

# Comparación de los principales sistemas constructivos de VIS en Colombia, desde una perspectiva de sostenibilidad, empleando BIM: caso estudio en Soacha<sup>1</sup>

## Comparison of main structural systems for affordable housing in Colombia, from a sustainable perspective, using BIM: case study in Soacha<sup>2</sup>

*Juan Diego García López<sup>3</sup>*

*Felipe Stand Villareal<sup>4</sup>*

*Adriana Gómez Cabrera<sup>5</sup>*

*Federico Alejandro Núñez Moreno<sup>6</sup>*

---

<sup>1</sup> Fecha de recepción: Mayo 6 de 2016. Fecha de aceptación: Junio 17 de 2016. Esta tesis se deriva de un proyecto de investigación de maestría, desarrollado por el grupo de investigación *Estructuras & Construcción* de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C., Colombia.

<sup>2</sup> Submitted on: May 6, 2016. Accepted on: June 17, 2016. This thesis is derived from a master investigation project, developed by the investigation group *Estructuras & Construcción* from the Pontificia Universidad Javeriana, Bogota D.C., Colombia.

<sup>3</sup> Ingeniero civil, Universidad Industrial de Santander. Máster en innovación en las técnicas, los sistemas y los materiales de construcción, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Aspirante al título de Maestría en Ingeniería civil con énfasis en gestión de proyectos y construcción, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C., Colombia. Correo electrónico: [ju-garcia@javeriana.edu.co](mailto:ju-garcia@javeriana.edu.co)

<sup>4</sup> Ingeniero civil, Universidad de los Andes. Aspirante al título de Maestría en Ingeniería civil con énfasis en estructuras, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C., Colombia. Correo electrónico: [fstand@javeriana.edu.co](mailto:fstand@javeriana.edu.co)

<sup>5</sup> Ingeniero civil, Pontificia Universidad Javeriana. Maestría en ingeniería civil, Universidad de los Andes, Profesor asistente y jefe de la sección de Construcción, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C., Colombia. Correo electrónico: [adrianagomez@javeriana.edu.co](mailto:adrianagomez@javeriana.edu.co)

<sup>6</sup> Ingeniero civil, Pontificia Universidad Javeriana. MSE y Ph.D. en ingeniería civil, Illinois Institute of Technology. Profesor asistente y director Grupo Estructuras & Construcción, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C., Colombia. Correo electrónico: [fnunez@javeriana.edu.co](mailto:fnunez@javeriana.edu.co)

## TABLA DE CONTENIDO

Resumen .....	7
Abstract .....	7
1. Introducción.....	8
1.1 Objetivos.....	15
1.1.1 Objetivo general: .....	15
1.1.2 Objetivos específicos: .....	15
1.2 Marco de referencia.....	15
1.2.1 Estudios relacionados realizados en Colombia: .....	15
1.2.2 Estudios similares realizados en otros países: .....	18
2. Materiales y métodos .....	20
2.1 Muestra: VIS en Soacha .....	21
2.2 Información de edificación tipo del proyecto Cala .....	26
2.3 Modelos BIM.....	26
2.3.1 Sistema industrializado (SI). .....	26
2.3.2 Mampostería estructural (ME). .....	31
2.3.3 Mampostería confinada (MC). .....	34
2.3.4 Trabajo con software Tally.....	38
2.3.5 Costos de construcción para cada sistema constructivo .....	41
2.3.6 Tiempos de construcción para cada sistema constructivo.....	42
3. Resultados y análisis. ....	48
3.1 Huella de carbono.....	48
3.2 Costos de construcción .....	49
3.3 Tiempos de construcción .....	50
3.4 Resultados adicionales.....	51
3.4.1 Otros impactos ambientales estimados por Tally .....	51
3.4.2 Comparación de derivas entre sistemas constructivos.....	55
4. Discusión. ....	56
5. Conclusiones.....	59
5.1 Beneficios de BIM .....	60
6. Recomendaciones para trabajos futuros.....	61
7. Agradecimientos.....	62
8. Referencias .....	62
9. Anexo No. 1 – Informe de resultados de Tally, para modelo BIM en SI .....	74

10.	Anexo No. 2 – Informe de resultados de Tally, para modelo BIM en ME .....	101
11.	Anexo No. 3 – Informe de resultados de Tally, para modelo BIM en MC .....	128
12.	Formularios de Biblioteca.....	155

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Impactos ambientales de la construcción (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011).....	8
Figura 2. Diagrama de países de LAC con déficit de vivienda en porcentaje con respecto al total de familias por país, según datos del BID (2012). ....	9
Figura 3. Distribución de sistemas constructivos usados para VIS desde el segundo trimestre de 2012 hasta el cuarto trimestre de 2015, según cifras de CAMACOL (2016). ....	11
Figura 4. Muros estructurales de edificación VIS en SI, del proyecto Cala en Ciudad Verde, fundidos con formaleta Outinord, compuesta por banches y mesas. ....	11
Figura 5. Edificación construida mediante MC (Delta ingeniería S.A., 2013). También conocido como sistema tradicional en Colombia. ....	12
Figura 6. Edificaciones VIS en ME (Metrocuadrado, 2016). ....	12
Figura 7. Energía embebida y toneladas de CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> de construcción para cada sistema constructivo según consumo de materiales en ciudad de Cali (Salazar & Ecoingeniería S.A.S., 2012).....	17
Figura 8. Esquema de procedimiento realizado para elaboración de modelos BIM y obtención de GWP y presupuesto. Fuente imágenes: Autodesk (2014). ....	20
Figura 9. Distribución de un inmueble tipo ofrecido por Amarilo en Soacha (Amarilo, 2015).....	23
Figura 10. Distribución de un inmueble tipo ofrecido por Colsubsidio en Soacha (Colsubsidio, ).....	23
Figura 11. Distribución de un inmueble tipo ofrecido por Coninsa Ramón H S.A. y Mendebal S.A. en Soacha (Coninsa Ramón H S.A., 2015; Mendebal, ). ....	24
Figura 12. Distribución de un inmueble tipo ofrecido por Constructora Bolívar S.A. en Soacha (Constructora Bolívar S.A., ). ....	24
Figura 13. Distribución de un inmueble tipo ofrecido por Marval S.A. en Soacha (Marval S.A., 2015).....	25
Figura 14. Distribución de un inmueble tipo ofrecido por Ospinas en Soacha (Ospinas, 2015).....	25
Figura 15. Pantallazo de modificación de propiedades mecánicas del hormigón en Revit (Salazar y Villamil, 2015); NSR-10 (2010).....	27
Figura 16. Fase de cimentación para modelo SI, en Revit. ....	28
Figura 17. Fase de estructura para modelo SI, en Revit.....	28
Figura 18. Modelo analítico en Revit para estructura de SI, para verificación de conexión de nodos. ....	29
Figura 19. Verificación de coherencia de soportes de estructura para modelo SI, en Revit. ....	29
Figura 20. Modelo BIM en Revit con fase de mampostería terminada para SI. ....	30
Figura 21. Modelo BIM para SI exportado a Robot. ....	30
Figura 22. Modelo creado en software ETABS para SI. ....	31
Figura 23. Modelo BIM para ME en Revit. ....	32
Figura 24. Dimensiones de ladrillo estructural de arcilla para la ME (Ladrillera Santafé S.A., 2014).....	32
Figura 25. Modelo BIM para ME exportado a Robot.....	33

Figura 26. Modelo creado en ETABS para ME. ....	33
Figura 27. Planta de distribución de columnas para modelo MC. ....	34
Figura 28. Fase de cimentación en Revit para modelo MC. ....	35
Figura 29. Fase de estructura en Revit para modelo MC. ....	35
Figura 30. Modelo analítico en Revit para estructura de MC, para verificación de conexión de nodos. ....	36
Figura 31. Verificación de coherencia de soportes de estructura para modelo MC, en Revit. ....	36
Figura 32. Modelo BIM exportado a Robot para MC. ....	37
Figura 33. Modelo creado en ETABS para MC. ....	37
Figura 34. Modelo BIM en Revit con fase de mampostería completada para MC. ....	38
Figura 35. Datos introducidos en Tally para definición de materiales para una viga de cimentación del modelo BIM en SI. ....	39
Figura 36. Introducción de información en Tally para definición de materiales para muro de mampostería. ....	40
Figura 37. Introducción de información en Tally para realización de cálculos e impresión de informe, para modelo SI. ....	41
Figura 38. Ejercicio para verificación de cálculo de cantidades. ....	42
Figura 39. Días calendario por sistema constructivo por torre (García López, 2005). ....	43
Figura 40. Cronograma desarrollado para construcción de una edificación típica del proyecto Cala, en SI. ....	45
Figura 41. Cronograma desarrollado para construcción de edificación mediante MC. ....	47
Figura 42. Comparativo de HdC por sistema constructivo. ....	48
Figura 43. Días de trabajo por sistema constructivo por torre. ....	51
Figura 44. Gráfica de resultados de Tally, de impactos ambientales por materiales para SI. ....	52
Figura 45. Gráfica de resultados de Tally, de impactos ambientales por materiales para ME. ....	53
Figura 46. Gráfica de resultados de Tally, de impactos ambientales por materiales para MC. ....	54
Figura 47. Comparación de derivas por sistema estructural para proyecto Cala. ....	56
Figura 48. Comparación de distribución de fuentes de energía entre Austria y Colombia (IEA, 2013). ....	62

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características arquitectónicas generales de VIS ofrecidas en Soacha en el año 2015.....	22
Tabla 2. Cálculos realizados a partir de duraciones estimadas para edificaciones SI de Cala .....	44
Tabla 3. Cálculos realizados con duraciones estimadas para estructura y mampostería de edificación en ME, de proyectos VIS semejantes a Cala del mismo constructor.....	44
Tabla 4. Duraciones estimadas por actividades para MC .....	46
Tabla 5. Comparativo de costos directos de construcción. ....	50
Tabla 6. Resultados de Tally consolidados por sistema constructivo, de impactos ambientales por materiales. ....	54
Tabla 7. Comparativo de derivas entre diseños estructurales realizados para un mismo edificio del proyecto Cala. ....	55
Tabla 8. Toneladas de CO <sub>2</sub> -eq promedio por unidad de vivienda en Bogotá (Cadena et al., 2012).....	56
Tabla 9. Factores de emisión por producción de materiales (Cadena et al., 2012). ....	57
Tabla 10. Masa por material en una torre de 24 apartamentos del proyecto Cala, medido en kg.....	57
Tabla 11. Cálculos realizados de HdC por torre, por vivienda y por m <sup>2</sup> de construcción para caso estudio del proyecto Cala.....	58

## Resumen

La construcción es una de las actividades humanas que más contribuye al calentamiento global. Se estima que entre los años 1970 y 2004, el ambiente construido y la nueva construcción originaron el 70% de los gases efecto invernadero. En edificios contemporáneos, la porción más grande de energía embebida corresponde a los materiales estructurales (concreto y acero de refuerzo), tomando de 59.57% a 66.73% del total de la energía embebida de una edificación. Por otro lado, Colombia y, Latinoamérica, padecen un grave problema: el déficit de vivienda.

En Colombia, tres sistemas constructivos abarcan el 99% del licenciamiento para VIS: Mampostería estructural, mampostería confinada y sistemas industrializados. Pero ¿qué tan sostenibles son los sistemas constructivos usados en Colombia para construcción de VIS? La huella de carbono (HdC) se ha convertido en un indicador popular para medir impacto ambiental de productos, y se obtiene a partir de uno de los más usados indicadores de impacto ambiental como es el *Global Warming Potential* (GWP). Herramientas digitales que permiten implementar metodologías tipo BIM (*Building Information Modeling*) ofrecen hoy en día la posibilidad de obtener la energía embebida y el GWP de edificaciones a través del análisis de ciclo de vida (ACV), a partir de la elaboración de modelos paramétricos. Esta investigación demostró, con un proyecto real de VIS, que un software BIM puede mostrar diferencias significativas en el GWP para diferentes soluciones para construcción, permitiendo a los diseñadores tomar decisiones tempranas para “enverdecer” los diseños.

## Abstract

Construction is one of the human activities that contributes most to global warming: It is estimated that between years 1970-2004, built environment and new construction originated 70% of global warming emissions. In contemporary buildings, the biggest portion of embodied energy corresponds to structural materials (concrete and reinforcement), taking 59.57- 66.73% of total building embodied energy. On the other hand, Colombia and, Latin America, suffers a serious problem: housing deficit.

