliográfica de las etapas del ACV para identificar los impactos ambientales desde el uso y transporte (puerta) hasta el fin de su vida útil (tumba) de un poste de concreto reforzado.

Debido a un incremento anualmente de la generación de postes de concreto reforzado, se toma la determinación de realizar una metodología para un análisis de ciclo de vida de este residuo, y analizar el mejor aprovechamiento con el fin de promover una economía circular y que la empresa aplique dentro de su gestión ambiental las mejoras que se proponen en este trabajo.

Haciendo uso de un software libre se realiza el diseño de las etapas de ACV de un poste de concreto reforzado, de esta forma llevar acabo el análisis de ciclo de vida así como la identificación de los impactos ambientales desde el uso y transporte (puerta) hasta la el fin de su vida útil (tumba) de un poste de concreto reforzado.

## JUSTIFICACIÓN

El incremento anual de la generación de residuos de postes de concreto reforzado PCR-13-600 utilizados en la distribución de la energía eléctrica en los años 2017- 2019 se obtienen los siguientes estimados (en 2017 =158.9 ton, en 2018 =270.9 ton y en 2019= 208.6), por lo que se clasifica como gran generador de acuerdo a la LGPGIR por la generación de más de 10 toneladas anuales, en la División Centro Oriente de Comisión Federal de Electricidad (CFE), Zona Tlaxcala ha producido aglomeración y falta de espacio en el almacén divisional, además de la falta de una valorización de este residuo.

Con la finalidad de generar una propuesta para su gestión integral se realizará una revisión bibliográfica de las etapas del ACV para identificar los impactos ambientales desde el inicio del transporte y uso (puerta) hasta el fin de su vida útil (tumba) de un poste de concreto reforzado.

## OBJETIVOS

### GENERAL

Valorizar los postes de concreto reforzado (PCR-13-600) mediante el criterio de análisis de ciclo de vida, generados en la CFE, División de Distribución Centro Oriente, Zona Tlaxcala.

### ESPECÍFICOS

- Investigar casos de estudio de ACV en postes de concreto.
- Analizar la valorización de los residuos de postes de concreto reforzado (PCR-13-600).

## ANTECEDENTES

La Comisión Federal de Electricidad es una empresa paraestatal, fundada el 14 de Agosto de 1937 por el Gobierno Federal encargada de dirigir el sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. Adicionalmente a estas actividades, la

Comisión Federal de Electricidad se encarga de comercializar la energía eléctrica y dar atención a clientes. (Distribución, 2015)

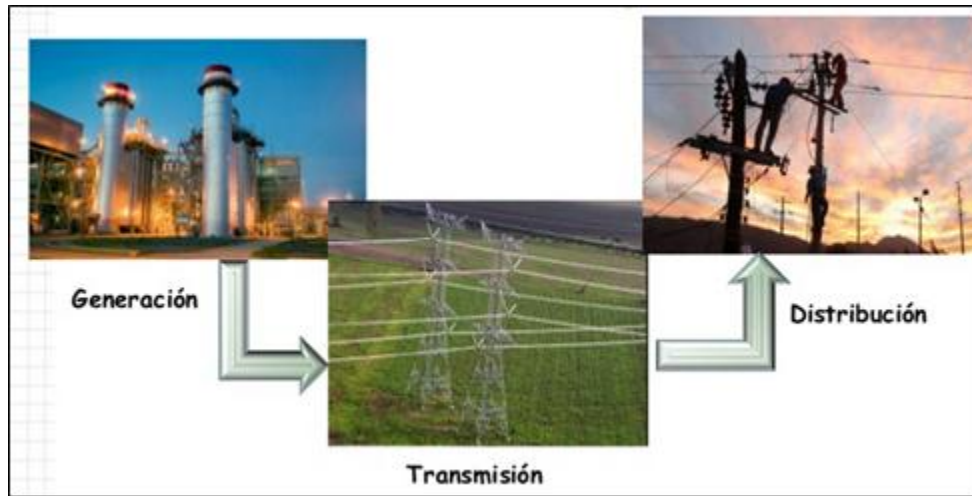


Imagen 2. Diagrama de la comercialización de la energía eléctrica (Fuente: Distribución, 2015)

## Descripción de las actividades de la empresa.

Las instalaciones de la División de Distribución Centro Oriente, Zona Tlaxcala, se dividen de la siguiente manera:

- 1 Edificio de Zona (Superintendencia)
- 1 Edificio de capacitación
- 1 Centro de distribución
- 9 Agencias Comerciales
- 3 Áreas de Distribución
- 16 Subestaciones Eléctricas (S.E.).

A continuación se describen los procesos de producción de las instalaciones donde se observan los puntos de generación de residuos.

**Áreas de distribución:** Las principales actividades realizadas en estas instalaciones comprenden la atención a clientes en campo por problemas derivados del fallo del suministro de energía eléctrica, en la imagen 3 se presentan los procesos del área de distribución.

Las principales actividades que se llevan a cabo en las Áreas de Distribución son:

1. Mantenimiento a equipo eléctrico.
2. Deshierbe y limpieza de áreas eléctricas y de maniobras en piso de terreno natural o tezontle, en piso de asfalto o concreto dentro del predio del área.
3. Deshierbe, limpieza y mantenimiento del perímetro exterior del predio del área.
4. Limpieza y desazolve en canaletas de descargas de aguas pluviales, registros del sistema de tierras y trincheras.
5. Inspección mensual
6. Uso, mantenimiento y verificación de vehículos.
7. Actividades de mantenimiento en edificios por proveedores externos.
8. Actividades de limpieza.
9. Uso de electrodomésticos (refrigerador, cafetera, microondas, despachadores de agua).
10. Actividades de oficina.

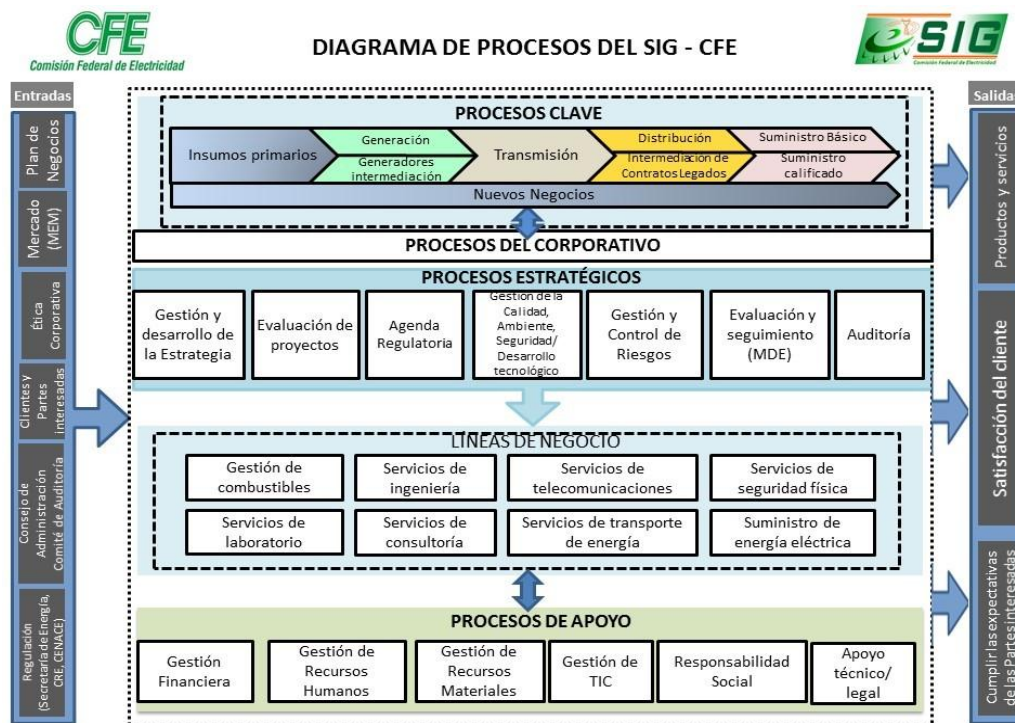


Imagen 3. Diagrama de procesos del SIG-CFE. (Fuente: Distribución, 2015)

**Subestaciones Eléctricas:** Estas instalaciones distribuyen la energía eléctrica a los hogares, comercios e industrias, son operadas de manera remota y solo de manera ocasional el personal operativo las arriba para su mantenimiento.

Salvo en algunas de estas existe personal permanente debido a la presencia de otras instalaciones dentro del área que conforma la Subestación y áreas de mantenimiento de las Redes Generales de Distribución (RGD).

Las principales actividades realizadas en las Subestaciones eléctricas son las siguientes:

1. Mantenimiento a equipo eléctrico.
2. Deshierbe y limpieza de áreas eléctricas y de maniobras en piso de terreno natural o tezontle, en piso de asfalto o concreto dentro del predio de la subestación.
3. Inspección mensual

El proceso general consiste en la transformación y distribución de energía y finalmente se comercializa a industrias, casas habitación, comercios, entre otros.

#### Transformación.

La transformación es el proceso que permite, cambiar las características de la electricidad (voltaje y corriente) para facilitar su transmisión y distribución.

#### Distribución.

La red de distribución está integrada por las líneas de distribución en niveles de 34.5 Kilovatios (Kv) y 13.8 Kv de baja tensión.

Las subestaciones eléctricas reciben energía a 115 kV, la cual se transforma a 34.5 y 13.8 kV para su distribución.

En la imagen 4 se presenta el diagrama de operación de las subestaciones eléctricas, donde en la etapa de mantenimiento a bahías, transformadores y bancos de baterías se generan residuos de manejo especial (aceite dieléctrico y acero), residuos peligrosos (electrolito-plomo).

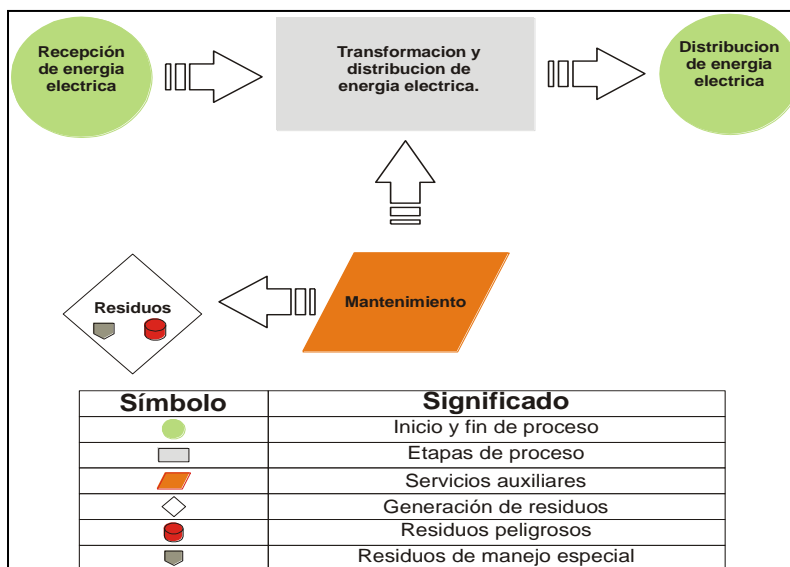


Imagen 4. Operación de Subestaciones Eléctricas en el proceso de distribución (Fuente: Elaboración propia).

### Plan de Manejo Integral de Residuos CFE

Plan de Manejo de residuos generados en la Comisión Federal de Electricidad, División de Distribución Centro Oriente, Zona Tlaxcala. Se clasificaron en peligrosos (Artículo 16° LGPGIR), sólidos urbanos (Artículo 18° LGPGIR), de manejo especial (Artículo 19° LGPGIR y NOM-161-SEMARNAT-2011). (DOF, 1996; DOF, 2013)

En la tabla 1 se lista los residuos de manejo especial que se generan en la CFE División Centro-Oriente Tlaxcala.

Residuos de Manejo Especial	<ul style="list-style-type: none"> <li>Llantas usadas</li> <li>Residuos electrónicos</li> <li>Cascajo y escombros</li> <li>Residuos de mantenimiento de áreas verdes y deshierbe de maleza</li> <li>Postes de concreto reforzado</li> <li>Fibra óptica</li> <li>Aceite dieléctrico</li> <li>Papel Archivo</li> </ul>
-----------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 1. Residuos de Manejo Especial generados en División Centro Oriente-Zona Tlaxcala (Fuente: elaboración propia)

En la Zona Tlaxcala también se tiene un listado de residuos sólidos urbanos como se muestra en la Tabla 2.

Residuos Sólidos Urbanos	Residuos Inorgánicos diversos Envases de plástico PET Papel y cartón no útiles Residuos orgánicos Residuos Sanitarios Vidrio Metal Plástico
--------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Tabla 2. Residuos Sólidos Urbanos generados en División Centro Oriente-Zona Tlaxcala (Fuente: elaboración propia).**

En la tabla 3 se lista los residuos peligrosos que se generan en la CFE División Centro-Oriente Tlaxcala.

Residuos Peligrosos	Baterías plomo-ácido Sólidos impregnados Lámparas fluorescentes Ácido Sulfúrico Pilas de Cadmio/ Níquel
---------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Tabla 3. Residuos Peligrosos generados en División Centro Oriente-Zona Tlaxcala (Fuente: Elaboración propia.)**

## MARCO TEÓRICO

### Residuo

Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven. (DOF, LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS, 1996)



## **Residuos de Manejo Especial**

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) define a los residuos de manejo especial (RME) como aquéllos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados residuos sólidos urbanos o peligrosos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos (DOF, 1996).

## **Residuos Sólidos Urbanos**

Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole. (DOF, 1996).

## **Residuos Peligrosos**

Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad con lo que se establece en esta Ley. (DOF, 1996)

## **Criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial**

De acuerdo con la NOM-161-semarnat-2011 estipula que la clasificación de manejo especial para uno o varios residuos se deberá cumplir con los siguientes criterios:

1. Que se generen en cualquier actividad relacionada con la extracción, beneficio, transformación, procesamiento y/o utilización de materiales para producir bienes y servicios, y que no reúnan características domiciliarias o no posean alguna de las características de peligrosidad en los términos de la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005.

2. Que sea un Residuo Sólido Urbano generado por un gran generador en una cantidad igual o mayor a 10 toneladas al año y que requiera un manejo específico para su valorización y aprovechamiento.

3. Que sea un residuo, incluido en el Diagnóstico Básico Estatal para la Gestión Integral de Residuos de una o más Entidades Federativas, o en un Estudio Técnico-Económico. (DOF, 2013)

### **Análisis de Ciclo de vida.**

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es la única metodología de valorización de externalidades ambientales que cuenta con lineamientos expedidos por la Organización Internacional de Estandarización (ISO). La primera serie de lineamientos para esta metodología fue creada en 1997, pero en 2006, ISO reorganizó los contenidos y se creó la serie 14040. (Haya Leiva, 2016). La descripción metodológica de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV), abarca tres ejes principales el Social, Ecológico y Económico que se relacionan con lo viable, equitativo, soportable para un desarrollo sostenible (Imagen 1).



**Imagen 5. Elementos principales para el Análisis de Ciclo de Vida. Fuente: (Haya Leiva, 2016).**

Para realizar este Análisis son necesarias las herramientas de cálculo, como Programas Informáticos e Inventarios ambientales.

## Etapas y alcances del análisis de ciclo de vida

El ACV se conforma de 4 etapas las cuales son la estructura general, de análisis de procesos, productos e impactos ambientales que se realizan siguiendo esta metodología. En la imagen 6 se presenta un diagrama con las etapas del Ciclo de Vida.

**Etapa 1.** Definición del Objetivo y Alcance del ACV. En los objetivos se exponen los motivos por los que se desarrolla el estudio, la aplicación prevista y a quién va dirigido. El alcance consiste en la definición de la amplitud, profundidad y detalle del estudio.

**Etapa 2.** Análisis de Inventario de Ciclo de Vida. Esta fase incluye la identificación y cuantificación de las entradas (consumo de recursos) y salidas (emisiones al aire, suelo y aguas y generación de residuos) del sistema del producto. Por sistema del producto se entiende el conjunto de procesos unitarios conectados material y energéticamente que realizan una o más funciones idénticas.

**Etapa 3.** Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida. Durante esta etapa, utilizando los resultados del análisis de inventario, se evalúa la importancia de los potenciales impactos ambientales generados por las entradas y salidas del sistema del producto.

**Etapa 4.** Interpretación, la cual incluye la combinación de los resultados de las dos etapas anteriores, con la finalidad de extraer, de acuerdo con los objetivos y alcance del estudio, conclusiones y recomendaciones que permitan la toma de decisiones. (Haya Leiva, 2016)



Imagen 6. Diagrama Etapas del Ciclo de Vida, Fuente: (Haya Leiva, 2016)

En el análisis de ciclo de vida, es habitual encontrarse con alcances (Imagen 3) diferentes en el desarrollo de un ACV, siendo los más habituales:

- De la puerta a la puerta (Gate to gate): considera únicamente las actividades (proceso productivo) de la empresa a la que se aplica.
- De la cuna a la puerta (Cradle to gate): toma en consideración desde la extracción y acondicionamiento de materias primas hasta el proceso productivo de la empresa.
- De la puerta a la tumba (Gate to grave): considera el proceso productivo de la empresa y abarca hasta la fase de gestión de los residuos a que da lugar el producto.
- De la cuna a la tumba (Cradle to grave): estudia desde el acondicionamiento de las materias primas hasta la gestión última de los residuos (reciclaje u otros).
- De la cuna a la cuna (Cradle to cradle): considera el ciclo de vida completo del producto, ya que abarca desde el acondicionamiento de las materias primas hasta que el producto, tras quedar fuera de uso, es reintroducido en el mismo proceso productivo o en otro.

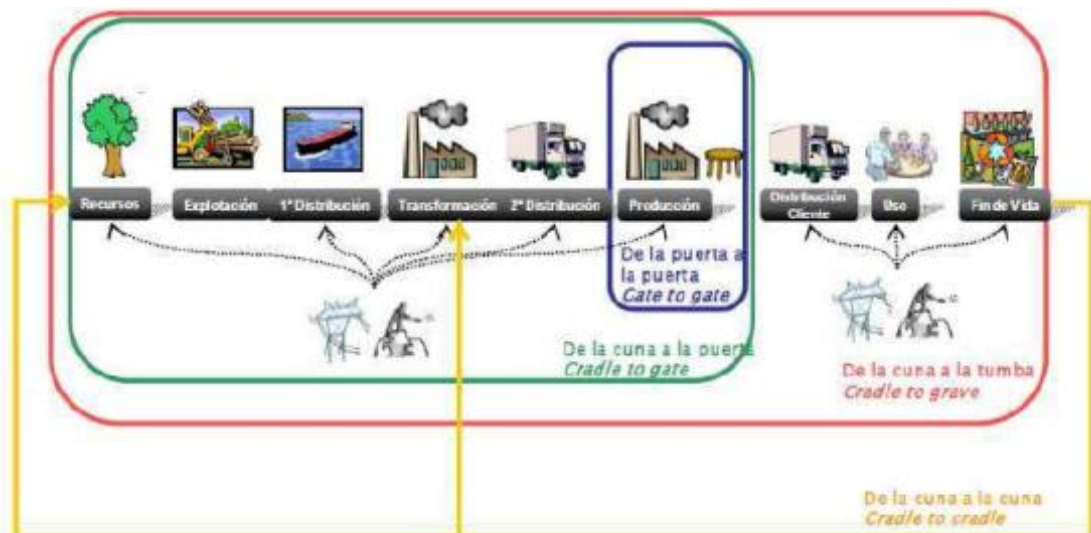


Imagen 7. Alcances del Análisis del Ciclo de Vida. (Fuente: GreenDelta, 2015)

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta de gestión medioambiental cuya finalidad es analizar de forma objetiva, metódica, sistemática y científica, el impacto ambiental originado por un proceso/producto durante su ciclo de vida completo (esto es, de la cuna a la tumba).

El ACV se clasifica en:

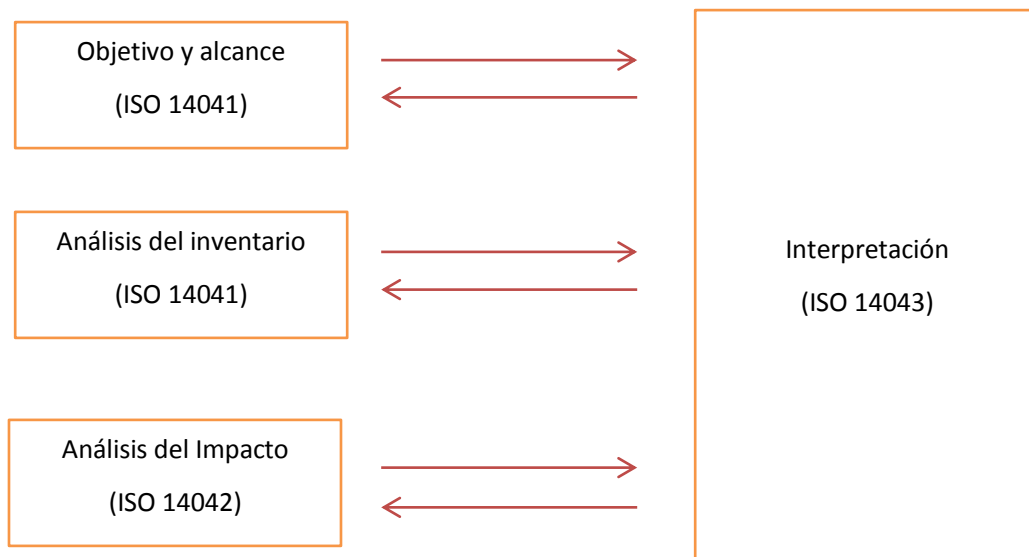
- ACV conceptual. Es el ACV más sencillo. Se trata de un estudio básicamente cualitativo, cuya finalidad principal es la identificación de los potenciales impactos que son más significativos. Los datos que se utilizan son cualitativos y muy generales.
- ACV simplificado. Es el segundo en escala de complejidad. Consiste en aplicar la metodología del ACV para llevar a cabo un análisis selectivo (tomando sólo en consideración datos genéricos y abarcando el Ciclo de Vida de forma superficial), seguido de una simplificación (centrándose en las etapas más importantes) y un análisis de la fiabilidad de los resultados.
- ACV completo. Es el nivel más complejo. Consiste en realizar un análisis en detalle, tanto del inventario como de los impactos, de forma cualitativa y cuantitativa. (Haya Leiva, 2016)

Un análisis de ciclo de vida según la ISO 14040:2006 tiene la siguiente estructura (Imagen 8): (Haya Leiva, 2016)

- Definición de objetivo y alcance: propósito del estudio, límites de interés del sistema y exclusiones.
- Análisis de Inventario: Método de Diagrama de Flujo de proceso, recolección. Transporte, proceso, escenario de fin de vida, Balance de materia y energía.
- Evaluación de impactos: Metodología para determinación de impactos del ciclo de vida.
- Interpretación de los resultados: En concordancia con los objetivos de estudio.