In Colombia, three structural systems covers 99% of affordable housing (AH) licensure: Structural masonry, confined masonry and industrialized systems. Nevertheless, how sustainable are the structural systems used in Colombia for AH construction? Carbon footprint (CF) has become popular for measuring environmental impact of products, obtained from one the most used measures for environmental impact: the Global Warming Potential (GWP). Digital tools that implement Building Information Modeling (BIM) methodologies, offer today the possibility for obtaining buildings embodied energy and GWP, through life cycle assessment (LCA), from parametric models. This investigation demonstrated with a real AH project, that BIM software can show significant differences in GWP for different solutions, letting designers make early decisions for “greener” designs.

**Palabras clave:** Vivienda de interés social, sistemas constructivos en Colombia, huella de carbono, mampostería estructural, mampostería confinada, sistema industrializado, BIM.

**Keywords:** Affordable housing, construction systems in Colombia, carbon footprint, structural masonry, confined masonry, industrialized system, BIM.

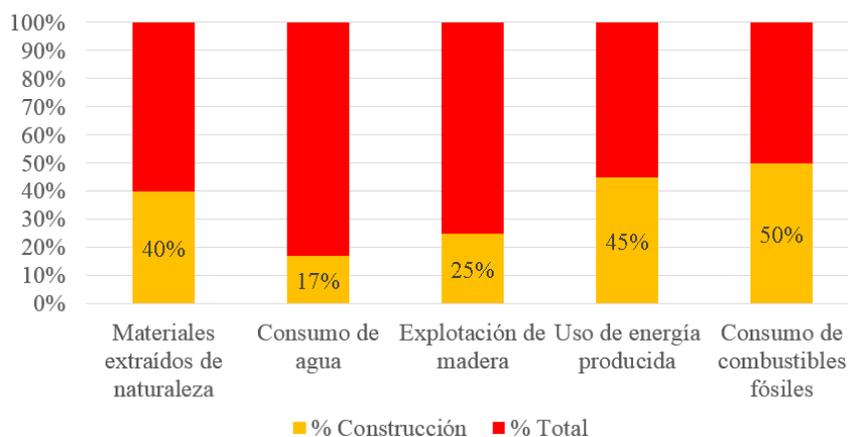
## 1. Introducción

El desarrollo sostenible es un proceso de cambio en el que la explotación de recursos, el direccionamiento de inversiones, la orientación del desarrollo tecnológico y el cambio institucional están todos en armonía y en procura de alcanzar las necesidades y aspiraciones del presente sin comprometer las necesidades de futuras generaciones (Brundtland, 1987).

Según el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) (2008), hay evidencia contundente sobre la contribución de las actividades humanas al cambio climático, y respecto al impacto del entorno edificado y las nuevas construcciones en el ambiente, se ha estimado:

- Que entre 1970 y 2004, el 70% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) fueron originadas por esas actividades.
- Que el entorno edificado contribuye con un tercio del total de emisiones de GEI, principalmente por el uso de combustibles fósiles durante su fase operacional (CCCS, 2014).
- Consume 20% de agua potable, 25% de madera cultivada, 30-40% uso de energía y 40-50% uso de materias primas (CCCS, 2014).
- Que los GEI provenientes de edificaciones serán más del doble en 20 años (CCCS, 2014).
- Genera el 40% de los residuos generados por la humanidad (Sawin & Hugues, 2007).

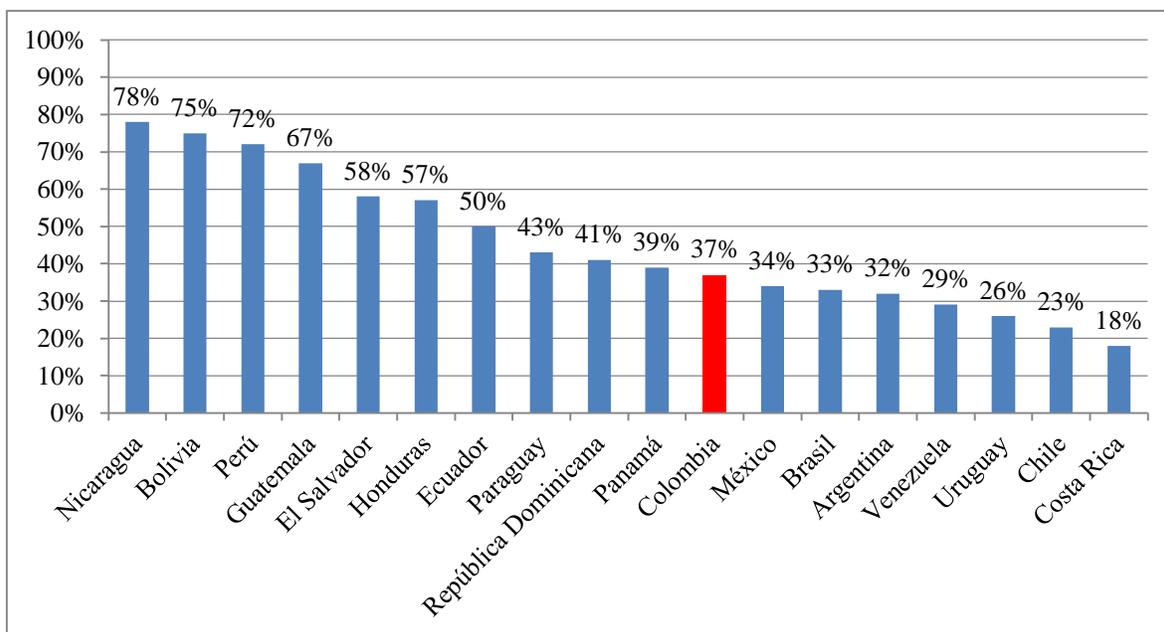
Las cifras oficiales que maneja el gobierno colombiano no son muy diferentes. A nivel mundial, el 40% de los materiales extraídos de la naturaleza, el 17% del consumo de agua y el 25% de la explotación de madera, están estrechamente relacionados con la actividad de la construcción. Así mismo, el sector consume el 40-50% de la energía eléctrica que se produce y el 50% del consumo de combustibles fósiles (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011). En la figura 1 se pueden ver de manera gráfica las cifras anteriores.



**Figura 1. Impactos ambientales de la construcción (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011).**

En Colombia, la energía embebida en viviendas corresponde en promedio a un 12% de las energías fósiles consumidas en el país y 68% por otras fuentes de energía (Chen & Chen, 2011). Dimoudia y Tompa (2008) mostraron que el mayor porcentaje de energía embebida de edificaciones contemporáneas, construidas con diferentes materiales, corresponde a materiales estructurales (concreto y acero de refuerzo), tomando entre el 59,57 y el 66,73% de la energía total embebida de la edificación.

Por otro lado, el mundo enfrenta un gran problema de déficit de vivienda que aún está lejos de llegar a su solución definitiva. En Latinoamérica y el Caribe (LAC), un tercio de las familias (59 millones de personas), no tienen una vivienda adecuada para ser habitable o es construida con materiales pobres y carece de servicios básicos (BID, 2012). Dos millones de hogares que surgen anualmente en LAC se ven forzados a instalarse en viviendas informales, a causa de oferta inasequible, cifra que corresponde a 2/3 del total (BID, 2012). En la figura 2, se encuentra un diagrama elaborado con la información del déficit de vivienda, en porcentaje con respecto al total de familias por país, de 18 países de LAC según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), en donde se puede observar que Costa Rica es el país con menor déficit de vivienda con 18%, y Nicaragua el más alto con 78%. Colombia se encuentra en el puesto 8 de los países de LAC con menor déficit de vivienda, con 37%, siendo este último un puesto en un rango intermedio.



**Figura 2. Diagrama de países de LAC con déficit de vivienda en porcentaje con respecto al total de familias por país, según datos del BID (2012).**

De acuerdo con el último censo realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2005b), el déficit de vivienda en Colombia fue de 3'828.055 hogares, de un total de 10'570.899, lo que corresponde a un 36,21% del total de hogares, lo cual es similar a la cifra publicada por el BID. De la cifra anterior, 1'307.757 hogares corresponden a déficit cuantitativo (12,37%) y 2'520.298 hogares corresponden a déficit cualitativo

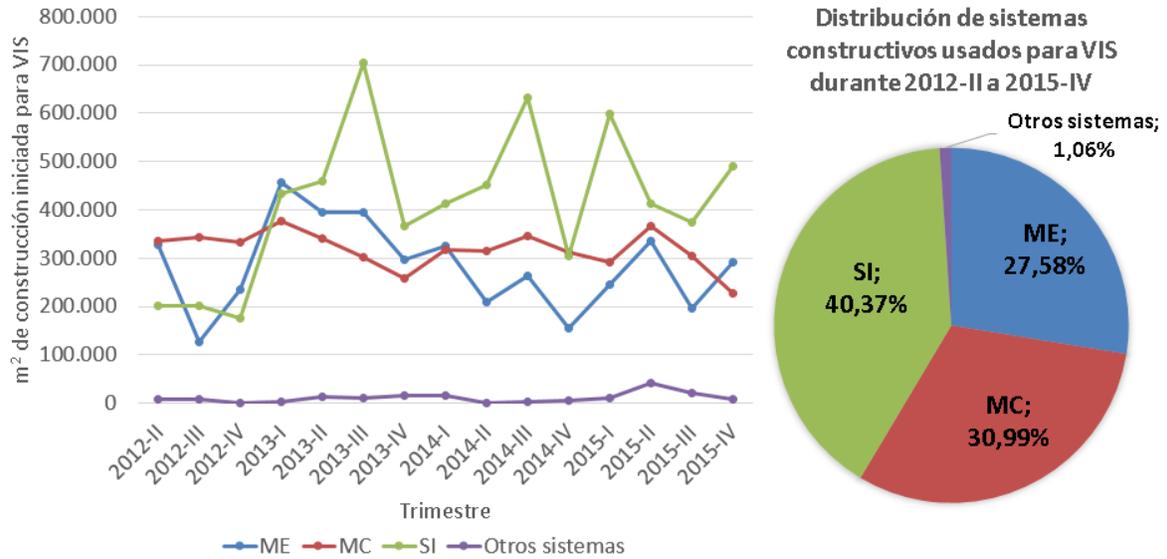
(23,64%). El municipio con mayor número de hogares en déficit fue Bogotá D.C., con 369.874 unidades, que corresponden al 19,15% del total de hogares. Esa cantidad está compuesta por 282.678 hogares en déficit cuantitativo (14,64%) y 87.197 hogares en déficit cualitativo (4,51%).

Según cifras oficiales en Colombia, el déficit de vivienda en las áreas urbanas para el censo del año 2005 fue de 27% (2'216.863 hogares en déficit) y para el año 2012 se estimó en 16,48% (1'647.903 hogares en déficit), compuesto por 554.087 hogares con déficit cuantitativo (5,54%) y 1'093.006 hogares en déficit cualitativo (10,93%) (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, 2014).

Considerando que Bogotá es la ciudad con mayor número de hogares en déficit, se estima que en el periodo 2005-2020 la población del Área Metropolitana (AM) de Bogotá habrá crecido en 1'951.416 de personas, y el mayor crecimiento poblacional se dará en el municipio de Soacha. Este municipio se revela como el municipio con mayores participaciones en el ámbito metropolitano, y también es uno de los municipios que concentra la mayor densidad residencial. Así mismo, es el único municipio del AM de Bogotá que alcanza un 88% de licenciamiento para vivienda de interés social (VIS) en el periodo 2007-2012 (Secretaría Distrital de Planeación de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2015). Lo anterior coincide con que es el municipio donde se está desarrollando el macro-proyecto de Ciudad Verde, aprobado en el año 2012 (Cadena et al., 2012), para la construcción de 49.500 VIS; el más grande de Colombia (Ciudad Verde, 2014; Ministerio de Vivienda, ).

En conclusión, la presente investigación se centra en la intersección de dos problemas: (1) el impacto ambiental de la construcción y (2) el déficit de vivienda en Colombia, y específicamente, en el AM de Bogotá.

Ahora bien ¿con qué sistemas constructivos se está supliendo el déficit de vivienda en Colombia? Según cifras de la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL) (2016), se construyeron las gráficas de la figura 3, donde se puede apreciar que entre el segundo trimestre del año 2012 y el cuarto trimestre del año 2015, para las 16 principales áreas urbanas del país, el área de construcción iniciada para VIS según sistema constructivo ha sido prácticamente dominada por tres sistemas: el 40,37% del total correspondió a sistemas industrializados (SI), el 30,99% a mampostería confinada (MC), el 27,58% a mampostería estructural (ME), y el 1,01% a otros sistemas. Según el DANE (2014), los SI corresponden a sistemas estructurales con muros y placas en concreto, bien sea vaciados in situ o prefabricados, y la MC se realiza por medio de elementos horizontales y verticales denominados vigas, viguetas y columnas, complementados también por elementos de mampostería (ladrillos o bloques en arcilla o concreto) que actúan como unidades de confinamiento y cerramiento de espacios. En las figuras 4, 5 y 6, se encuentran fotografías de edificaciones en Colombia construidas mediante cada uno de estos tres sistemas constructivos.