La metodología considera una serie de fases de trabajo interrelacionadas, las cuales son activas o dinámicas. En las que se recopilan y evalúan los datos, son la segunda (Análisis

de Inventario) y la tercera (Evaluación de Impactos). Las fases primeras (definición de objetivo y alcance) y cuarta (Interpretación de resultados) pueden considerarse como fases estáticas. A partir de los resultados de una fase pueden reconsiderarse las hipótesis de la fase anterior y reconducirla hacia el camino que ofrezca el nuevo conocimiento adquirido. El ACV es, por lo tanto, un proceso que se retroalimenta y se enriquece a medida que se realiza.



**Imagen 8. Esquema de la metodología (estructura) de un Análisis de Ciclo de Vida (Haya Leiva, 2016).**

### **Etapas en la vida de un producto**

Todas las actividades o procesos provocan impactos medioambientales, suponen consumo de recursos, emiten sustancias al medio ambiente y generan otras modificaciones ambientales durante su periodo vital. Así, el principio básico de la herramienta de ACV, es la identificación y descripción de todas las etapas del ciclo de vida de los productos (imagen 9), desde la extracción y pre-tratamiento de las materias primas, la producción, la distribución y uso del producto final hasta su posible re-utilización, reciclaje o deshecho del producto. (Eco inteligencia, 2013)

1. Adquisición de materias primas. Todas las actividades necesarias para la extracción de las materias primas y las aportaciones de energía del medio ambiente, incluyendo el transporte previo a la producción.

Los principales impactos ambientales en la etapa de extracción de materias primas para la elaboración de un producto están relacionados con el consumo energético asociado a este proceso de extracción, la degradación y erosión de las tierras, las emisiones de gases contaminantes, las emisiones de gases de efecto invernadero y los contaminantes hídricos o del suelo. Otros factores a tener en cuenta en la etapa de extracción de materias primas son la peligrosidad y toxicidad de éstas. (UNCUMA, s.f.)

2. Proceso y fabricación. Actividades necesarias para convertir las materias primas y energía en el producto deseado. En la fase de fabricación, el impacto ambiental se debe principalmente a la energía necesaria para fabricar el producto y a la generación de residuos asociada al proceso de fabricación.

La industria genera una gran cantidad de residuos muchos de los cuales son recuperables. El problema principal radica en el hecho que en muchas ocasiones no compensa económicamente hacerlo.

3. Embalaje, distribución y transporte. Posterior a la etapa de extracción de materias primas y fabricación del producto, se realiza el envasado y/o embalaje de este para su posterior distribución. Sin embargo, existe otra etapa «virtual» anterior a todas ellas cuya importancia no debe pasar desapercibida. Esta etapa es la de diseño del producto. Por ejemplo, un envase reducido o de poco peso y volumen puede llevar a una optimización de la distribución del producto, puesto que, por ejemplo, el número de productos transportados en un mismo camión se puede ver incrementado con una mejora en el envase.

A esta estrategia de integración de los aspectos medioambientales en el diseño del producto con el fin de mejorar su comportamiento medioambiental a lo largo de todo su ciclo de vida, se le llama eco-diseño. (UNCUMA, s.f.)

4. Uso, reutilización y mantenimiento. Utilización del producto terminado a lo largo de su vida en servicio. La fase de uso y mantenimiento supone un elevado consumo energético y de recursos asociados, ya que esta fase incluye desde la energía eléctrica consumida por el producto si este lo requiere, hasta el transporte de una reparación o un mantenimiento.

Así, el consumo energético representa uno de los principales problemas medioambientales a nivel global, ya que las principales fuentes de energía actuales son de origen no renovables y están asociadas regularmente a elevadas emisiones de gases de efecto invernadero. En tanto, el impacto debido al consumo energético, está estrechamente relacionado con la eficiencia del equipo: cuanto más eficiente, menos consumo asociado. (UNCUMA, s.f.)

#### 5. Reciclaje

Comienza una vez que el producto ha servido para su función inicial y consecuentemente se recicla a través del mismo sistema de producto (ciclo cerrado de reciclaje) o entra en un nuevo sistema de producto (ciclo de reciclaje abierto).

6. Gestión de los residuos. Comienza una vez que el producto ha servido a su función y se devuelve al medio ambiente como residuo.

Los residuos pueden ser reutilizados o reciclados con la finalidad de obtener nuevos productos, valorizados energéticamente con el fin de convertirlos en fuente generadora de energía o eliminados. (UNCUMA, s.f.)





Imagen 9. Etapas del análisis de ciclo de vida (Roman, 2017)

## Postes

Los postes de concreto se utilizan para el soporte de las redes aéreas para la distribución de energía eléctrica de la Comisión de Federal de Electricidad (CFE). En Tabla 4, se muestran las características nominales y mecánicas de los postes de concreto reforzado (PCR).

Figura No.	Descripción corta	Dimensiones (véase figura 1)						Carga de prueba (N)	Masa aprox. (kg)
		A	B	C	D	E	F		
		(m)		(mm)					
2	PCR-6-900	6	0.3	174	264	160	74.5	8891	421
3	PCR-7-500	7	0.3	174	279	175	74.5	4 905	533
	PCR-7C-500	7	0.3	174	279	155	54.5	4 905	569
4	PCR-9-400	9	1.8	150	285	181	73	3 924	629
	PCR-9C-400	9	1.8	150	285	161	53	3 924	690
5	PCR-9-600	9	1.8	150	285	181	73	5 886	629
	PCR-9C-600	9	1.8	150	285	161	53	5 886	690
6	PCR-11-500	11	1.8	150	315	211	73	4 905	835
	PCR-11C-500	11	1.8	150	315	191	53	4 905	922
7	PCR-11-700	11	1.8	150	315	211	73	6 867	835
	PCR-11C-700	11	1.8	150	315	191	53	6 867	922
8	PCR-12-750	12	1.8	150	330	226	73	7 357	947
	PCR-12C-750	12	1.8	150	330	206	53	7 357	1 049
9	PCR-12-1250	12	1.8	175	355	204	51	12 262.5	1 355
10	PCR-13-600	13	1.8	150	345	241	73	5 886	1 065
	PCR-13C-600	13	1.8	150	345	221	53	5 886	1 150
11	PCR-14-700	14	1.8	150	360	256	73	6 867	1 120
12	PCR-15-800	15	1.8	150	375	271	73	7 848	1 320

Tabla 4. Características de PCR. Fuente: CFE-Manual de postes.

El poste de concreto reforzado centrifugado es un producto hecho con base a componentes inorgánicos, los cuales al ser mezclados en proporciones adecuadas darán al producto: consistencia compacta y de gran resistencia a la compresión y adherencia, y mayor homogeneidad en la distribución de la mezcla.

Todos los postes de concreto sean armados o pretensados, deben cumplir con las normas y los requisitos específicos indicados en la guía de postes de CFE y deben contar con certificación de Laboratorio de Pruebas Equipos y Materiales (LAPEM) de la CFE.

### **Criterios de valorización de residuos de manejo especial**

Valorización es el conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar un residuo, uno o varios de los materiales que lo componen y/o el poder calorífico de los mismos, sin poner en riesgo el medio ambiente. Se asocia a las acciones de: (M. I. , 2012)

- ♣ Reutilización: acción mediante la cual productos o componentes de productos que no sean residuos se utilizan de nuevo con la misma finalidad para la que fueron concebidos;
- ♣ Reciclaje: empleo de un residuo como insumo o materia prima en un proceso productivo distinto del que lo generó, incluyendo el co-procesamiento y compostaje, pero excluyendo la valorización energética;
- ♣ Valorización energética: empleo de un residuo como combustible en un proceso productivo.



Imagen 10. Etapas de la valorización de RME. Fuente: (M. I. , 2012)

Un residuo de manejo especial debe cumplir con criterios de valorización para ser empleado en otro proceso o actividad, a continuación se presentan algunos principios que derivan de criterios y son aplicados en la industria: (M. I. , 2012)

- Principio de la Sustentabilidad Ambiental, por el que los responsables de la generación de residuos se hagan responsables de todo el ciclo de vida de ellos, en la búsqueda de proteger el medio ambiente y para que se pueda mantener con sus recursos disponibles para las generaciones futuras.
- Principio del que contamina paga, fundamentada en la concientización de que quien origina los impactos debe asumir los costos de mitigarlos.
- Principio de precaución, se refiere a las acciones preventivas que la autoridad, a través de normas, puede ejercer en torno a acciones que pueden generar contaminación, previniendo las consecuencias.
- Principio de responsabilidad, “de la cuna a la tumba”. Es hacerse responsable desde la generación del residuo hasta su disposición final en forma inerte, re - utilizado o eliminado. (M. I. , 2012)

Actualmente se conocen los siguientes tipos de valorización: (R., 2015)

Valorización Energética: la cual tiene lugar por la incineración de los residuos, obteniendo pequeñas cantidades de residuos y energía proveniente de los materiales contenidos. En el caso de los residuos domésticos se utilizarán unos u otros dependiendo de los niveles de eficiencia energética del proceso. Uno de los combustibles que se obtiene es el Combustible Sólido Recuperado (CSR).

Valorización material: es la obtención de nuevos materiales, o el reciclaje de parte de ellos, para evitar el uso de nuevas materias primas. Los materiales que se pueden valorizar son los envases ligeros, el papel y cartón, el vidrio o la materia orgánica. En este último caso la valorización se hace mediante el compostaje o digestión anaerobia.

En la CDMX y el Estado de México se tiene la generación promedio de residuos de manejo especial la cual en concreto es aproximadamente de 1 489 toneladas anuales siendo el 24.28% del total de los residuos generados en el valle de México. (SEMARNAT, 2017)

Generación promedio de RCD por subproducto		Cuadro 22
Subproducto	Generación promedio	%
Material de excavación	2,637.55	43.16
Concreto	1,489.88	24.38
Block tabique	1,425.72	23.33
Tablaroca Yeso	247.50	4.05
Madera	92.89	1.52
Cerámica	51.94	0.85
Plástico	44	0.72
Piedra	37.89	0.62
Papel	29.94	0.49
Varilla	29.33	0.48
Asfalto	15.28	0.25
Lámina	5.5	0.09
Otros	3.67	0.06
Total	6,111.09	100.00

Fuente: Elaboración propia con datos de SEMARNAT (2009a)

**Imagen 11. Generación de RME de construcción. Fuente: (SEMARNAT, 2017)**

En cuestión de aprovechamiento, SEMARNAT (2009) indica que en CDMX se reciclaron el 13.5% de residuos de construcción generados y el 6% fue reutilizado, en el 2007. La empresa Concretos Reciclado indica que uno de los factores al que puede atribuirse el porcentaje de reciclaje tan bajo de los residuos de la construcción, es la falta de confianza para utilizar los materiales reciclados, prefiriendo seguir utilizando materiales vírgenes, lo que disminuye considerablemente el mercado y evita que esta práctica se propague. El costo aproximado para el reciclaje de estos residuos es de \$40 por m<sup>3</sup> sin incluir transporte, mientras que el costo del material reciclado es de \$25 por m<sup>3</sup>. En tanto que la tarifa promedio estimado del costo de recepción en bancos de tiro clandestinos es de \$10 por m<sup>3</sup>. (SEMARNAT, 2017)

Con base a los Objetivos de Desarrollo Sostenible y Gestión de Residuos se han planteado algunas acciones para reducir los impactos ambientales y de alguna forma hacer conciencia que las acciones que actualmente realizamos pueden tener graves efectos en un tiempo corto es por ello que la economía circular en los últimos años ha tenido un avance en la implementación de ella en procesos industriales y la gestión ambiental de los residuos (P., 2019), la cual lleva a cabo los principios de preservar, optimizar y eficientar los procesos en la cual sea aplicada, en el caso de los PCR-13-600 se tiene una gran aplicación debido a los datos obtenidos de los manuales de postes de CFE y en comparación con los datos proporcionados por CEMEX tanto el cemento y la varilla cumplen con las características para ser reutilizados en procesos de construcción, compactación entre algunos otros.

## Principios

1. **Preservar** y mejorar el capital natural
2. **Optimizar** el rendimiento de recursos (circulación)
3. **Eficiencia:** minimizar fugas y externalidades negativas



Imagen 12. Principios de la economía circular. Fuente: (P., 2019)

## DIAGNÓSTICO DEL MANEJO DE RESIDUOS

Un diagnóstico es primordial para evaluar e identificar los residuos que generan mayor impacto, así como clasificarlos de acuerdo a sus características señaladas por el proveedor, es por ello que en CFE, se tienen controles administrativos para diferentes residuos generados en la División Centro Oriente-Zona Tlaxcala.

### Generación residuos de manejo especial.

En las tablas 5,6 y 7, muestran los volúmenes de generación anual 2019, 2018 y 2017 de residuos de manejo especial generados en la Zona Tlaxcala para lo cual se ha tomado en cuenta el registro de los envíos al Almacén Divisional San Felipe siendo las bitácoras de la División Centro Oriente. En el cuál se tiene una generación superior de las 10 toneladas siendo catalogado GRAN GENERADOR, esta clasificación se asigna conforme a lo establecido en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) y la NOM-161-SEMARNAT-2011, (DOF,2013) con base a esto se toma en cuenta la cantidad generada anual expresada en kilogramos o toneladas.

En la tabla 5, se enlistan los residuos de manejo especial del año 2019 expresando la generación en kilogramos (Kg) y toneladas (ton).

Generación de Residuos de Manejo Especial 2019		
Tipo de Material	Cantidad	
	Kg	ton
Artículos de Porcelana con herrajes	10260	10.260
Cable de aluminio (ACSR)	6653	6.653
Cable de aluminio con forro	1206	1.206
Cobre desnudo	35	0.035
Desecho ferroso de segunda	1465	1.465
Llantas segmentadas y/ o no renovables	120	0.120
Medidor energía eléctrica , gas, potencia , factor potencia	3949	3.949
Papel archivo	100	0.100
Plástico	594	0.594
<b>Postes de concreto</b>	<b>208600</b>	<b>208.600</b>
Transformadores de distribución y potencia c/aceite	2986	2.986
Transformadores de distribución y potencia sin aceite	35	0.035
<b>TOTAL</b>	<b>236003</b>	<b>236.003</b>

**Tabla 5. Generación de residuos de manejo especial 2019 (Fuente: Elaboración Propia)**

En la tabla 6, se enlistan los residuos de manejo especial del año 2018, expresando la generación en kilogramos (Kg) y toneladas (ton).

Generación de Residuos de Manejo especial 2018		
Tipo de material	Cantidad	
	kg	ton
Artículos de porcelana con herrajes	8113	8.113
Cable de aluminio (ACSR)	4751	4.751
Cable de aluminio con forro	1348	1.348
Cable CU paralelo con forro	5	0.005
Cobre desnudo	406	0.406
Desecho ferroso de segunda	7846	7.846
Llantas segmentadas y/o no renovables	525	0.525
Medidor de energía	8985	8.985
Plástico	568	0.568
<b>Postes de concreto</b>	<b>270900</b>	<b>270.9</b>
Transformadores de distribución y potencia c/aceite	2221	2.221
Transformadores de distribución y potencia sin aceite	759	0.759
<b>TOTAL</b>	<b>306427</b>	<b>306.427</b>

**Tabla 6. Generación de residuos de manejo especial 2018 (Fuente: Elaboración Propia)**

En la tabla 7, se enlistan los residuos de manejo especial del año 2017 expresando la generación en kilogramos (Kg) y toneladas (ton).

Generación de Residuos de Manejo Especial 2017		
Tipo de Material	Cantidad	
	Kg	ton
Acumuladores	136	0.136
Artículos de porcelana con herraje	10081	10.081
Cable de aluminio (ACSR)	5266	5.266
Cable de aluminio con forro	1071	1.071
Cable CU paralelo con forro	2	0.002
Cobre desnudo	51	0.051
Desecho ferroso de segunda	5824	5.824
Desecho ferroso vehicular	4000	4.000
Escoria de cobre	136	0.136
Medidor energía elec, gas, potencia , factor potencia	7200	7.200
Papel archivo	325	0.325
Plástico	390	0.39
<b>Postes de concreto</b>	<b>158900</b>	<b>158.9</b>
Transformadores de dist y potencia sin aceite	4685	4.685
<b>TOTAL</b>	<b>198067</b>	<b>198.067</b>

**Tabla 7. Generación de residuos de manejo especial 2017 (Fuente: Elaboración Propia)**

Es importante señalar aquellos residuos de manejo especial por los cuales la empresa Comisión Federal de Electricidad, División de Distribución Centro Oriente, Zona Tlaxcala se encuentra obligada a la formulación y ejecución del presente plan de manejo como lo establece la NOM-161-SEMARNAT-2011, Anexo Normativo, Capítulo 7, son los siguientes:

- Artículos de porcelana con herraje
- Cable de aluminio con cableado concéntrico y alma de acero (ACSR).

Los demás residuos de manejo especial no se generan en cantidades suficientes para ser considerados dentro de esta categoría.

### **Controles Administrativos**

El manejo administrativo de los diferentes residuos se realiza a nivel divisional, por medio de un Sistema de Gestión, el cual está conformado por los instructivos listados en la tabla 7 (Distribución, 2015).



Se cuentan con 4 instructivos divisionales para el manejo administrativo, los cuales se encuentran enlistados en la Tabla 8.

Controles administrativos	Registro de documento
Instructivo para la clasificación y medición de residuos sólidos urbanos.	I-4137-001
Instructivo para manejo de aceite dieléctrico.	I-4137-002
Instructivo para Manejo de residuos peligrosos.	I-4137-003
Instructivo para uso de papel y acopio de papel no útil.	I-4137-004

**Tabla 8. Instructivos de controles administrativos CFE. Fuente: (CFE-Distribución 2015)**

### Almacenamiento de Residuos de Manejo Especial

El almacenamiento temporal de los residuos de manejo especial se realiza en dos etapas, la primera consiste en el almacenamiento en las áreas de distribución (Imagen 13) y agencias comerciales en contenedores, después reunir una cantidad suficiente (aproximadamente 10-15 toneladas), son transportados al Almacén Divisional San Felipe, en donde son almacenados hasta su disposición final.



**Imagen 13. Postes PCR-13-600 en fin de uso en almacén de Zona Tlaxcala (Fuente: Elaboración propia).**

El almacén divisional San Felipe, se encuentra dividido en áreas (patios), uno de ellos conocido como almacén 2000 en donde se almacenan todos los Postes, los cuales se les da disposición mediante de licitaciones públicas y la comercialización es por lotes. (Distribución, 2015)

Por otra parte la utilización de contenedores para el almacenamiento de Residuos de Manejo Especial (RME), en Comisión Federal de Electricidad, División de Distribución



Centro Oriente Zona Tlaxcala resulta variada y cada instalación de la empresa lo hace de acuerdo a sus necesidades, ejemplo de esto son las formas diversas de almacenamiento que van desde contenedores tipo rejilla de diferentes volúmenes, almacenamiento en el piso, hasta contenedores cúbicos metálicos de volúmenes mayores.



**Imagen 14. Almacén de Zona Tlaxcala, PCR 13-600 NUEVOS Y FIN DE USO (Fuente: Elaboración Propia)**

## METODOLOGÍA

Considerando los resultados del diagnóstico del manejo de residuos especiales generados en la empresa, se identificó a los Postes de Concreto Reforzado uno como los principales residuos en mayor cantidad.

Con base a un análisis se desarrollará la investigación referente a análisis ciclos de vida.

### **ETAPA 1. Definición del Objetivo y Alcance del ACV**

El presente estudio se basará en el análisis de ciclo de vida para postes de concreto reforzado tipo 13-600 ACV empleado es, de la puerta a la tumba (Gate to grave): el que considera el transporte y uso, abarcando hasta la fase de gestión de los residuos que da lugar el producto.

El estudio se basa en el análisis de ciclo de vida para postes de concreto reforzado tipo 13-600 (Imagen 15) en el cual ACV empleado es, de la puerta a la tumba (Gate to grave): el que considera el transporte de la fábrica a el uso dentro de la empresa (CFE- Distribución) y abarca hasta la fase de disposición final del poste. (Haya Leiva, 2016)

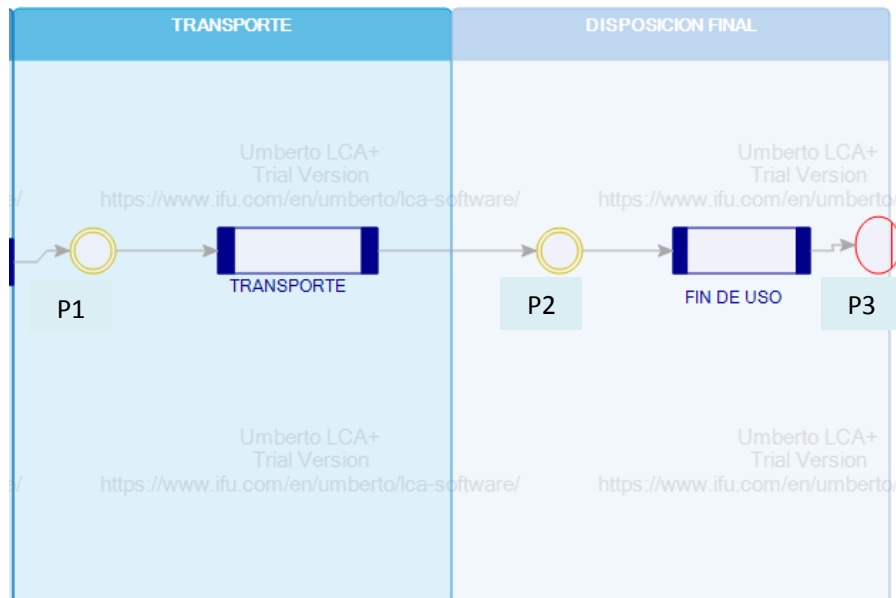


**Imagen 15. Diseño de PCR-13-600, con sus especificaciones (Fuente: Elaboración propia).**

Ya que por sus dimensiones hacen que se ocupe un espacio excesivo para su disposición final y en cuestión de traslado es complicado, se requiere de una propuesta para su valorización de este residuo al final de su vida útil.

Posteriormente, se procederá a diseñar del software Umberto LCA, considerando dos fases: Transporte y Disposición Final.

En la imagen 16, se presenta las etapas a analizar en el ACV del PCR-13-600 de la puerta a la tumba, esto quiere decir de la salida del poste de la fábrica, el transporte y uso del mismo en CFE hasta su disposición final.



**Imagen 16. Diagrama de proceso de elaboración en el cual se divide en: A) Transporte, B) disposición final de un poste de concreto reforzado PCR-13-600. Dónde: P1= Poste fabricado, P2= Poste listo para instalación y P3= Poste en su fin de vida útil. (Fuente: Elaboración Propia).**

Las etapas de análisis de ACV consisten en 2 etapas, que se describen a continuación:

### 1. USO Y TRANSPORTE:

El PCR ensamblado se manda a almacenamiento por 28 días (P1) tiempo estimado para un secado completo y análisis de calidad por parte del laboratorio certificado por CFE, después hay un control de calidad para los postes elaborados siendo la inspección y pruebas de flexión estática y de ruptura .

Se transporta (P2) hacia las diferentes zonas que requieren de PCR-13-600, para la distribución aérea de energía eléctrica. Con grúas de CFE se traslada desde la fábrica hasta el área de trabajo donde se requiera, en cada viaje hay al menos 12 postes por tráiler y 6 postes en grúas.