**Figura 3. Distribución de sistemas constructivos usados para VIS desde el segundo trimestre de 2012 hasta el cuarto trimestre de 2015, según cifras de CAMACOL (2016).**



**Figura 4. Muros estructurales de edificación VIS en SI, del proyecto Cala en Ciudad Verde, fundidos con formaleta Outinord, compuesta por banches y mesas.**



**Figura 5. Edificación construida mediante MC (Delta ingeniería S.A., 2013). También conocido como sistema tradicional en Colombia.**



**Figura 6. Edificaciones VIS en ME (Metrocuadrado, 2016).**

Hendry (2001) resalta beneficios de la ME como sistema constructivo debido a la mitigación de varios problemas como sustentación estructural, protección contra el fuego y aislamientos térmicos y sonoros; no obstante, se observa, a partir de la figura 3, que en Colombia los SI han ganado terreno y su tendencia es de crecimiento.

Considerando los principales sistemas constructivos usados en Colombia para VIS ¿qué tan sostenibles son los sistemas constructivos con los cuales se está solucionando la mayor parte del déficit de vivienda en Colombia? ¿Cómo medir qué tan sostenibles son los principales sistemas constructivos usados en Colombia para VIS?

En estudios anteriores, se ha escogido como principal indicador del impacto ambiental de edificaciones el índice de GWP (acrónimo del inglés *Global Warming Potential*) que corresponde a estimar los kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalentes (kg CO<sub>2</sub>-eq) debido a que el calentamiento global es el principal reto a sortear por la humanidad (Ortiz-Rodríguez, Castells, & Sonnemann, 2010), y así mismo, de la actividad de la construcción como actividad causante de un porcentaje importante. A escala global, hay una necesidad definitiva de invertir en reducir el GWP de la construcción (Bynum, Issa, & Olbina, 2013). Sin embargo, también se han tenido en cuenta otros indicadores de impacto ambiental en algunos estudios, tales como potencial de acidificación (AP, medido en kg SO<sub>2</sub>-eq), toxicidad humana (medido en kg 1.4-DCB-eq), agotamiento de recursos abióticos (medido en kg antimonio-eq), potencial de agotamiento del ozono estratosférico (ODP, medido en kg CFC-eq) y consumo de agua (Ortiz-Rodríguez et al., 2010).

La huella de carbono (HdC) se ha convertido en un indicador popular para medir el impacto ambiental en productos, y se refiere a la totalidad de GEI producidos por un individuo, evento, organización o producto y puede ser medido en kg CO<sub>2</sub>-eq (Espíndola, C., & Valderrama, J. O., 2012; Hertwich & Peters, 2009). La HdC se construye a partir de los indicadores GWP (The Guardian, 2011).

Ingenieros y científicos ambientalistas han estado examinando la energía embebida y las emisiones de carbono asociadas a edificaciones por más de 40 años, y después de más de dos décadas de investigación para “enverdecer” el diseño y construcción de edificaciones, muchos métodos y herramientas han emergido para alcanzar los retos de energía del ambiente construido (Stadel, Eboli, Ryberg, Mitchell, & Spataro, 2011).

La metodología usada para evaluar el impacto ambiental de un producto se llama análisis de ciclo de vida (ACV) e incluye el ciclo de vida completo de un producto, servicio o actividad (Pacheco-Torgal, 2014). Un ACV es una recopilación y evaluación de las entradas, resultados y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto durante su ciclo de vida (ISO, 2006). La metodología ACV debe beneficiar la modernización de la industria en países desarrollados y en vía de desarrollo por igual (Udo De Haes, 2004). En la ingeniería civil, el ACV se ha convertido en un marco analítico importante para evaluar la sostenibilidad ambiental de la infraestructura. Así mismo, para edificaciones, el *Building Information Modeling* (BIM) está evolucionando como una herramienta para alcanzar objetivos de sostenibilidad en programas de edificaciones. Con la integración de BIM y ACV se puede calcular la HdC de edificaciones (Stadel et al., 2011).

Pero, ¿qué es BIM? BIM es uno de los desarrollos más prometedores en la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción. Con tecnología BIM, se pueden construir uno o varios modelos digitales muy precisos de una edificación. El diseño se soporta a través de las fases de construcción, permitiendo mejor análisis y control que los procesos manuales. Cuando es terminado, el modelo computarizado posee geometría precisa e información necesaria para soportar la construcción, fabricación y actividades de contratación a través de las cuales el edificio es realizado (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2008). Pero BIM no es solo un software que permite hacer modelos tridimensionales de un proyecto arquitectónico; BIM es un proceso apoyado en un software (Azhar, 2011). BIM es una representación digital del

proceso completo de una edificación para facilitar el intercambio e interoperabilidad de información en formato digital (Eastman, 1999).

Stadel et al (2011) planteó la integración de BIM y ACV para calcular la HdC de edificaciones, y concluyó que con las herramientas BIM disponibles (a la fecha de su publicación), solo era posible analizar la fase de uso de las edificaciones. Esto se debe a que se le dio prioridad a esa fase debido a que, en el ciclo de vida completo de una edificación, es la que causa el mayor impacto (Ortiz-Rodríguez et al., 2010; Stadel et al., 2011); sin embargo, no es justificación para despreciar el impacto ambiental de la fase de construcción (Stadel et al., 2011).

Ahora Autodesk ofrece plug-ins para Revit para el análisis de la energía embebida y GWP en edificaciones a través del ACV, obtenido directamente a partir de modelos BIM (Autodesk, 2014). El nuevo plug-in llamado *Tally* hace lo anterior (Autodesk Inc., 2015b). Autodesk ofrece capacitación en línea gratuita de sus nuevas herramientas BIM para la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción y estudiantes avanzados (Autodesk Inc., 2015a) y abre así un nuevo campo de investigación para la academia interesada en la sostenibilidad de la construcción. Es, en ese campo, en el que se pretende hacer una contribución con la presente tesis. Las decisiones más importantes respecto a la sostenibilidad de una edificación, son realizadas durante la fase de diseño y pre-construcción (Azhar, Carlton, Olsen, & Ahmad, 2011), por tanto creemos que BIM puede aportar en ese momento crítico a tomar decisiones claves que mejoren la HdC de una edificación.

Considerando lo anterior, se plantea la siguiente hipótesis para la presente tesis: Empleo BIM se determinará que hay diferencias significativas en la HdC que produce la construcción de los principales sistemas constructivos de VIS usados en Colombia, a partir de un estudio de caso.

Por otro lado, la durabilidad de una estructura o material es inversamente proporcional al impacto ambiental del mismo debido a que si se comparan dos materiales o estructuras que tienen el mismo impacto ambiental inicial pero prestan el mismo servicio por tiempos diferentes (e.g. 50 y 100 años); el segundo tendría un impacto ambiental equivalente a la mitad del primero debido a que para el primer caso, luego de su tiempo de servicio de 50 años es necesario volver a fabricarlo y generar el mismo impacto ambiental inicial (Peris Mora, 2007). Por tanto, es imperativo analizar aspectos estructurales y ambientales durante el ciclo de vida completo de un edificio para garantizar seguridad, al mismo tiempo de un ambiente saludable y confortable (Hajdukiewicz, Byrne, Keane, & Goggins, 2015).

Se ha encontrado poca literatura publicada en revistas indexadas sobre estimación de la HdC debido a construcción de viviendas en Colombia. Ortíz-Rodríguez et al. (2010) realizaron un ACV de una vivienda en Pamplona (Colombia) comparando los resultados con una vivienda en Barcelona (España). Otro estudio valoró el impacto ambiental de la construcción y el uso de una casa también en Pamplona (Ortiz-Rodríguez, Castells, & Sonnemann, 2012).

El déficit de vivienda es un problema que continúa presente en el mundo, LAC y en Colombia, que si bien según las cifras oficiales de este país se ha venido reduciendo con el paso de los años, las soluciones de VIS para el déficit de vivienda presente, requieren poder

ser construidas con sistemas constructivos que permitan costos asumibles por instituciones de países en vías de desarrollo, como también con un impacto ambiental que pueda ser absorbido por la biósfera de nuestro planeta, y que se garantice la estabilidad de las obras para brindar ambientes seguros, saludables y confortables.

Con la realización de la presente tesis se busca utilizar las nuevas herramientas BIM de Autodesk para comparar la HdC de los principales sistemas constructivos empleados en Colombia para construcción de VIS, para un estudio de caso en el megaproyecto de Ciudad Verde, en Soacha, considerando la importancia de este proyecto de VIS a nivel nacional e internacional, y también la importancia de Soacha en el AM de Bogotá, sin ignorar los costos y tiempos de construcción para cada sistema.

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Objetivo general:

- Determinar, a través de modelos BIM, cual es el sistema constructivo que tiene menor HdC, de los comúnmente empleados en soluciones de VIS en Colombia, mediante un estudio de caso.

### 1.1.2 Objetivos específicos:

- Determinar el sistema constructivo más económico para la construcción de una edificación VIS multifamiliar en Soacha, teniendo en cuenta los 3 principales sistemas constructivos empleados en Colombia.
- Estimar el tiempo de construcción de una edificación VIS multifamiliar en Soacha, con cada uno de los 3 principales sistemas constructivos empleados en Colombia.
- Determinar, a través de una herramienta BIM, el sistema constructivo con el menor índice GWP para la construcción de la cimentación, estructura y muros divisorios para una edificación VIS multifamiliar en Soacha, teniendo en cuenta los 3 principales sistemas constructivos empleados en Colombia.

## **1.2 Marco de referencia**

Existen varios estudios en el mundo donde se ha realizado análisis energético de edificaciones (Yildiz & Güngör, 2009), sin embargo, poco se ha publicado a cerca de estudios relacionados con el ACV de construcción de viviendas en Latinoamérica, a pesar de que las primeras publicaciones se dieron desde hace unos 10 años (Arena & de Rosa, 2003; Ortiz, Castells, & Sonnemann, 2010).

### 1.2.1 Estudios relacionados realizados en Colombia:

En Colombia se ha encontrado solo un autor que tiene varias publicaciones en diferentes revistas indexadas referentes a ACV de edificaciones: Ortiz Rodríguez, O. A continuación

se explica brevemente cada una de las publicaciones referentes al tema en las que este autor ha participado.

Ortiz, Bonnet, Bruno, & Castells (2009) estudiaron la sostenibilidad de una casa de 160 m<sup>2</sup> ubicada en Barcelona (España). En este estudio evaluaron el GWP, el AP, el potencial de eutrofización (EP) y el ODP. Se hace una mención de bases de datos disponibles para obtención de información requerida para el cálculo del impacto ambiental: CML, DEAM TM, Ecoinvent Data, GaBi 4 Professional, IO-database for Denmark 1999, Simapro, the Boustead Model 5.0 y el US Life cycle inventory. También manifiestan limitaciones de este tipo de estudios, tales como, (1) que la construcción no es un proceso estático, varía de edificio a edificio y así mismo en cada localidad es diferente; y (2) que este tipo de estudios no se pueden completar sin hacer suposiciones en algún momento debido a que es prácticamente imposible obtener toda la información requerida de una sola base de datos por cuanto un mismo estudio realizado por diferentes personas podría arrojar resultados diferentes. Para este estudio usaron la base de datos Ecoinvent v.1.3 y el software LCA Manager de SIMPPLE y asumieron 50 años de vida útil. Concluyeron que, siendo que la contribución al impacto ambiental por parte de los materiales es baja con respecto a los valores de todo el ciclo de vida, se pueden obtener disminuciones de impacto y ahorros económicos importantes en la fase de operación si durante la fase de diseño se escogen los materiales con cuidado y se realiza un diseño apropiado.