Posteriormente se instala en el lugar donde será requerido y el departamento de media y baja tensión realiza las maniobras correspondientes en su instalación.

### 2. DISPOSICIÓN FINAL:

Después de ser instalado tiene una vida útil de aproximadamente 30 a 40 años, sin embargo este poste (P1) puede ser afectado por accidentes, fenómenos naturales, entre otros factores.

Así llega a su fin de uso y el departamento de media-baja tensión hace la maniobra de cambiar el poste dañado (P3) por uno nuevo y de esta forma se concluye el proceso de vida útil de un poste de concreto reforzado (PCR-13-600).

### 3. PROPUESTA DE VALORIZACIÓN

Por sus dimensiones de longitud y cantidad de generación del PCR-13-600 (P3) el área de almacenamiento se ve excedida. Cabe señalar que CFE no cuenta con una valorización de este residuo para aplicar una economía circular y hacer un uso de los residuos de postes de concreto reforzado los cuales tienen aplicaciones en la construcción, pavimentación y compactación.

## **DEFINICIÓN DEL SISTEMA Y SUS LÍMITES**

Existe un control de calidad para los postes elaborados siendo la inspección y pruebas de flexión estática y de ruptura que se realizan como mínimo a los 28 días naturales de fabricado el poste o antes si el fabricante demuestra con resultados de prueba de resistencia a la compresión, si el concreto ha alcanzado la resistencia mínima de 29.42 MPa. (CFE, POSTES CFE J6200-03, 2016)

Las pruebas de aceptación se realizan a las muestras de un lote de producción atestiguadas por personal de CFE, con propósito de aceptación o rechazo de la solicitud de inspección, conforme al procedimiento PE K3000-03 vigente. (CFE, POSTES CFE J6200-03, 2016).

Las pruebas de aceptación son las siguientes:

- a) Inspección visual y dimensional
- b) Flexión estática
- c) Ruptura
- d) Revisión de certificados de acuerdo a lo indicado en las características y condiciones de especificaciones.

En este caso para llevar a cabo los cálculos de la cantidad de materiales por poste se utilizó el Manual del Constructor de CEMEX (CEMEX, 2015), así como el diseño de mezclas de concreto, debido a que las empresas de elaboración de postes de concreto reforzado mantienen en privado esta información.

## **ETAPA 2- Análisis de Inventario del Ciclo de Vida (ICV)**

El Análisis de Inventario de Ciclo de Vida por sus siglas en inglés (ICV), es el proceso de cuantificar los requisitos de energía y materias primas, emisiones a la atmósfera, vertidos al agua, residuos sólidos y otras emisiones provenientes de la totalidad del ciclo de vida de un producto, proceso o actividad.

Actualmente la concesión para la elaboración de postes de concreto reforzado es con la empresa ECISA, SA. De CV. Quién cumple a nivel divisional con los certificados de calidad y producción.

El Laboratorio de Pruebas Equipos y Materiales (CFE, LAPEM CFE, 2015) comprueba la calidad de elaboración del producto visitando la planta de producción y eligiendo dos postes de concreto por un lote de 50 a 70 postes en los cuales valoran su torsión, tensión y que no esté agrietado, las pruebas son romperlos bajo ciertos criterios que son de referencia para este laboratorio, los postes seleccionados se quedan en la planta después de ser quebrados y por especificación de calidad el material no puede ser reutilizado para la elaboración de nuevos postes de concreto reforzado.

### ETAPA 3- Evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV)

En esta etapa se considerará un análisis bibliográfico respecto a las diversas metodologías de evaluación de los impactos del ciclo de vida (EICV), para postes de concreto empleados en la distribución aérea de energía eléctrica. (Haya Leiva, 2016)

La evaluación de impactos tiene por objetivo valorar los resultados del análisis del inventario del producto o servicio en cuestión, cuantificando los posibles impactos medioambientales. De acuerdo a la Norma ISO 14044, el desarrollo de un EICV consta de una fase obligatoria y otra de carácter opcional. (Imagen 12).

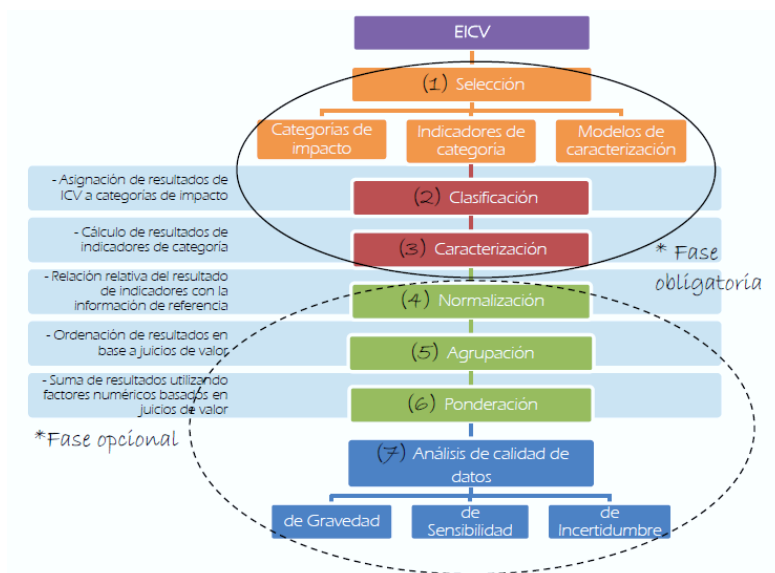


Imagen 17. Componentes del EICV. Fuente: (Gonzales F. 2012)

Las categorías de impactos, los indicadores y modelos de caracterización son fundamentales para elegir la base de datos que se utilizará en función del proceso o actividad que se desea analizar.

Para el caso de los estudios de ACV analizados se presenta en la Tabla 11, el software empleado así como las bases de datos (Organización) que usaron para realizar la evaluación de impactos ambientales (Análisis de impactos), en postes de concreto y madera en diferentes países del mundo.

Cada software es elegido en función del análisis de impactos, y de sus bases de datos que requieren de información actualizada para tener un ACV más aproximado a valores reales.

Investigación	Software	Organización	Análisis de Impactos	País de origen	Tipo de alcance
<b>ACV-Australia</b>	OpenLCA	ReCiPe MindPoint- ELCD CML 2001	ICV- EICV	Berlín, Alemania	Puerta-tumba
<b>ACV-Brasil</b>	SimaPro 4.0	CML IA	ICV- EICV	Holanda	Cuna-tumba
<b>ACV-USA</b>	Green Delta	LCPROFILESM	EICV	Alemania	Puerta-puerta

**Tabla 9. Especificaciones de EICV de software y bases de datos (Inventarios ambientales). Fuente: Elaboración propia**

Función de los inventarios es la base fundamental de un ACV, ya que por medio de estos se realiza un análisis completo de los indicadores ambientales que causan alto impacto en el medio ambiente, es por ellos que en los países de Holanda, Suiza y Alemania se han desarrollado la mayoría de eco-inventarios que han servido de referencias para realizar ACV en otros países del mundo.

Existe una clasificación de acuerdo con la base de inventarios entre los que destacan: Green Delta en materia de Residuos Sólidos, ELCD en gases de Efecto invernadero y ecoinvent en impactos al ambiente como eutrofización, ecotoxicidad, calentamiento global entre

otros. ( (Hangyong Ray & El Hanandeh, 2016) (Simone & Ferreira, 2017) (Giscar, Jacques, & Paul, 2017) ).

A continuación, se describen casos de los ACV donde evalúan impactos ambientales de postes de concreto usados en la distribución de la energía eléctrica.

Según Hangyon Ray & Hanandeh Ali 2016, realizaron una evaluación del ACV entre postes de madera y concreto, de la puerta a la tumba, esto quiere decir que solo se toma en cuenta la entrada de materias primas en el proceso de fabricación, el producto terminado, el fin de uso y su disposición final.

En Australia hay más de 5 millones de postes de madera para los servicios públicos, siendo aproximadamente 75, 000 nuevos postes instalados anualmente.

Sin embargo, a la creciente conciencia ambiental y preocupaciones sobre la sostenibilidad de los bosques, se firmaron acuerdos para eliminar la tala de bosques nativos, es por ello que los postes de acero y hormigón se consideran opciones más viables para reemplazar postes de madera natural.

Los postes de concreto se pueden elaborar en tamaños específicos que ofrecen propiedades de resistencia que igualan o superan las de los nativos poste de madera dura. Además, tienen alta confiabilidad estructural y bajos costos de mantenimiento, los componentes del concreto incluyen agua, cemento así como gruesos y finos agregados.

Los datos de inventario de análisis de ciclo de vida sobre cemento, hormigón, áridos y el acero se obtuvieron del inventario de ciclo de vida CML, ReCiPe (GreenDelta, 2015). El proceso de fabricación de postes de hormigón requiere electricidad y gas natural para calentar el concreto, siendo el proceso de curado acelerado, así como aportes de diesel y agua.

Se consideraron cinco categorías de impacto:

1. Calentamiento global
2. Acidificación
3. Eutrofización
4. Agotamiento Fósil
5. Toxicidad humana

Estas categorías de impacto se eligieron en función de la Guía de mejores prácticas para la evaluación del impacto del ciclo de vida en Australia. (Hangyong Ray & El Hanandeh, 2016).

La guía sirve para seleccionar un método de punto medio (y factores de caracterización), pero no da orientación sobre la selección de categorías de impacto para incluir en un estudio. Esto dependerá del objetivo del estudio, los procesos que se están evaluando y las sensibilidades ambientales de regiones en las que ocurren los procesos, y se determina mejor a través de un estudio de detección.

En este caso de estudio el método de evaluación del impacto del ciclo de vida, por sus siglas en inglés, (LCIA) para la caracterización de las emisiones en las categorías de impacto, excepto la categoría Acidificación, para la cual se utilizó el método CML 2001, el cual fue desarrollado en el Centro de Estudios Ambientales la Universidad de Leiden en los Países Bajos, aplica el valor máximo de las reservas y las tasas de extracción, que reflejan la gravedad del agotamiento de los recursos, es la metodología más utilizada y completa para derivar factores de impacto de datos europeos, así como el software LCA para realizar el análisis de Ciclo de Vida (GreenDelta, 2015)

Los datos del inventario de ciclo de vida (LCI) para los procesos anteriores se recopilaron de diferentes fuentes, incluyendo la literatura publicada y las bases de datos en línea así como la del ciclo de vida de referencia europea (ELCD, 2014) (USDA, 2014), y el inventario del ciclo de vida nacional de Australia.

### **Aspectos ambientales**

La sustitución de productos de madera es un factor importante a largo plazo, estrategia de gestión para mitigar el cambio climático.

Los estudios de Life Cycle Assessment por sus siglas en inglés, (LCA) existentes indicaron que hay un significativo ahorro de energía y 80 % de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, sustituyendo la madera por los materiales alternativos.. (Hangyong Ray & El Hanandeh, 2016)

Los beneficios medioambientales de utilizar diferentes materiales (alternos a la madera) para la fabricación de postes de servicios públicos se han argumentado en varios estudios



(Simone & Ferreira, 2017) (Haya Leiva, 2016) (Lopez A. E., 2010) por sus diferentes procesos de fabricación, vida útil, requisitos de tratamiento y mantenimiento y opciones de eliminación.

### **Costos de los productos de madera frente a los materiales de la competencia**

Análisis de costes del ciclo de vida, según la directriz de costeo del ciclo de vida. (Hangyong Ray & El Hanandeh, 2016) Life Cycle Costing por sus siglas en inglés (LCC), estima todos los costos relevantes a lo largo del periodo de vida útil.

Incluye costos de fabricación, mantenimiento y costos de reposición, costos de energía y valores residuales.