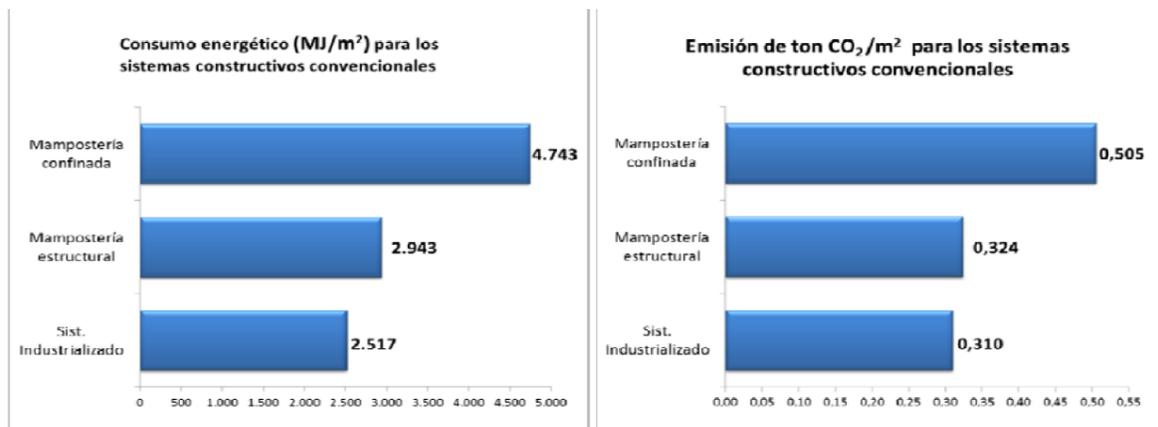
Ortiz et al. (2010) compararon la sostenibilidad de dos casas semejantes, una ubicada en Pamplona (Colombia) y otra ubicada en Barcelona (España), evaluando la fase de construcción y uso, midiendo el GWP, AP, ODP y radiación ionizante (RI). Para ambas casas asumieron una vida útil de 50 años. Se adaptó información de materiales y energía para cada localidad de acuerdo con la experiencia de los autores. Se usó la base de datos Ecoinvent v. 2.1 y el software LCA Manager de SIMPPLE. Se concluyó que la fase de construcción tiene un peso mucho mayor con respecto al ciclo de vida completo en la vivienda en Pamplona vs. la de Barcelona debido principalmente a que las fuentes de energía en Colombia son en su mayoría no fósiles, mientras que en España, más del 50% provienen de fuentes fósiles, lo que aumenta el impacto durante la fase de uso para el caso de España.

Ortiz-Rodríguez et al. (2010) compararon otras dos casas semejantes en Pamplona y Barcelona. Es un estudio muy similar al anterior, donde la única variación es que además se midió la toxicidad humana y al agotamiento de recursos abióticos. La conclusión es semejante a la anterior.

Ortiz-Rodríguez et al. (2012) estudiaron el impacto ambiental de una casa en Pamplona (Colombia) durante su fase de construcción y uso, asumiendo una vida útil de 50 años. Se usó la base de datos Ecoinvent v.2.1 para obtener información requerida sobre los materiales y procesos, y se usó el software LCA Manager de SIMPPLE. Se resalta la importancia de realizar este tipo de estudios en países en vías de desarrollo como Colombia.

Por otro lado, también se encontraron tres estudios en Colombia, no publicados en revistas indexadas, pero que, por su alcance y su estrecha relación con el tema propuesto en el presente documento, se deben tener presentes en esta área de investigación:

Salazar, A. y Ecoingeniería S.A.S. (2012) realizaron un estudio para el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en donde se estimó la energía embebida y toneladas de CO<sub>2</sub> de los principales materiales usados en construcción en la ciudad de Cali, capital del departamento del Valle, en Colombia. Así mismo, se estableció la distribución de consumo de esos materiales en la ciudad por cada uno de los tres principales sistemas constructivos usados en Colombia. Con estas cantidades y los índices mencionados previamente, se estimó la energía embebida y las toneladas de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de construcción de cada uno de los tres sistemas constructivos comunes en Colombia. Con base en estos indicadores, se estimó la cantidad total de toneladas de CO<sub>2</sub> producidos en Colombia producto de los materiales usados en los tres sistemas constructivos estudiados, de acuerdo a los m<sup>2</sup> de construcción para cada sistema según CAMACOL y el DANE. De acuerdo al estudio, el sistema constructivo con mayor impacto ambiental producto del CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de construcción es la MC, con un indicador de 0,505 ton CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, y el menor, los SI, con 0,310 ton CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> (ver figura 4). Además, hicieron un comparativo con unos materiales alternativos que denominaron “eco-materiales”, que pueden reemplazar los materiales convencionales y estimaron un ahorro de impacto para cada sistema. Los ahorros estimados fueron 24% para los SI, 36% para la ME y 39% para la MC.



**Figura 7. Energía embebida y toneladas de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> de construcción para cada sistema constructivo según consumo de materiales en ciudad de Cali (Salazar & Ecoingeniería S.A.S., 2012).**

Cadena et al. (2012) presentaron un estudio en la Mesa VIS de la Universidad de los Andes donde estimaron el factor de toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> por tonelada de material de algunos materiales básicos usados en los tres principales sistemas constructivos utilizados en Colombia; estos son: cemento, acero, ladrillo y vidrio. También se estimaron los kg de CO<sub>2</sub> producto de la maquinaria de obra para cada sistema constructivo. Para cada material propusieron medidas de mitigación y evaluaron su beneficio estimado para las ciudades de Bogotá, Medellín y Barranquilla. Este estudio se realizó en asocio con el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el marco del programa del Gobierno Nacional llamado Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono, en el cual se incluyó al sector de la construcción (Gamboa & Medina, ).

Por su parte, Gómez (2010) investigó las variables que afectan los costos directos de la ME y los SI con formaleta mano-portable para VIS unifamiliar, y elaboró una herramienta basada en *Microsoft Excel*, con la cual se puede hallar el sistema constructivo que resulta más económico dependiendo de las diferentes variables. Se concluyó que las variables que más afectan los costos directos son el número de viviendas del proyecto y el número de pisos. Lo anterior se debe a que, por ejemplo, el hecho de hacer una vivienda de tres pisos con respecto a una de un solo piso, triplica el área vendible con un aumento del costo directo solo del 23% al 30%. Lo anterior coincide con el hecho de que la mayor parte de unidades de vivienda que, según el DANE (2005a), se construyen en Colombia, corresponden a apartamentos, es decir, vivienda multifamiliar, y no a viviendas unifamiliares.

A partir del estado del arte a nivel nacional, se observa que han existido iniciativas para estimar el impacto ambiental en función del índice GWP o HdC para los materiales más usados en los principales sistemas constructivos de VIS en Colombia. Quedan como brechas, que en el estudio realizado por Salazar & Ecoingeniería S.A.S. (2012) se generalizaron para el resto del país, los índices calculados para la ciudad de Cali, sin justificar porqué se toma la ciudad de Cali como base para extrapolar al resto del país. Con respecto al estudio de Cadena et al. (2012) se estimó el impacto ambiental de solo cuatro materiales. Por otro lado, los estudios de Ortiz et al., se han realizado en viviendas en Pamplona y Barcelona, usando herramientas informáticas, pero estas viviendas estudiadas no corresponden a VIS por cuanto no tienen como objetivo el poder contrarrestar el déficit de vivienda en Colombia de manera sostenible.

### 1.2.2 Estudios similares realizados en otros países:

Así mismo, se han publicado varios estudios semejantes de otros países, y a continuación se relacionan los consultados para la presente tesis:

Stadel et al (2011) realizó un estudio de ACV con dos plug-ins de Revit, Green Building Studio (GBS) de Autodesk y el IESVE, para compararlos con los resultados obtenidos con un estudio realizado a la misma edificación con el software SimaPro, evaluando el GWP. En todos los casos se asumió un tiempo de vida útil de 100 años para las edificaciones. Los autores se percataron que, para ese momento, los plug-ins de Revit solo evaluaron la fase de uso, por tanto se ignoró la fase de construcción de las edificaciones. Concluyeron que si bien los plug-ins de Revit permiten obtener resultados rápidos directamente del modelo BIM, estos arrojan resultados diferentes de GWP entre sí, e ignoran las fases de las edificaciones diferentes al uso de las mismas (e.g. construcción, demolición, etc.), mientras que SimaPro, a pesar de requerir un trabajo exhaustivo y complejo, arroja resultados más precisos.

Thormark (2006) realizó un estudio en Suecia en una edificación de 20 apartamentos en 2 pisos y 120 m<sup>2</sup> por apartamento, para una vida útil asumida de 50 años. La edificación tiene condiciones comunes del país. El autor no especifica qué herramienta utilizó. Resalta en sus conclusiones la importancia de la fase de diseño en cuanto a la selección de materiales para reducir impacto ambiental durante la construcción y uso de la edificación.

Blengini (2009) realizó un ACV a una edificación que fue demolida y reconstruida en Turín, Italia. Se estudiaron 6 indicadores incluidos en la norma sueca SMEC: GWP, demanda bruta

de energía, ODP; AP, EP y potencial de creación de ozono fotoquímico (COF), y se asumió una vida útil de 40 años. Se usaron las aplicaciones SimaPro 6 y Boustead Model 5 para los análisis. Gracias a este análisis se logró reciclar gran parte del material del edificio demolido, evitando la deposición de los escombros y disminuyendo el consumo de recursos naturales nuevos.

Rossi, Marique, & Reiter (2012) compararon dos sistemas constructivos diferentes para una misma edificación residencial, en tres ciudades diferentes: Bruselas (Bélgica), Luleá (Suecia) y Coimbra (Portugal). Para ello realizaron un modelo arquitectónico que representara de manera general el común de edificaciones. El área de la vivienda es de 192 m<sup>2</sup> y se asume una vida útil de 50 años. Usaron diferentes bases de datos para la obtención de información requerida para el ACV (e.g. BEES, WORLDSTEEL, CRTI, etc.) y se evaluó el GWP o carbono embebido. Se verificó que el mayor impacto se genera en la etapa de utilización de la edificación y es ahí donde en principio se debe enfocar la optimización del diseño.

Hacker, De Saulles, Minson, & Holmes (2008) también compararon el CO<sub>2</sub> embebido para cuatro sistemas constructivos en Inglaterra, para lo cual también hicieron un modelo de VIS típico para este tipo de viviendas en su país. Observaron que para los sistemas constructivos más pesados, el CO<sub>2</sub> embebido era mayor.

Moussavi Nadoushani y Akbarnezhad (2015) mostraron la importancia de considerar la HdC en la escogencia del sistema constructivo. Se compararon 5 sistemas constructivos para diseñar edificios de 3, 10 y 15 plantas, teniendo así 15 alternativas de diseño. La HdC para cada diseño es estimada de considerar las emisiones incurridas durante la extracción y transporte del material, la construcción, operación y fin de vida de la edificación, usando un método computacional. El resultado muestra diferencias significativas entre los diferentes diseños, justificando así la importancia de considerar la variable de la HdC en la escogencia del sistema constructivo.

Siendo que en la presente investigación se van a comparar tres sistemas constructivos entre sí, los trabajos de Rossi et al. (2012), Hacker et al. (2008) y Moussavi Nadoushani y Akbarnezhad (2015), son las que más se asemejan al presente trabajo de investigación aplicado en Colombia. No obstante, ninguno de ellos usó BIM.

En varios estudios se ha concluido que el concreto es el material que genera un mayor impacto ambiental (Blengini, 2009; Ortiz-Rodríguez et al., 2012; Ortiz-Rodríguez et al., 2010) debido a que su componente esencial, el cemento, es un gran aportante de CO<sub>2</sub> a nivel global (Dong & Ng, ). Ji et al. (2014) mostraron que la HdC asociada con manufactura, transporte y construcción en sitio, para una estructura en concreto, puede variar hasta en un 40%, dependiendo de la cantidad de concreto y barras de refuerzo usadas. De acuerdo con lo anterior, se podría estimar cual sistema constructivo aporta mayor cantidad de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, de acuerdo al volumen de concreto por m<sup>2</sup> de construcción. No obstante, con el estudio de caso de la presente tesis se verificará lo anterior.

Se observa que en todos los artículos y demás publicaciones de trabajos similares, el único indicador común en todos es el relacionado con los kg de CO<sub>2</sub>-eq embebido en las edificaciones, sistemas constructivos o materiales específicos. Es decir, el GWP o la HdC.

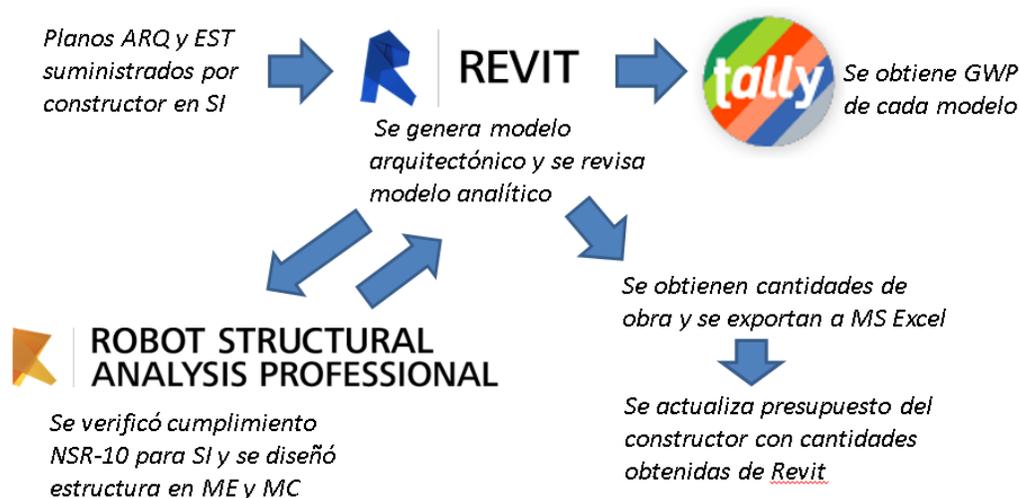
Por tal motivo se valida que la herramienta Tally es adecuada para hacer este tipo de análisis a edificaciones.

Hay muchos artículos a nivel internacional, pero en ninguno de los casos se encontró que usaran herramientas BIM para todo el análisis, por el hecho de que las herramientas existentes no ofrecían el alcance requerido para hacer un ACV completo, encontrándose así una brecha en la investigación en la cual se pretende hacer el aporte con la presente tesis, aprovechando que ahora Autodesk ofrece nuevas herramientas para el ACV y el cálculo del GWP de edificaciones a partir de los materiales.

## 2. Materiales y métodos

En el estudio realizado por Cadena et al. (2012) se cuantificaron los kg de CO<sub>2</sub>-eq para cada uno de los tres principales sistemas constructivos usados en Colombia, considerando el impacto ambiental a la atmósfera de cuatro materiales (cemento, acero, ladrillo y vidrio) para las ciudades de Bogotá, Medellín y Barranquilla. También se estimaron los kg de CO<sub>2</sub>-eq producto de la maquinaria de obra para cada sistema constructivo. Por otro lado Salazar y Ecoingeniería S.A.S. (2012) concluyeron que el sistema constructivo de Colombia que genera el menor impacto ambiental a la atmósfera son los SI, tomando como base índices estimados para la ciudad de Cali.

En esta investigación se implementaron metodologías BIM, específicamente *Revit* y *Robot Structural Analysis Professional* (o *Robot* en adelante) de Autodesk, y *Tally* que funciona como plug-in de *Revit*, para estimar la HdC de la cimentación, estructura y muros de una edificación VIS en Colombia, diseñada con los tres sistemas constructivos más usados en Colombia. De esta manera, la metodología de la presente tesis es un estudio de caso, para validar y/o complementar los hallazgos de los estudios anteriores, aprovechando las nuevas herramientas BIM de Autodesk. Se construyeron tres modelos BIM para una misma edificación VIS seleccionada, cada modelo con un sistema constructivo diferente. En la figura 8 se puede ver un esquema del procedimiento realizado.



**Figura 8.** Esquema de procedimiento realizado para elaboración de modelos BIM y obtención de GWP y presupuesto. Fuente imágenes: Autodesk (2014).

## 2.1 Muestra: VIS en Soacha

El estudio de caso se realizó para una edificación del macro-proyecto “Ciudad-verde” en el municipio de Soacha, ubicado en el AM de Bogotá. Bogotá es la ciudad de Colombia con mayor número de hogares en déficit (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2005b), y, el macro-proyecto “Ciudad Verde” contempla la construcción de 49.500 unidades de VIS, el mayor proyecto de VIS en Colombia, convirtiéndose en un ejemplo nacional e internacional (Ciudad Verde, 2014; Ministerio de Vivienda, ). Así mismo, Soacha es el municipio que registra mayor licenciamiento para VIS del AM de Bogotá, con un 88% (Secretaría Distrital de Planeación de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2015). Se estima que en el periodo 2005-2020, la población del AM de Bogotá habrá crecido en 1’951.416 de personas, y el mayor crecimiento poblacional se dará en el municipio de Soacha (Secretaría Distrital de Planeación de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2015). Se estima que en Ciudad Verde vivan unas 200.000 personas (Ministerio de Vivienda, ). En la selección de la edificación para el estudio de caso, se tuvieron en cuenta sus similitudes y diferencias y así poder escoger una solución que represente una porción importante del mercado.

En el macro-proyecto de Ciudad Verde participan varias empresas constructoras del país. En la tabla 1 se pueden visualizar las características generales arquitectónicas de la mayoría de proyectos de VIS ofrecidos en Soacha. La tabla fue construida en base a información disponible en las páginas web de las empresas participantes en el proyecto Ciudad Verde. La información no disponible aparece como ND. Se puede apreciar que predominan las edificaciones multifamiliares de 6 pisos, con 4 apartamentos por piso, para soluciones VIS en Soacha. La mayoría tiene entre 2 y 3 habitaciones y 2 baños por apartamento. Las áreas de construcción de cada inmueble oscilan entre 40,60 m<sup>2</sup> y 65,68 m<sup>2</sup>.

En las figuras 9, 10, 11, 12, 13 y 14, se puede verificar que la distribución de las viviendas ofrecidas en estos proyectos es también muy similar entre sí. La cocina está a un costado del acceso principal, la sala-comedor frente al acceso principal, y las alcobas al fondo de la vivienda, con los baños, luego de pasar por la sala-comedor.

Uno de los grupos constructores participantes en Ciudad Verde es el Grupo Marval (Ciudad Verde, 2014), el cual se ha ofrecido para apoyar la presente tesis de investigación entregando los planos arquitectónicos y estructurales de un proyecto VIS en Soacha. Teniendo en cuenta las similitudes de todos los proyectos en Soacha, se escogió una edificación del proyecto Cala, que coincide con los parámetros que más se repiten en la tabla 1.

Constructor	Nombre de Proyecto	No. pisos por edificación	Aptos . por piso	Área de construcción por vivienda (m <sup>2</sup> )	No. de habitaciones	No. de baños	Fuente
Amarilo	Astromelia	6	ND	55	3	2	Amarilo (2015)
Amarilo	Avellana	6	ND	58	3	2	Amarilo (2015)
Amarilo	Cayena	12	ND	53-60	2-3	2	Amarilo (2015)
Amarilo	Ponsetia	ND	ND	53	3	2	Amarilo (2015)
Amarilo	Rosal	6	ND	61	3	2	Amarilo (2015)
Amarilo	Reserva de Tierrablanca	6	ND	55	3	2	Amarilo (2015)
Amarilo	Reserva de Tierrablanca II	ND	ND	60	2-3	2	Amarilo (2015)
Colsubsidio	Torres del Camino	5	ND	41,31-57,59	3	2	Colsubsidio ()
Coninsa Ramón H.	Abedul	ND	ND	48-63	3	1	Coninsa Ramón H.S.A. (2015)
Constructora Bolívar	Amapola	6	4	41-61	2-3	1-2	Constructora Bolívar S.A. ()
Constructora Bolívar	Huertas de Soacha	5-6	4	41-49	1-3	1-2	Constructora Bolívar S.A. ()
Marval	Cala	6	4	45,08-54,11	2-3	2	Marval S.A. (2015)
Mendebel	Arrayán	6	4	ND	ND	ND	Mendebel ()
Mendebel	Abedul	6	4	48,68-63,14	3	2	Mendebel ()
Mendebel	Eucalipto	6	4	40,60	3	1	Mendebel ()
Ospinas	Nogal	6	4	~57,40	2-3	2	Ospinas (2015)
Ospinas	Cedro	6	4	43,7-53,6	2-3	2	Ospinas (2015)
Ospinas	Azahar	6	4	43,97-53	2-3	2	Ospinas (2015)
Prodesa	Palmeto	6	ND	62-68	ND	ND	Prodesa (2015)
Prodesa	Pomarrosa	6	ND	62-68	ND	ND	Prodesa (2015)
Urbanza	Azucena	6	ND	43,77-52,95	2-3	1-2	Urbanza (2015)
Urbanza	Begonia	6	ND	51,59-60,02	2-3	1	Urbanza (2015)
Urbanza	Lavanda	6	ND	40,31	2	1	Urbanza (2015)
Urbanza	Roble	6	ND	65,68	3	1-2	Urbanza (2015)

**Tabla 1. Características arquitectónicas generales de VIS ofrecidas en Soacha en el año 2015.**



Figura 9. Distribución de un inmueble tipo ofrecido por Amarilo en Soacha (Amarilo, 2015).



Figura 10. Distribución de un inmueble tipo ofrecido por Colsubsidio en Soacha (Colsubsidio, ).



**Figura 11. Distribución de un inmueble tipo ofrecido por Coninsa Ramón H S.A. y Mendebal S.A. en Soacha (Coninsa Ramón H S.A., 2015; Mendebal, ).**



**Figura 12. Distribución de un inmueble tipo ofrecido por Constructora Bolívar S.A. en Soacha (Constructora Bolívar S.A., ).**



Figura 13. Distribución de un inmueble tipo ofrecido por Marval S.A. en Soacha (Marval S.A., 2015).



Figura 14. Distribución de un inmueble tipo ofrecido por Ospinas en Soacha (Ospinas, 2015).

## **2.2 Información de edificación tipo del proyecto Cala**

El proyecto Cala, el cual hace parte de Ciudad-Verde, consta de 516 viviendas, y 27.709,20 m<sup>2</sup> de área vendible para VIS. El proyecto es financiado por recursos privados, al igual que la totalidad de Ciudad Verde (Ministerio de Vivienda, ). El Ministerio de Vivienda se encarga del otorgamiento de subsidios para los beneficiarios de las VIS.

Una vez escogida la edificación a estudiar, se obtuvieron los planos arquitectónicos y estructurales del proyecto Cala, requeridos para la elaboración del modelo BIM en el software Revit de Autodesk, los cuales fueron suministrados formalmente por parte de Marval S.A., diseñador y constructor de este proyecto.

Se obtuvieron las licencias educacionales del software BIM de Autodesk, tales como Revit, Robot y Tally, las cuales vienen gratuitas por 3 años. También se realizó capacitación en línea gratuita ofrecida por Autodesk para cada uno de los programas requeridos.

## **2.3 Modelos BIM**

El diseño entregado por el constructor correspondió al sistema SI, como se puede observar en la figura 8, por cuanto se inició con la construcción de este modelo BIM. La generación del primer modelo es el que más tiempo tomó, puesto que requirió su construcción desde cero. La construcción de los tres modelos se realizó por fases en el Revit: 1) Cimentación, 2) estructura, y 3) mampostería.

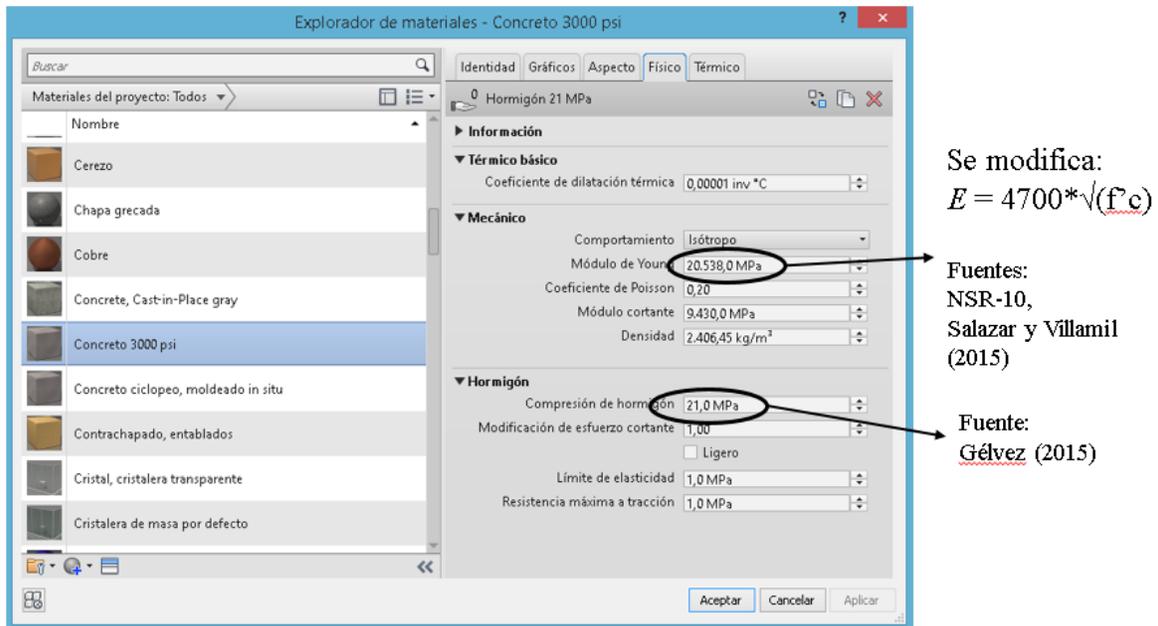
### **2.3.1 Sistema industrializado (SI).**

Después de creados los ejes, se fueron creando los elementos de la cimentación, estructura y mampostería de la edificación, trabajando a partir las familias estándar de Revit, generando duplicados para cada tipo de elemento estándar de Revit.