Los costos del ciclo de vida de un poste de energía deben incluir:

- ♣ Las materias primas.
- ♣ La fabricación (mano de obra y maquinaria)
- ♣ Costo de energía.
- ♣ Costo de tratamiento de la contaminación
- ♣ Transporte, instalación, mantenimiento.
- ♣ Remoción, impactos ambientales y eliminación. (Hangyong Ray & El Hanandeh, 2016)

En comparación con el costo total entre madera, hormigón y aplicaciones de acero, la madera se ha considerado comúnmente como una opción de herramienta rentable, pero con altos impactos al ambiente.

Los postes de hormigón son relativamente más caros que otros materiales debido a su mayor costo de transporte y su proceso de fabricación (es decir, mano de obra, máquina depreciación y gastos generales de fábrica), la energía necesaria para fabricar, los residuos generados durante el proceso de fabricación, así como la instalación del poste, y el mantenimiento.

El costo de la eliminación final y el tratamiento de cada poste de concreto envejecido después de 60 años de vida útil estimado en \$ 357.68 y \$ 38.57, respectivamente. (ELCD, 2014)

Por lo tanto, en un estudio integral del ciclo de vida es necesario analizar un inventario para llenar las lagunas de conocimiento tanto en el medio ambiente e impactos económicos de las alternativas en los postes de servicios públicos. ANEXOS –Tabla 3. Inventario de ACV.

En el caso de postes concreto, al final de su vida útil, el acero se envía a reciclaje, lo que representa el 5% del volumen, siendo que el LCA asumió que todo el concreto utilizado fue enviado al vertedero para su disposición final; mientras tanto, el 85% del acero de refuerzo se recicló. (ELCD, 2014) ANEXOS –Tabla 8.

Con base a Simone & Ferreira, se realizó una evaluación de impactos en Brasil en la cual se utilizó el escenario desde la cuna que consiste en la extracción de materias primas, posteriormente la entrada de estas al proceso de fabricación, el producto terminado, el fin de uso y su disposición final. Empleando el software SimaPro y la base de datos CML IA.

La fabricación de postes de hormigón se cuantificó por fuentes, obtenidas de visitas técnicas a una empresa con una producción media anual de 22,000 postes de hormigón, ubicados en Jacuipe, Bahía, Brasil.

Los datos para la extracción de materias primas para postes de concreto se estimaron sobre las bases datos cuantitativas y de identificación de materiales en el proceso de fabricación. (Simone & Ferreira, 2017) ANEXOS. Tablas 4 y 5.

Para la fabricación de materiales en este caso de postes de concreto, principalmente utiliza una mezcla de arena, cemento, agua y grava.

Primero en la armadura de acero se ensambla con electricidad. El acero medio el consumo es de 61 kg por poste, y el consumo medio de hormigón es de aproximadamente 1024 kg. (Simone & Ferreira, 2017)

Para la producción de hormigón, los materiales son agitados por mezcla o vibración. Ambos procesos dieron como resultado un promedio de consumo de energía eléctrica de 2,8 kWh por poste, se asumió que cada poste de energía genera aproximadamente 10 kg de residuos de hormigón. ANEXOS-Tablas 6 y 7.

### **Análisis de Inventario para postes de concreto**

En el caso de postes de concreto, al final de su vida útil, el acero se envía a reciclaje, lo que representa el 5% del volumen, el cemento se produce en Candeias, Bahía,

aproximadamente a 280 km de donde están los postes fabricados. La arena y grava se extrae en el metropolitano región de Salvador, aproximadamente a 60 km de donde se fabrica el cemento. (USDA, 2014)

Durante todo el proceso de fabricación, utilizan un tractor para transportar los materiales y apilar los postes de servicios públicos, que impulsa el consumo de combustibles fósiles.

El fabricante de postes concreto debe realizar ensayos de control sobre los materiales utilizados durante la fabricación. (Simone & Ferreira, 2017)

Además, el concreto tiene propiedades como porosidad, permeabilidad, absorción capilar, migración y difusión de iones que están influenciados por el uso de aditivos.

Se realizan pruebas a los postes de concreto, como la elasticidad, resistencia a la tracción, revestimientos, eliminación de armaduras y agua siendo la absorción, el secado del concreto debe ocurrir lentamente para evitar el agrietamiento.

En este estudio se hace una comparación de tres escenarios que fueron parte de la evaluación y análisis de ciclo de vida del poste de concreto. (Simone & Ferreira, 2017)

- En el escenario I, se estimó la vida útil más baja para los postes de madera, y se encontró vida útil para postes de concreto, 9 y 40 años, respectivamente.
- En el escenario II (escenario de referencia), los valores medios de 26 años se utilizaron para ambos tipos de postes.
- Escenario III representa lo inverso del escenario I, con una vida útil más larga encontrado para los postes de madera y un tiempo más corto para postes de concreto es decir, 44 y 8 años, respectivamente.

Las categorías de impacto están influenciadas por este parámetro en las siguientes proporciones: (Simone & Ferreira, 2017)

1. Eutrofización (117%)
2. Ecotoxicidad marina (108%)
3. Ecotoxicidad acuática de agua dulce (91%)
4. Acidificación (63%)
5. Toxicidad humana (55%)

En el paso de disposición final de postes de concreto, se consideró que los residuos en lugar de estar destinados a relleno sanitario, se reciclarían, para su uso en pavimento de asfalto en forma de piedra triturada.

Dependiendo de la vida útil del servicio, el potencial los impactos ambientales se pueden reducir o aumentar a un ritmo que depende directamente de los valores asignados a los procesos analizados.

Por lo tanto, extender la vida útil de un producto o proceso a través de factores como la calidad del material, ajustes de diseño, y el mantenimiento de rutina es una forma eficaz de reducir impactos.

Al cuantificar los impactos ambientales de los productos, la evaluación del ciclo de vida es una herramienta que puede ser de gran utilidad para los encargados de tomar decisiones en los procesos de elaboración del poste de concreto.

En la Imagen 15, se obtienen los resultados del EICV en el cual se presentan los tres escenarios analizados para postes de madera y concreto. Con diferentes impactos ambientales que generan durante su vida útil.

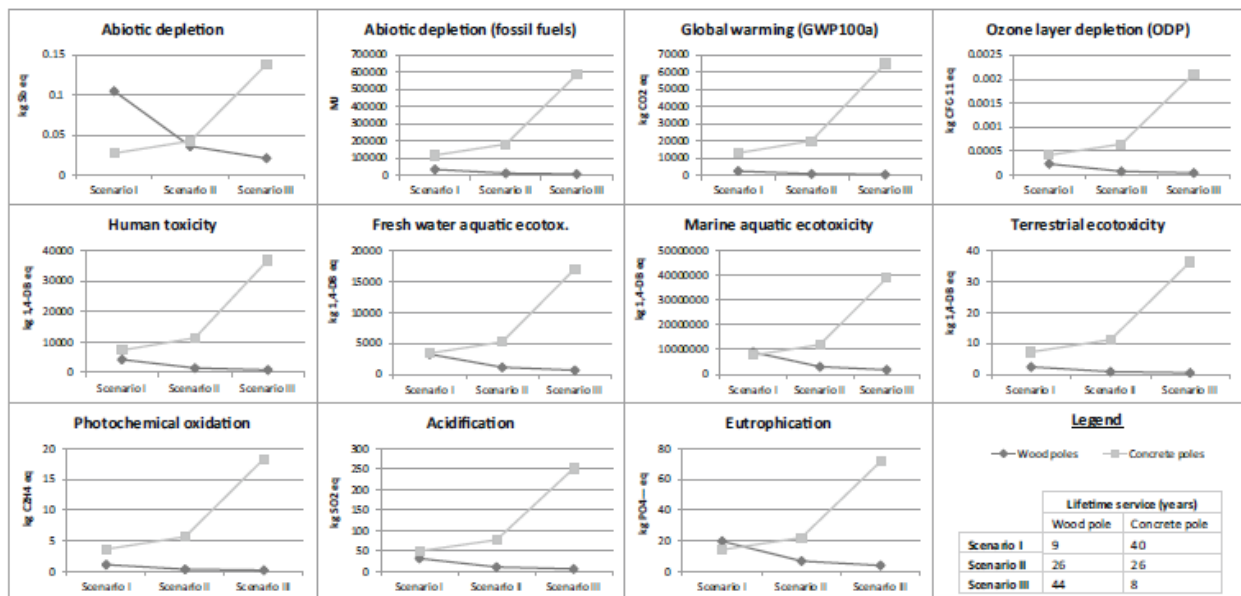


Imagen 18. Análisis de LCA con ELCD, de 3 escenarios de vida útil de postes de concreto. Fuente: (Giscar, Jacques, & Paul, 2017).

En el comportamiento de las gráficas de los tres escenarios en función de la vida útil de un poste de madera y uno de concreto, evidencia que el poste de concreto tiene menos impactos al paso de los años y que sus componentes pueden ser revalorizados para formar parte de otro proceso como; en la construcción de caminos, cimiento de construcciones, así como el uso de este en la compactación de los rellenos sanitarios.

En el caso de estudio de Giscar, Jacques & Paul realizaron una revisión bibliográfica de las limitaciones de un ACV en Estados Unidos, tomando como referencia el escenario de la puerta a la puerta en el cual solo se analiza los impactos que pasan en el proceso, en este caso en la elaboración de un poste de concreto. En este caso el estudio se basó en la gama de inventarios ambientales GreenDelta de la cual LCPROFILESM (USDA, 2014), es la propuesta de alternativa en el caso de USA para los procesos de construcción de los postes de concreto que sirven para la distribución aérea de la energía eléctrica.

El LCA se ha utilizado en el sector de las líneas de transmisión de energía desde 1992, para evaluar los impactos ambientales de los postes de servicios públicos. (Giscar, Jacques, & Paul, 2017)

Establece un vínculo entre el flujo de materiales y la energía relacionada con el ciclo de vida de un producto y las posibles cargas medioambientales asociadas.

Los responsables políticos o las empresas eléctricas se enfrentaron a la elección del material de poste más sostenible en los últimos años. (Giscar, Jacques, & Paul, 2017)

Se han identificado tres formas de informar los datos recopilados en los estudios revisados:

- ❖ Datos organizados por proceso unitario, los datos del proceso describen las entradas y salidas a nivel de proceso.
- ❖ Datos organizados por etapa del ciclo de vida, describen las entradas y salidas al nivel de la etapa de vida.
- ❖ Datos organizados independientemente del proceso unitario o la etapa del ciclo de vida del poste.

En general, los productos que requieren menos aporte de energía, en consecuencia tienen menos impacto ambiental. (Giscar, Jacques, & Paul, 2017)

En lo que respecta a las preocupaciones metodológicas específicas de los postes de las empresas eléctricas, hasta la fecha no existe un acuerdo sobre opciones metodológicas para la realización y presentación de ACV en este campo de estudio en los Estados Unidos.

Algunos esfuerzos se han realizado para optimizar el Análisis de Ciclo de Vida del poste de servicios públicos principalmente en la metodología y evaluación de impactos, de estas quedan algunos problemas sin resolver que se enumeran a continuación: (Giscar, Jacques, & Paul, 2017)

- Diferentes diagramas de flujo muestran cómo se desarrollan los procesos de las etapas de vida de los postes de servicios.
- Las categorías de impacto se han evaluado a través de varios métodos de Análisis de Inventarios de Ciclos de vida por sus siglas en inglés (LCIA) y software que varían del más sofisticado (TRACI, GaBi, etc.) al más simple (hoja de cálculo enlazada de elaboración propia). Un intento para implementar un software (LCPROFILES.M) dedicado solo al poste de servicios públicos se han configurado en un contexto para comparar los perfiles ambientales de varios materiales. ANEXOS Tabla 10.
- Todos los estudios de caso de LCA han sido hechos, concretamente en Europa y Australia.
- Los estudios de LCA de postes son apoyados principalmente por investigadores europeos y suecos.