Se modificó la resistencia a la compresión del hormigón de acuerdo al diseño estructural y el módulo de Young de acuerdo a la Norma Sismorresistente Colombiana (NSR-10). Este procedimiento se hizo en la ventana del Revit que se observa en la figura 15.

Una vez completada la cimentación y la estructura en el software Revit, como se puede ver en las figuras 16 y 17 respectivamente, se revisa el modelo analítico de la estructura para verificar que todos los nodos hayan quedado correctamente conectados y que toda la estructura esté soportada de manera lógica. En las figuras 18 y 19 se encuentra un pantallazo de estas revisiones. Esto es requerido para minimizar errores cuando se exporte el modelo a Robot.

Por último se pasa a la fase de mampostería para colocar los muros divisorios y de fachada según corresponda en los planos arquitectónicos. En la figura 20 se puede ver el modelo completo con cimentación, estructura y mampostería.



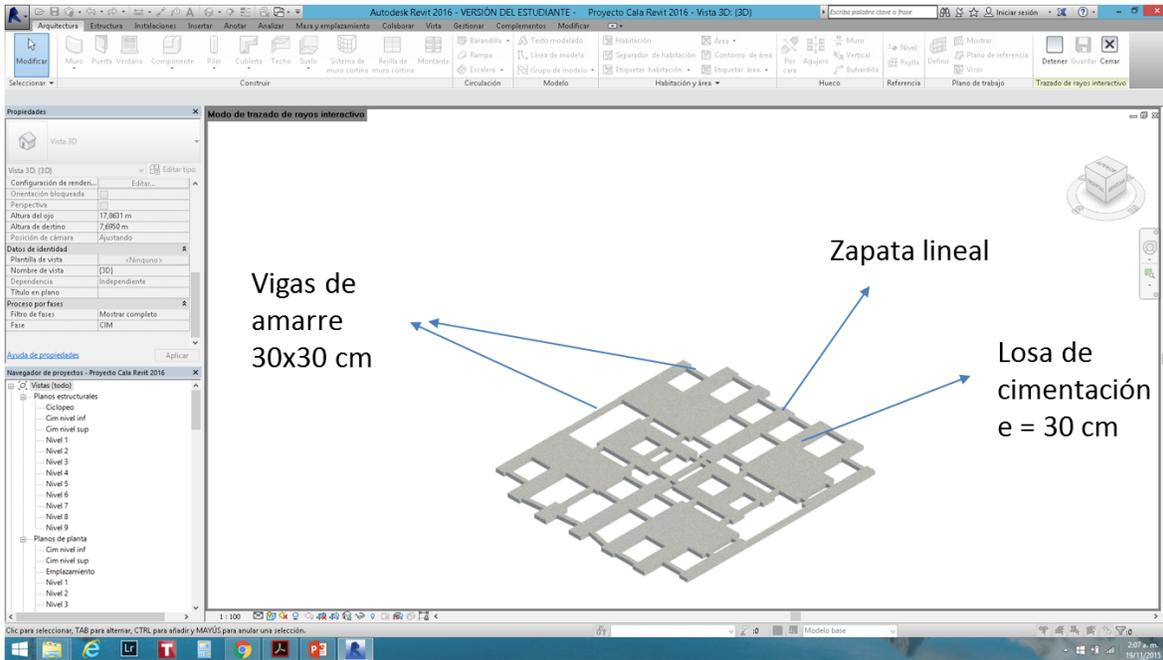
**Figura 15. Pantallazo de modificación de propiedades mecánicas del hormigón en Revit (Salazar y Villamil, 2015); NSR-10 (2010).**

Si bien los planos estructurales mostraban un concreto ciclópeo debajo de las vigas de cimentación, este no se incluyó en el modelo BIM, tal y como se puede ver en la figura 16, ya que en una visita que se realizó a la obra del proyecto Cala, se evidenció que no se estaba colocando este concreto ciclópeo debido a que cuando se hizo el movimiento de tierras, se encontró el suelo de apoyo indicado en el estudio de suelos, a una altura superior a la cota inferior de la cimentación.

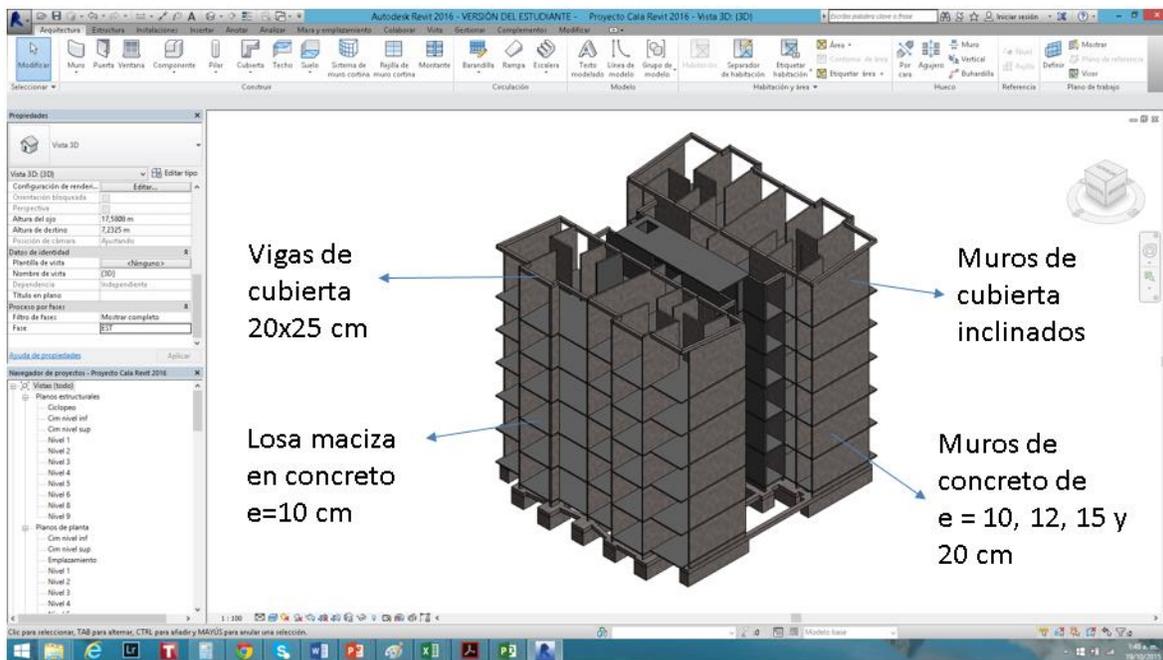
Posteriormente, el modelo se exportó al software Robot para verificar que cumpliera con los requisitos mínimos obligatorios de la NSR-10. En la figura 21 se puede ver el modelo exportado al Robot.

Teniendo en cuenta que el software Robot fue nuevo para los autores de la investigación, se generó un modelo en ETABS de cada sistema para confirmar resultados obtenidos a través del Robot. En la figura 22 se encuentra el modelo generado en ETABS para la edificación con sistema SI.

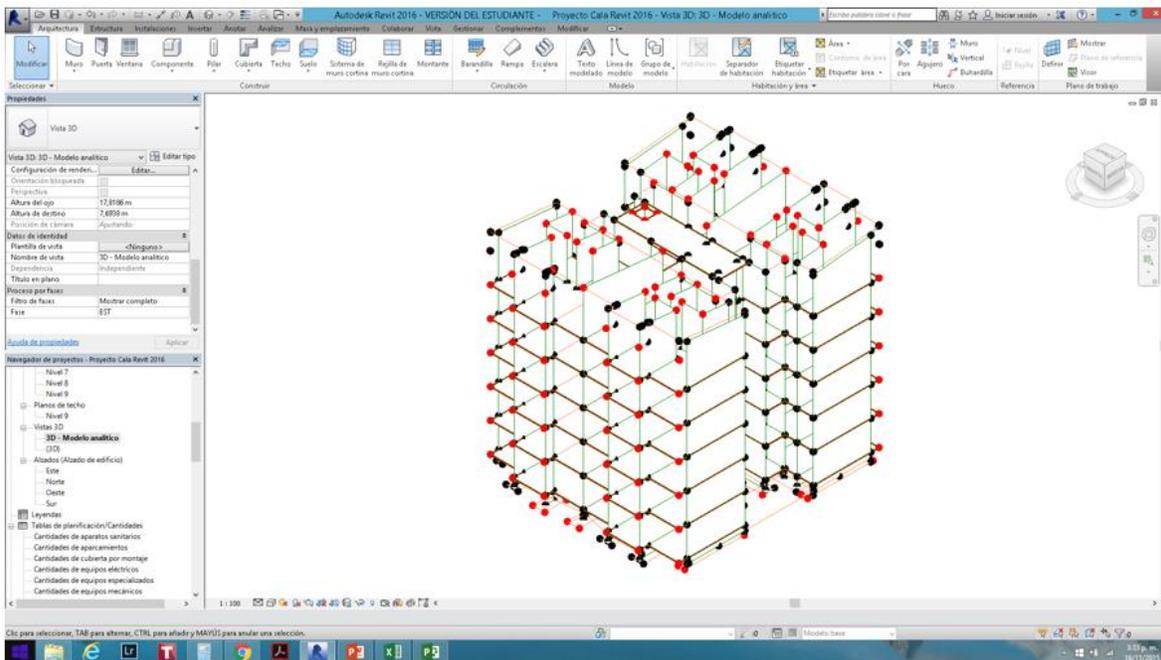
Teniendo el modelo completo en Revit y revisado en Robot, se procedió a correr el plug-in de Tally, y se introdujeron propiedades adicionales tales como cuantías de hierro, tipo de concreto, porcentaje de vacíos de ladrillos y grouting de la mampostería, y se obtuvo el informe del ACV de este modelo. El trabajo en el software Tally se encuentra detallado en el numeral 2.3.4 del presente documento.



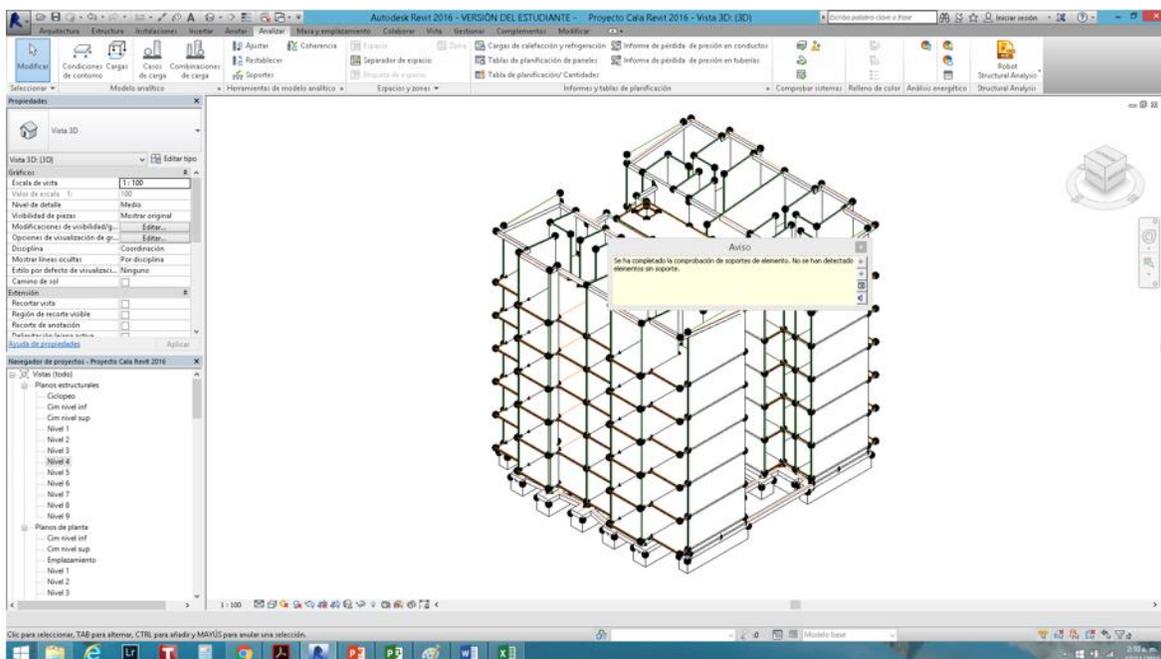
**Figura 16. Fase de cimentación para modelo SI, en Revit.**