Además, dado que los estudios de caso se han realizado solo en países desarrollados, indicadores de sostenibilidad en la producción, fin de uso de los postes deben ser desarrollados para los demás países del mundo y utilizados, con el fin de enfocarse en el medio ambiente y la energía.

#### **ETAPA 4- Interpretación de los resultados de la evaluación de impactos**

- Los análisis de ciclo de vida analizados en la etapa anterior nos presentan diversos escenarios de metodología en las cuales se obtienen resultados óptimos en el proceso de elaboración de postes de concreto en comparación con los impactos ambientales que provoca el proceso de fabricación de un poste de madera.

- El uso de software facilita la interpretación de los resultados, siendo como el caso de Australia y Brasil en los cuales se estimaron los impactos como: Calentamiento global, Acidificación, Eutrofización, Toxicidad Humana.
- Más beneficios medioambientalmente debido a que un poste tiene una vida útil de 30-40 años a menos que pase un fenómeno natural como un huracán o un sismo hacen que estos queden dañados o en su defecto un accidente automovilístico hace que el poste quede inservible.
- Se analiza que la acidificación y toxicidad humana es baja en el proceso de elaboración del poste de concreto. Y hay una reducción del 80% de los gases de efecto invernadero durante su proceso de elaboración.
- Hay presencia de CO<sub>2</sub> en el proceso sin embargo no se puede cuantificar debido a la ausencia de base de datos con base al proceso de construcción: en el caso de Estados Unidos.
- La metodología requiere ser actualizada para tener estimados más apegados a la realidad y un análisis más completo en el caso de los procesos de construcción.

En México el mayor consumo de recursos minerales se realiza durante la etapa de uso del cemento, para la elaboración del concreto, por lo que no basta solo con considerar las canteras de la extracción de materias primas si no la explotación de los canteras y mantos para la obtención de agregados lo que se traduce en mayor erosión y desgaste del suelo.

El contaminante que más se emite con a la atmósfera con un poco más de 209 mil toneladas al año es el SO<sub>2</sub> (bióxido de azufre); de esta cantidad el 99% se produce durante la generación de la energía eléctrica requerida durante las tres etapas. Lo que representa que para la producción de energía eléctrica se utilizan combustibles altos en Azufre.

#### LIMITACIONES

- Uso de herramientas metodológicas complejas y acceso restringido a inventarios ambientales. (Sotello & Bovea, 2016)
- Dificultad de contar con datos confiables para el análisis de inventario y la cantidad de tiempo empleado en completar esta etapa.

- Ausencia de datos locales en el contexto donde se llevan a cabo los estudios; los resultados de un ACV de un ámbito global o regional pueden no ser apropiados.
- En México no existen bases de datos actualizadas para hacer este tipo de estudios, solamente el uso de software de acceso libre pero en este caso para concreto y construcción no se tiene un acceso para realizar un estudio de forma gratuita.

## Caso de estudio México

En algunos estudios de ACV realizados en México (Lopez A. E., 2010), con respecto a concreto y construcciones existes diferentes panoramas, pero a pesar de que este tipo de trabajos no son nuevos, el desarrollo de los mismos no ha tenido un fuerte empuje, debido a que las normas y legislaciones Mexicanas no lo tienen como carácter obligatorio ni recomendado. Existe un trabajo de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), donde mediante el Programa de Compras Verdes se fomenta el realizar ACV, donde el gobierno beneficia a los productos que tienen ACV y que son amigables con la estimación de impactos ambientales (Lopez A. E., 2010). También se han establecido al Registro de emisiones y transferencia de contaminantes (RETCE) y a la Cedula de Operación Anual (COA) como herramientas para desarrollar inventario de análisis de ciclo de vida.

El mayor consumo de recursos minerales se realiza durante la etapa de uso del cemento, para la elaboración del concreto, por lo que no basta solo con considerar las canteras de la extracción de materias primas si no la explotación de las canteras y mantos para la obtención de agregados lo que produce mayor erosión y desgaste del suelo. (Lopez A. E., 2010)

El contaminante que más se emite con a la atmósfera con un poco más de 209 mil toneladas al año es el SO<sub>2</sub>; de esta cantidad el 99% se produce durante la generación de la energía eléctrica requerida durante las tres etapas. Lo que representa que para la producción de energía eléctrica se utilizan combustibles altos en azufre. (Lopez A. E., 2010)



Realizar la mezcla para elaborar concreto por medio de revolvedora con motor de gasolina es más eficiente en el aspecto energético a comparación de motor eléctrico. Es decir para revolver un saco de cemento en una revolvedora de gasolina se ahorra un 30% de energía.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

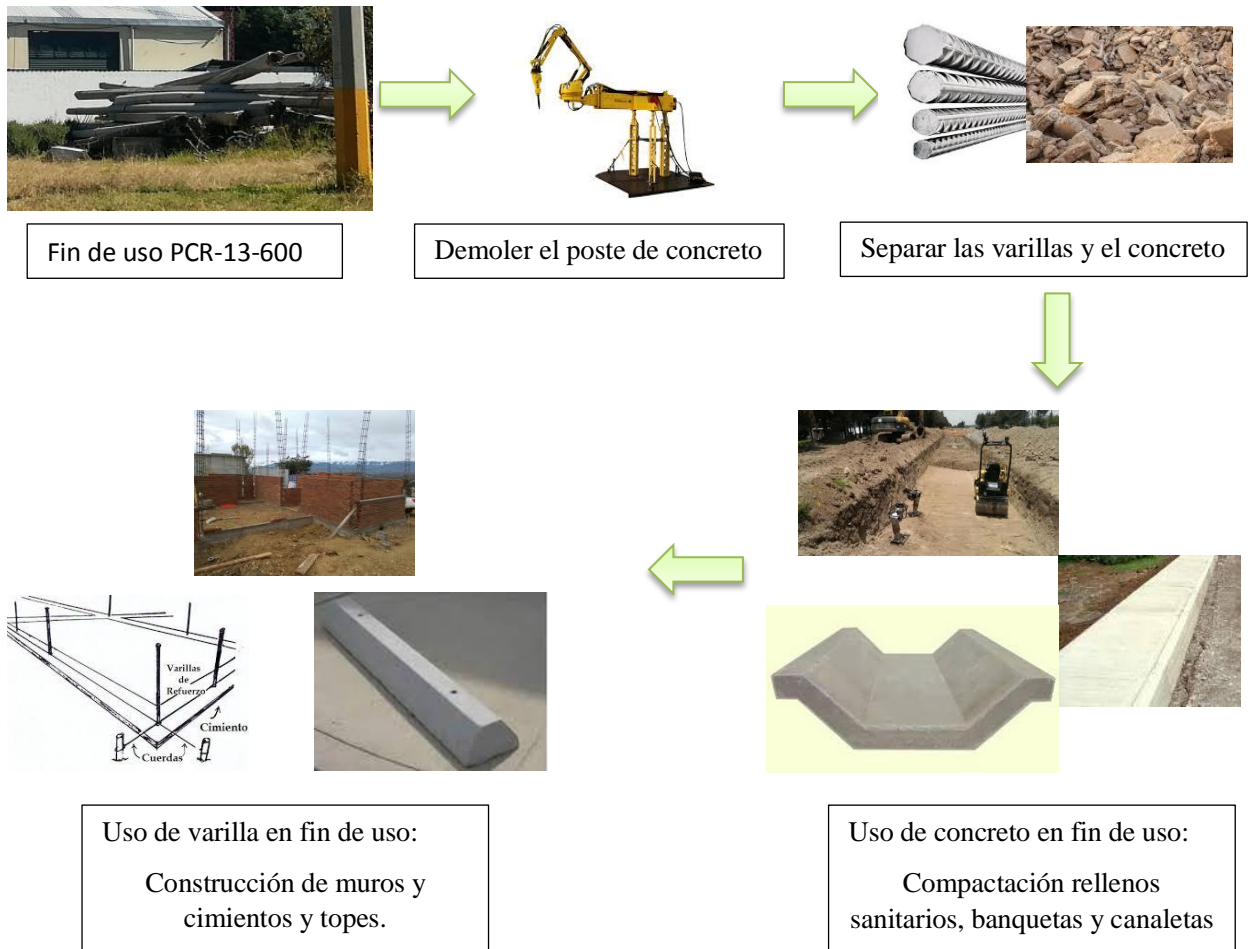
En el proceso del Análisis de Ciclo de Vida en las etapas 3 y 4, es indispensable contar con inventarios ambientales que estén actualizados y contengan los materiales de construcción para tener una exactitud en el cálculo de impactos que cada uno de estos generan al ambiente. Es por ello que se realizó una revisión bibliográfica de estudios en diferentes países y regiones del mundo con el contexto de saber cómo se hacen los análisis de ciclo de vida en función de las características de las materias primas y dependiendo del consumo y uso de los postes de concreto para distribuir la energía eléctrica.

Es importante saber que en la disposición final del poste de concreto reforzado debido a su generación después de su vida útil es muy demandante por ello se sugiere lo siguiente para dar un mejor aprovechamiento en las diferentes Zonas de Distribución de la División Centro Oriente.

Es fundamental recalcar que no puede ser utilizado para que la empresa de producción de postes lo reutilice. Es por ello que en la Imagen 19 se proponen alternativas de uso después de su vida útil en este caso el concreto y la varilla.

Se procedió a analizar cada componente del poste para de esta forma saber si los materiales pueden ser reutilizados siendo el concreto y la varilla, en este caso con las pruebas realizadas por LAPEM, con base a estos resultados tanto el acero reforzado y el hormigón son reutilizables en otros procesos en los cuales pueden ser la materia prima para un proceso de construcción, un complemento en el caso de la construcción de banquetas o caminos o un material de compactación en el caso de los rellenos sanitarios.

Otra propuesta es fraccionar el poste a lo largo por mitades y convertirlo en un reductor de velocidad (tope), ya que cuenta con las características de soporte y tensión para el paso de vehículos sobre él.



**Imagen 19. Diagrama de Alternativas y propuestas de fin de uso de PCR-13-600. Fuente: Elaboración propia.**

Esta alternativa hace que los PCR-13-600, tengan una aplicación de economía circular la cual da como referencia, que la enajenación puede ser más amplia entre otros proveedores que pueden utilizar los residuos de los postes de concreto, eficientar los costos y reducir las emisiones a la atmósfera.

## CONCLUSIONES

Actualmente la mayoría de empresas han aplicado un Análisis de Ciclo de Vida para optimizar recursos y de estos obtener beneficios económicos, en el caso de México muy pocas empresas realmente se interesan en implementar una Gestión Ambiental para valorizar sus residuos y obtener de ellos un beneficio, es por ello que este trabajo se analizaron diferentes panoramas de un residuo que a nivel nacional, se genera anualmente en grandes cantidades haciendo de CFE Distribución, un gran generador de residuos de manejo especial que debe ser optimizado para poder darle un aprovechamiento después de su fin de vida.

La implementación de este Análisis de Ciclo de Vida ayuda a realizar mejora en procesos, siendo la obtención de materias primas, la elaboración de productos y la valorización que se le puede dar al poste al llegar al final de su vida útil y de esta forma optimizar espacio y dar un uso en otros espacios como caminos, banquetas, rellenos ó compactaciones.

En CFE Distribución Centro Oriente, se requiere la implementación de un ACV para los diferentes tipos de residuos generados, en este trabajo se realizó para postes de concreto reforzado PCR-13-600, en el cual se puede concluir que su proceso de elaboración no provoca graves impactos ambientales y sus residuos al final de su vida útil pueden ser implementados en una economía circular ya que estos residuos sirve de materia prima en otros procesos o materiales de compactación en algunos sitios de disposición final siendo en este caso los rellenos sanitarios.