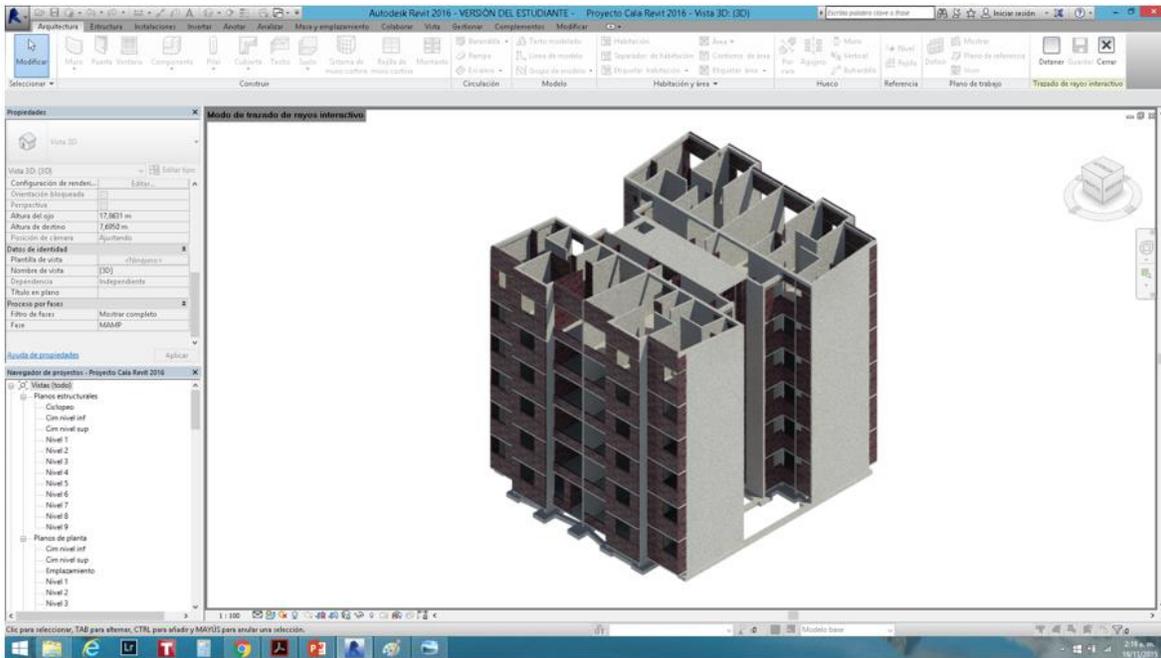
**Figura 17. Fase de estructura para modelo SI, en Revit.**



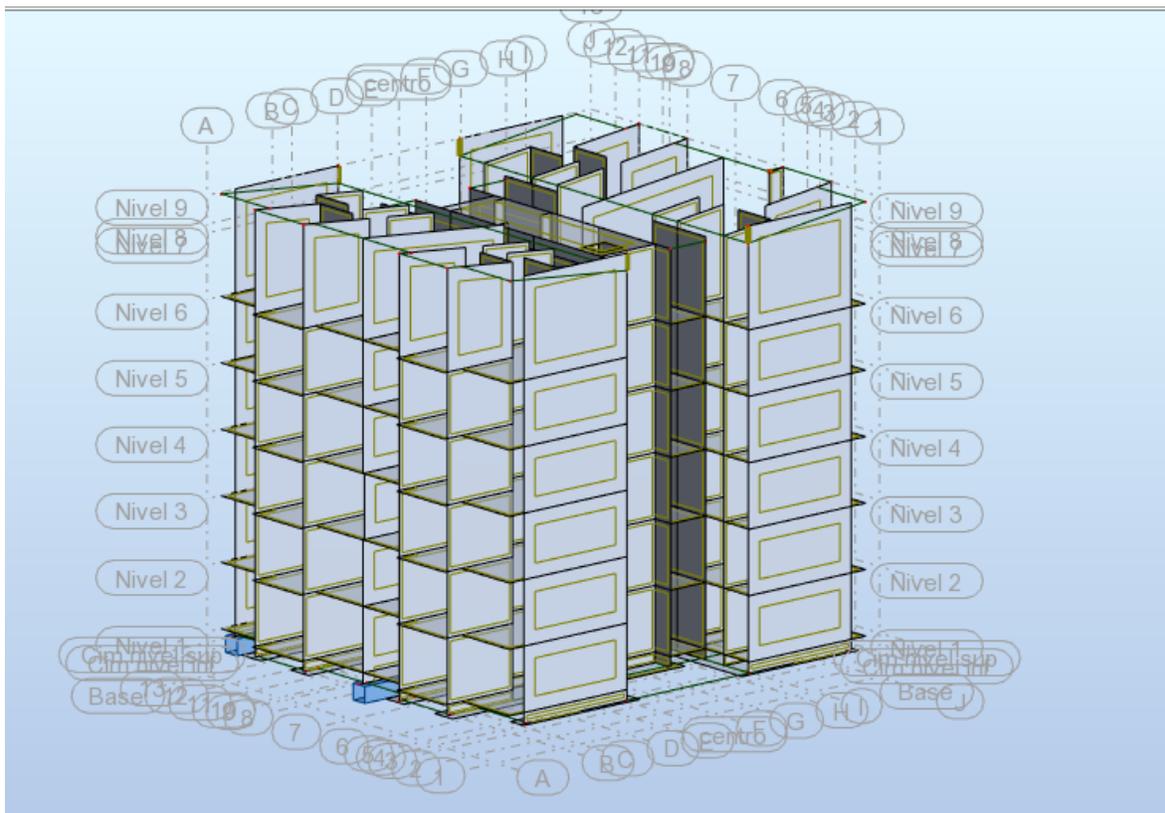
**Figura 18. Modelo analítico en Revit para estructura de SI, para verificación de conexión de nodos.**



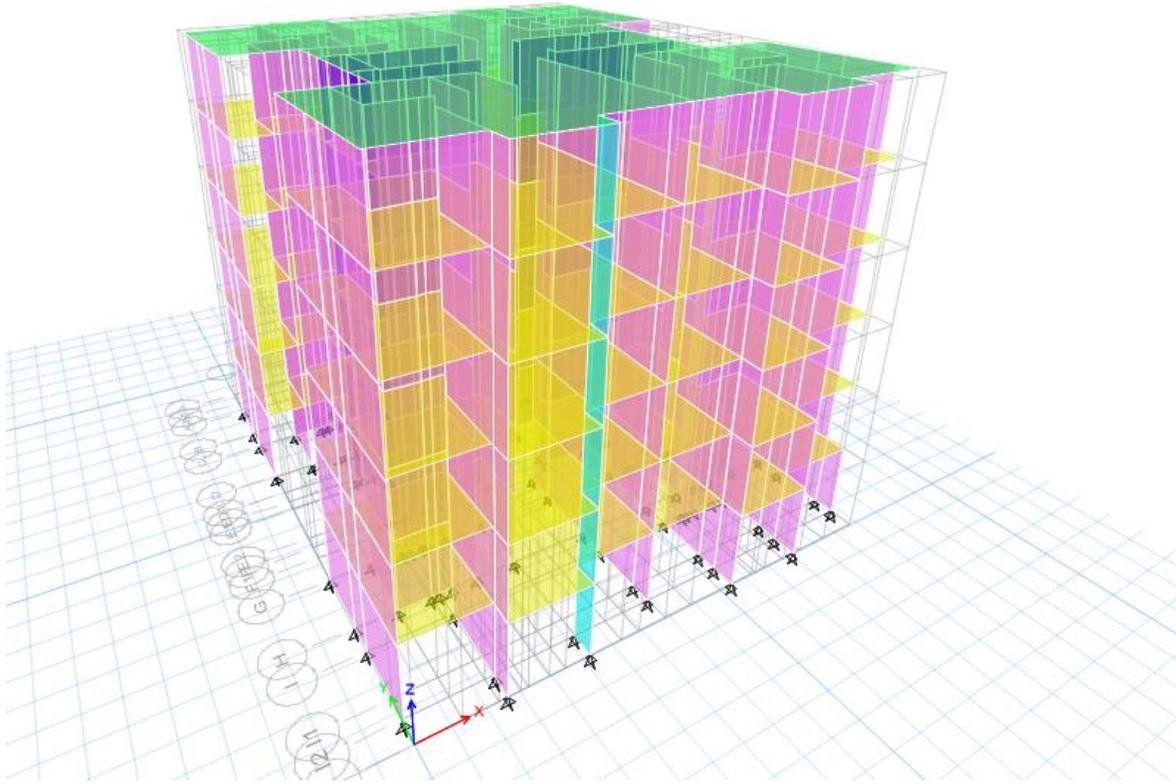
**Figura 19. Verificación de coherencia de soportes de estructura para modelo SI, en Revit.**



**Figura 20. Modelo BIM en Revit con fase de mampostería terminada para SI.**



**Figura 21. Modelo BIM para SI exportado a Robot.**



**Figura 22. Modelo creado en software ETABS para SI.**

Durante la construcción del modelo BIM para el sistema SI, se encontraron en total 9 incoherencias entre los planos arquitectónicos, estructurales y los renders del constructor, evidenciando así uno de los beneficios principales de BIM. Estas incoherencias fueron retroalimentadas al constructor de manera oportuna.

### **2.3.2 Mampostería estructural (ME).**

Para la construcción del modelo BIM en sistema ME, se tomó el modelo anterior y se cambiaron las propiedades de los muros de acuerdo a un diseño estructural que cumpliera con la NSR-10, y se mantuvo la misma cimentación, el cual se puede ver en la figura 23. El ladrillo usado para la ME correspondió a ladrillo cocido de arcilla, y sus dimensiones se encuentran en la figura 24. El ladrillo tiene un porcentaje sólido (quitando el volumen de las perforaciones verticales) de 45,04% con respecto a su volumen total.

En la figura 25 se encuentra el modelo BIM para ME exportado a Robot. En la figura 26 se encuentra el modelo de ME creado en ETABS para verificación de resultados con Robot.

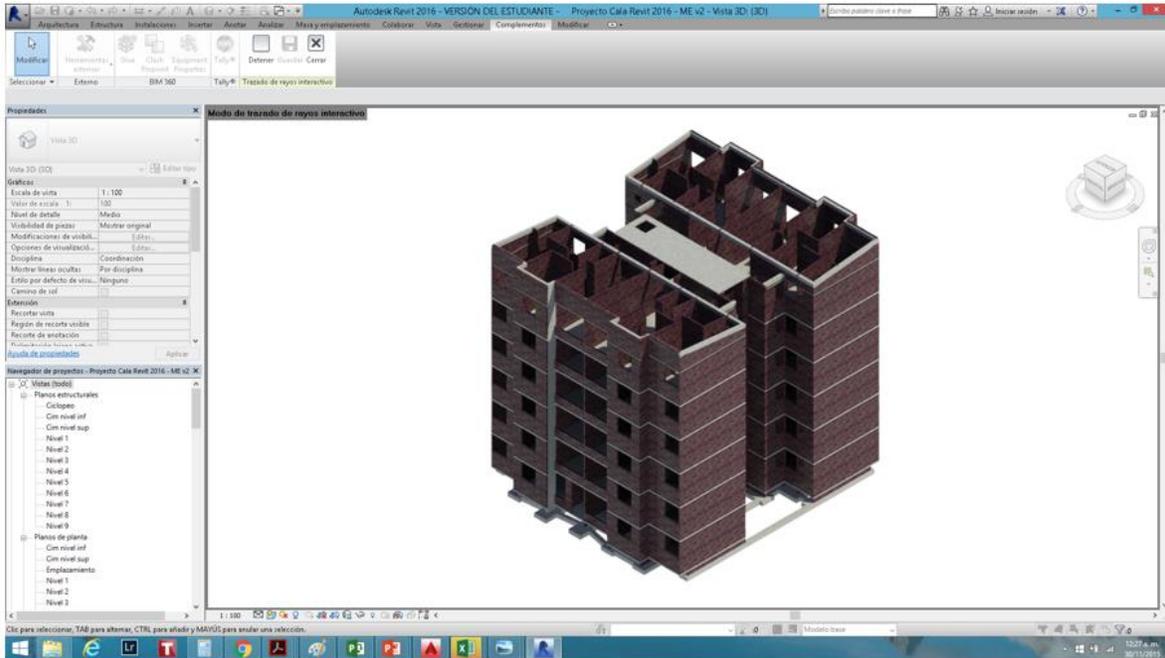


Figura 23. Modelo BIM para ME en Revit.