Es indispensable que en la universidad con ayuda de software se lleve a cabo la realización de inventarios ambientales para tener bases de datos en cuestión de productos de construcción y no solo enfocarnos en el mercado y producción de polímeros ya que desafortunadamente existen diferentes recursos que pueden ser optimizados y aprovechados.

## TRABAJOS CITADOS

- CFE. (2015). *LAPEM CFE*: Distribución
- CFE. (2016). *POSTES CFE J6200-03*. México: Distribución, CFE.
- Distribución, C. (09 de 03 de 2015). Historia . *CFE Distribución*, págs. 1-5.
- DOF. (1996). *Ley general para la prevencion y gestión integral de los residuos*. MEXICO: DOF.
- DOF. (1997). *Reglamento de la ley general para la prevencion y gestion integral de los residuos*. MEXICO: DOF.
- DOF. (2013). *NOM-161-SEMARNAT-2011*. MEXICO: DOF.
- Eco inteligencia . (04 de Febrero de 2013). *Obtenido de <http://www.ecointeligencia.com/2013/02/analisis-ciclo-vida-acv/>*
- ELCD. (2014). *ACV-LCIA*. Suiza: GreenDelta.
- Federación, D. O. (1996). *LGPGIR*. MEXICO: DOF.
- Giscar, D., Jacques, N., & Paul, E. (2017). Life Cycle Assessmet of Power Utility Poles- A Review. *ScienceDirect*, 1-18.
- GreenDelta. (2015). *LCIA*. Suiza: GreenDelta.
- Hangyong Ray , L., & El Hanandeh, A. (2016). *Environmental and economic assessment of utility poles using life*. *ScienceDirect*, 1-20.
- Haya Leiva, E. (2016). *Análisis de Ciclo de Vida*. En ACV (págs. 1-43). España: Escuela de Organizacion Industrial.
- Lopez, A. E. (2010). *Inventario de análisis de ciclo de vida para el cemento en méxico*. Tecnologico de Monterrey, 1-72.
- Lopez, I. (17 de 09 de 2020). *Area de Proceso PCR-13-600*. (S. B. Soria, Entrevistador)
- Rieznik, N., & Hernández, A. (2005). *Análisis del ciclo de vida* . Madrid, España: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.
- Román López Teresa. (2017, enero 11). *Análisis del ciclo de vida de un producto*. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/analisis-del-ciclo-vida-producto/>
- Simone, H., & Ferreira, A. (2017). *Life cycle assessment of the environmental influence of wooden*. *Science Direct*, 1-12.
- Sotello, C., & Bovea, M. (2016). *Aplicación de la metodología de análisis de ciclo de vida para evaluar el desempeño ambiental de sistemas de gestión de residuos en iberoamerica*. *Especial Residuos Sólidos*, 1-24.
- USDA. (2014). *Life Cycle Assessment*. Francfort: GreenDelta.

UNCUMA. (s.f.). Unión Cooperativa de Consumidores y Usuarios de Madrid . Obtenido de: [http://www.uncuma.coop/guiacompraresponsable/seccion2\\_1.html](http://www.uncuma.coop/guiacompraresponsable/seccion2_1.html)

## ANEXOS

La Tabla 1, es parte del documento POSTES DE CONCRETO, CFE año 2016 en el cual se especifican todos los requerimientos que necesita un PCR-13-600.

FIGURA No.	Descripción corta	Dimensiones						Carga de prueba	Masa aproximada
		A	B	C	D	E	F		
		m	m	mm	mm	mm	mm		
18	PCRGR60-7-500	7	0.3	174	279	155	54.5	4905	569
19	PCRGR60-9-600	9	1.8	150	285	161	53	5886	690
20	PCRGR60-11-700	11	1.8	150	315	191	53	6867	922
21	PCRGR60-12-750	12	1.8	150	330	206	53	7357	1049
22	PCRGR60-13-600	13	1.8	150	345	221	53	5 886	1150

Tabla 1. Características físicas y mecánicas de los Postes de Concreto Reforzado con varilla grado 60 (PCRGR60) (CFE, POSTES CFE J6200-03, 2016)

La Tabla 2. Presenta diámetros de varillas estandarizadas por el Manual de CEMEX.

*Diámetros, pesos y áreas de barras*

NO. DE DESIGNACIÓN	DIÁMETRO NOMINAL		PESO	NÚMERO DE BARRAS										Áreas de acero, en cm <sup>2</sup>
	pulg	mm		kg/m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	1/4	6.4	0.248	0.32	0.64	0.96	1.28	1.60	1.92	2.24	2.56	2.88	3.20	
2.5	5/16	7.9	0.388	0.49	0.98	1.47	1.96	2.45	2.94	3.43	3.92	4.41	4.90	
3	3/8	9.5	0.559	0.71	1.42	2.13	2.84	3.55	4.26	4.97	5.68	6.39	7.90	
4	1/2	12.7	0.993	1.27	2.54	3.81	5.08	6.35	7.62	8.89	10.16	11.43	12.70	
5	5/8	15.9	1.552	1.98	3.96	5.94	7.92	9.90	11.88	13.86	15.84	17.82	19.80	
6	3/4	19.0	2.235	2.85	5.70	8.55	11.40	14.25	17.10	19.95	22.80	25.65	28.50	
7	7/8	22.2	3.042	3.88	7.76	11.64	15.52	19.40	23.28	27.16	31.04	34.92	38.80	
8	1	25.4	3.973	5.07	10.14	15.21	20.28	25.35	30.42	35.49	40.56	45.63	50.70	
9	1 1/8	28.6	5.028	6.41	12.82	19.23	25.64	32.05	38.46	44.87	51.28	57.69	64.10	
10	1 1/4	31.8	6.207	7.92	15.84	23.76	31.38	39.60	47.52	55.44	63.36	71.28	79.20	
11	1 3/8	34.9	7.511	9.58	19.16	28.74	38.22	47.90	57.48	67.06	76.64	86.22	95.80	
12	1 1/2	38.1	8.938	11.40	22.80	34.20	45.60	57.00	68.40	79.80	91.20	102.60	114.00	

Tabla 2. Diámetros de varillas y especificaciones, (CEMEX, 2015)

La Tabla 3. Enlista el inventario de ciclo de vida por sus siglas en inglés (LCI) de un poste de concreto en Australia.

Inputs material and energy	Unit/FU	Concrete pole	Steel pole
Electricity, high voltage, Queensland	kWh	703.56	807.45
Natural gas, combusted in industrial boiler and equipment	m <sup>3</sup>	43.4	51.53
Diesel fuel, combusted in industrial boiler and equipment	L	5.28	1.90
Gasoline, combusted in industrial equipment	L	2.35	4.49
Coal, combusted in industrial boiler	kg	0.17	0.1
Transportation	tkm	578.13	162.36
Zinc	kg	–	2.98
Steel	kg	85.57	260.88
Water	L	267.94	159.28
Cement	kg	370.8	18.63
Aggregate	kg	1075.61	–

Tabla 3. Inventario de Ciclo de Vida por sus siglas en inglés (LCI) para un poste de concreto en Australia. (Simone & Ferreira, 2017)

Las tablas 4 y 5. Presentan una comparación de los flujos de entrada y salida de la producción de un poste de concreto y un poste de madera.

	Value/FU	Units		Value/FU	Units
<b>Input flow</b>			<b>Input flow</b>		
Wood waste, at landfill	210.08	kg	Wood and wood waste	210.08	kg
Transportation	21.010	tkm	Transportation	25.653	tkm
<b>Output flow</b>			<b>Output flow</b>		
Carbon dioxide, biogenic	8.439	kg	Electricity	227.5	kWh
Methane	1.758	kg	Carbon dioxide, biogenic	342.921	kg
Non-methane volatile organic compounds	0.793	kg	NO <sub>2</sub>	0.227	kg
Copper	0.852	kg	CO	0.059	kg
Boron	0.113	kg	NO <sub>x</sub>	0.005	kg
			Copper	0.680	kg
			Bottom ash	46.206	kg

Tabla 4 y 5. Comparación de entradas y salidas en los flujos de producción de un poste de madera y uno de concreto. (Giscar, Jacques, & Paul, 2017)

La tabla 6 y 7. Muestran los inventarios de postes de madera y de concreto por unidad de la cantidad de materiales empleados en su elaboración.

Input/output flows	Amount	Unit	SD	Input/output flows	Amount	Unit	SD
<b>Inputs</b>				<b>Inputs</b>			
Water	30	l	1.22	Water	75	l	1.24
Eucalyptus wood	350	kg	1.15	Reinforcing steel	61	kg	1.24
CCA-C	2.1	kg	2.01	Gravel	530	kg	1.24
Creosote	50	g	1.58	Sand	270	kg	1.24
Steel, low-alloyed	100	g	1.32	Cement, Portland	150	kg	1.24
Aluminium	10	g	1.32	Electricity, medium voltage	2.8	kWh	1.24
Electricity, medium voltage	0.7	kWh	1.24	<b>Outputs to air</b>			
<b>Outputs to air</b>				Particulates	150	g	1.63
Wood (dust)	20	g	1.56	<b>Outputs to final disposal</b>			
<b>Outputs to treatment</b>				Steel waste	40	g	1.63
Wood incineration	7	kg	1.15	Concrete waste	10	kg	1.32

Tablas 6 y 7. Inventarios de fabricación de postes de madera y concreto de materiales empleados en la elaboración de una unidad.

La tabla 8. Se muestran los resultados del Análisis de Ciclo de Vida por sus siglas en inglés (LCA) de un poste de concreto y sus principales escenarios de impacto ambiental.

Impact category	Units/FU	VBC pole		Concrete pole	Steel pole
		Landfilling	Incineration		
GWP	kg CO <sub>2</sub> eq	74.995	63.22	220.644	143.186
AP	kg SO <sub>2</sub> eq	0.425	0.29	1.228	1.059
EP	kg PO <sub>4</sub> eq	0.530	0.492	0.227	0.159
FDP	kg Oil eq	40.715	30.78	124.713	112.087
HTP	kg 1,4-DB eq	3.736	2.27	12.108	7.712

Tabla 8. Resultados del LCA de un poste de concreto (Hangyong Ray & El Hanandeh, 2016)

La Tabla 9. Muestra los costos de postes de concreto con referencia anual y costo unitario.

Items	Price (in referenced year)	Cost/FU converted to 2016 present value (PV)
Electricity	22.24 ¢/kWh	\$156.47
Natural gas	\$0.387/m <sup>3</sup>	\$16.80
Diesel fuel	\$1.37/L	\$7.23
Gasoline	\$1.43/L	\$3.36
Transportation	\$0.098/tkm	\$56.66
Water	\$0.00363/L	\$0.973
Cement	\$0.425/kg	\$157.60
Steel	\$0.9/kg	\$77.01
Aggregate	\$63/tonne	\$67.76
Labour cost	\$233.08/pole	\$233.08
Total manufacturing cost		\$776.95

Tabla 9. Costo de un poste de concreto, (Giscar, Jacques, & Paul, 2017)

La tabla 10. Presenta el inventario de las entradas y salidas de la producción de un poste de concreto en Estados Unidos.

Input/output flows	Amount	Unit	SD
<b>Inputs</b>			
Water	75	l	1.24
Reinforcing steel	61	kg	1.24
Gravel	530	kg	1.24
Sand	270	kg	1.24
Cement, Portland	150	kg	1.24
Electricity, medium voltage	2.8	kWh	1.24
<b>Outputs to air</b>			
Particulates	150	g	1.63
<b>Outputs to final disposal</b>			
Steel waste	40	g	1.63
Concrete waste	10	kg	1.32

Tabla 10. Inventario de las entradas y salidas de la producción de poste de concreto, (GreenDelta, 2015).