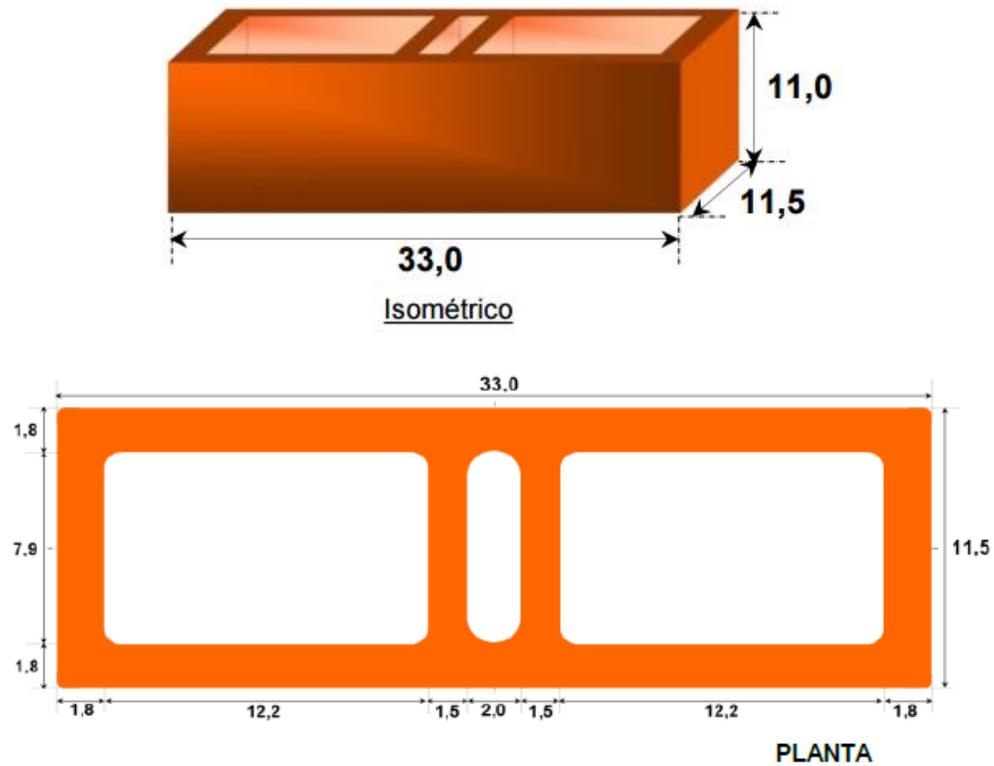
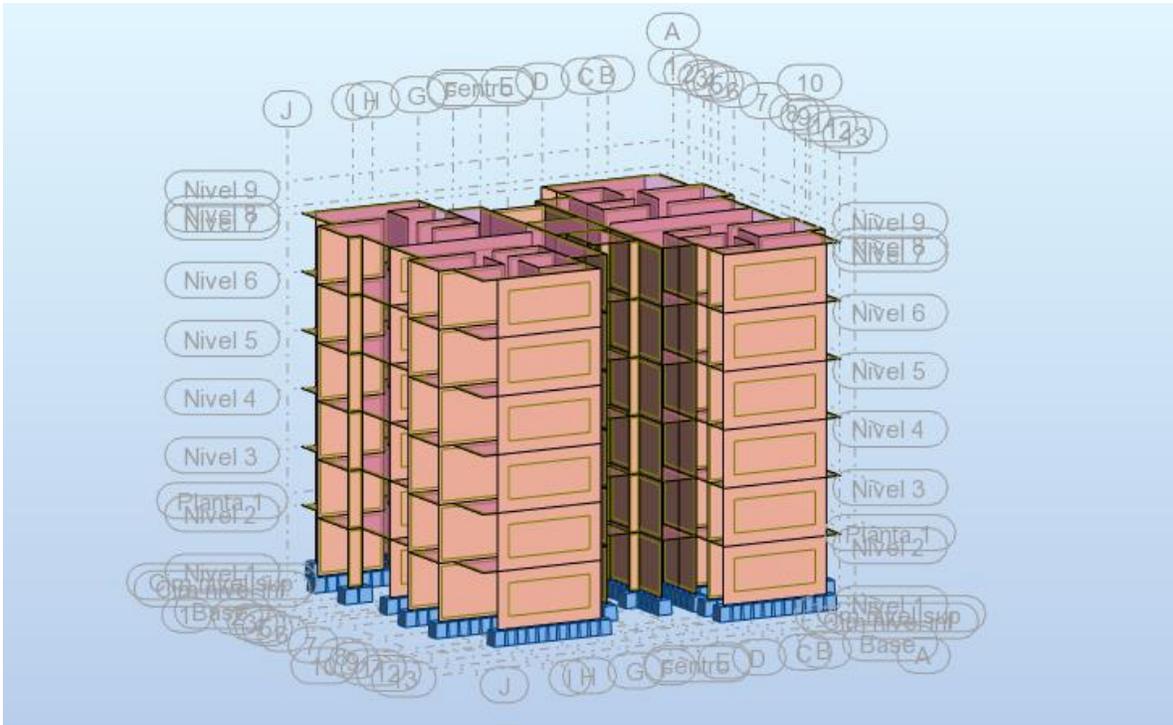
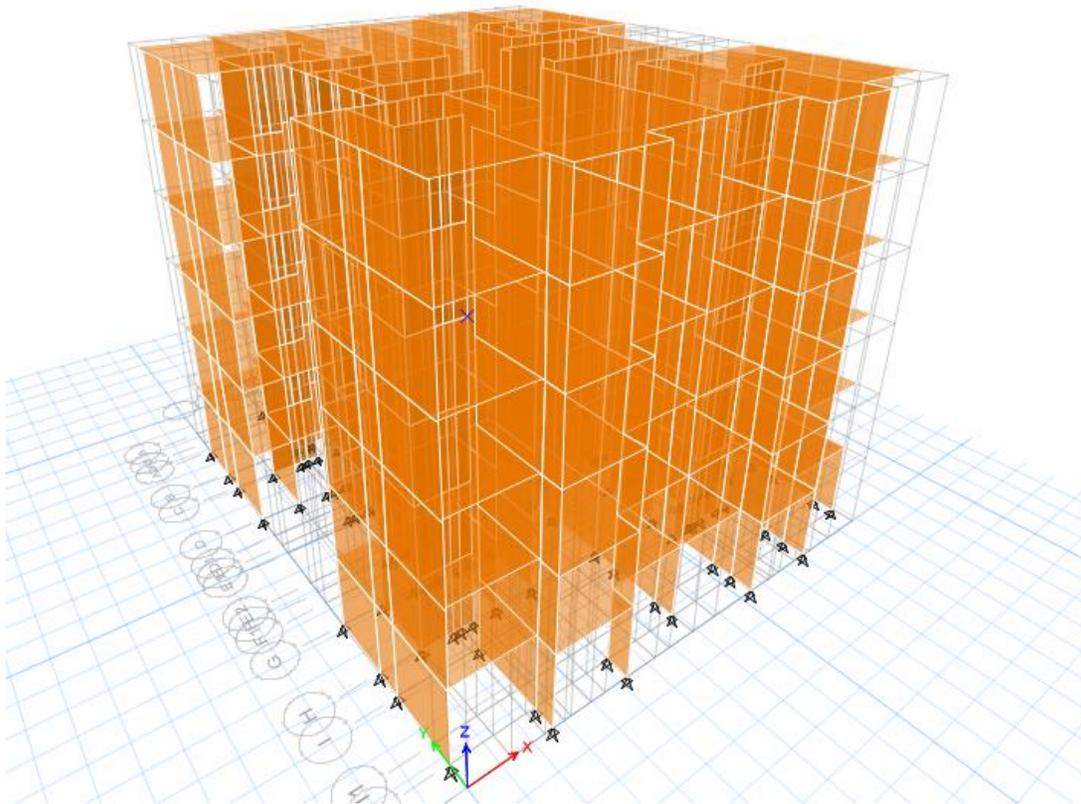


Figura 24. Dimensiones de ladrillo estructural de arcilla para la ME (Ladrillera Santafé S.A., 2014).



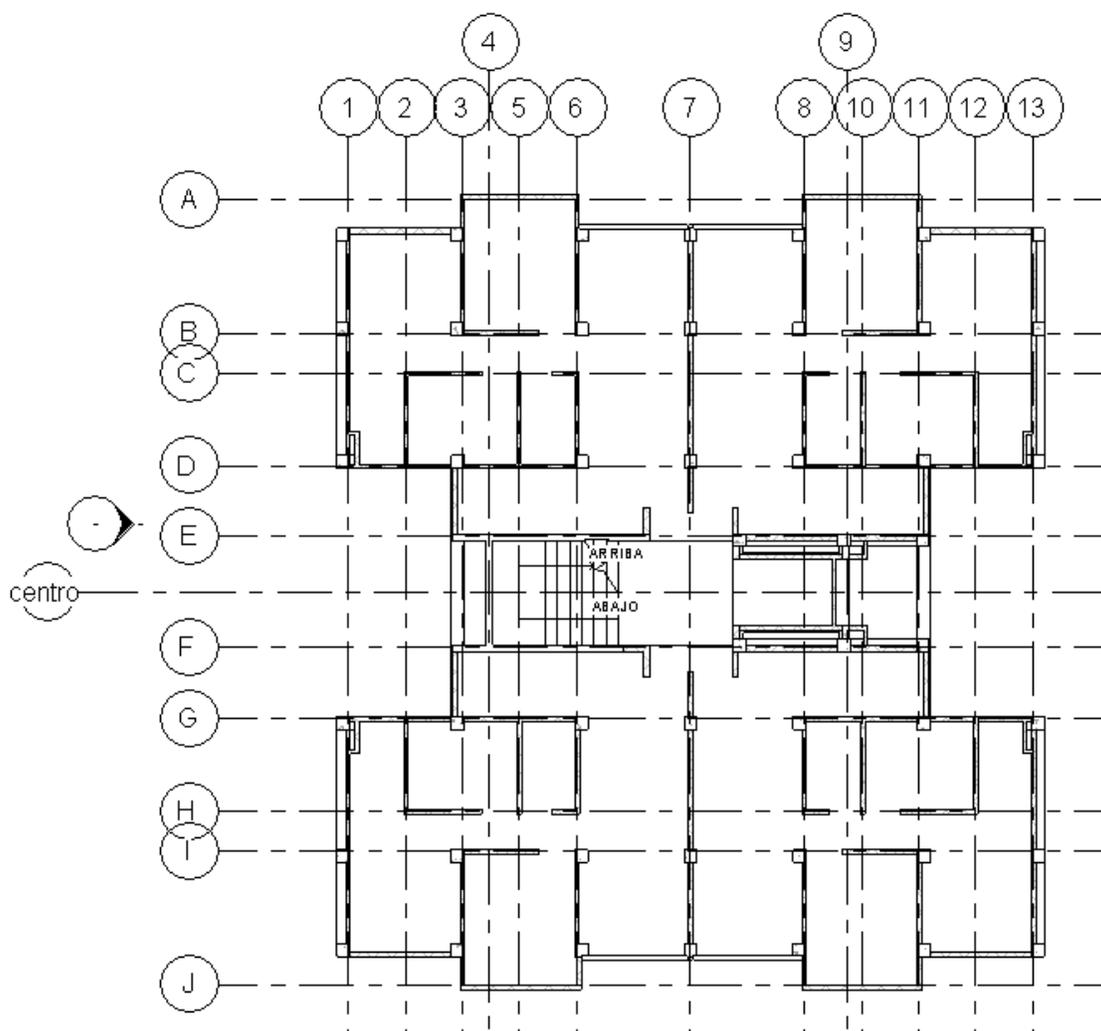
**Figura 25. Modelo BIM para ME exportado a Robot.**



**Figura 26. Modelo creado en ETABS para ME.**

### 2.3.3 Mampostería confinada (MC).

Para el modelo en MC, se partió del modelo anterior para colocación de columnas, teniendo como referencias los ejes del diseño original. En la figura 27 se puede ver una planta de la distribución de columnas. La cimentación se modificó por zapatas aisladas debajo de cada columna, con vigas de amarre, tal y como se puede ver en la figura 28. En la figura 29 se puede ver una imagen del modelo BIM con la fase de estructura completada para MC.

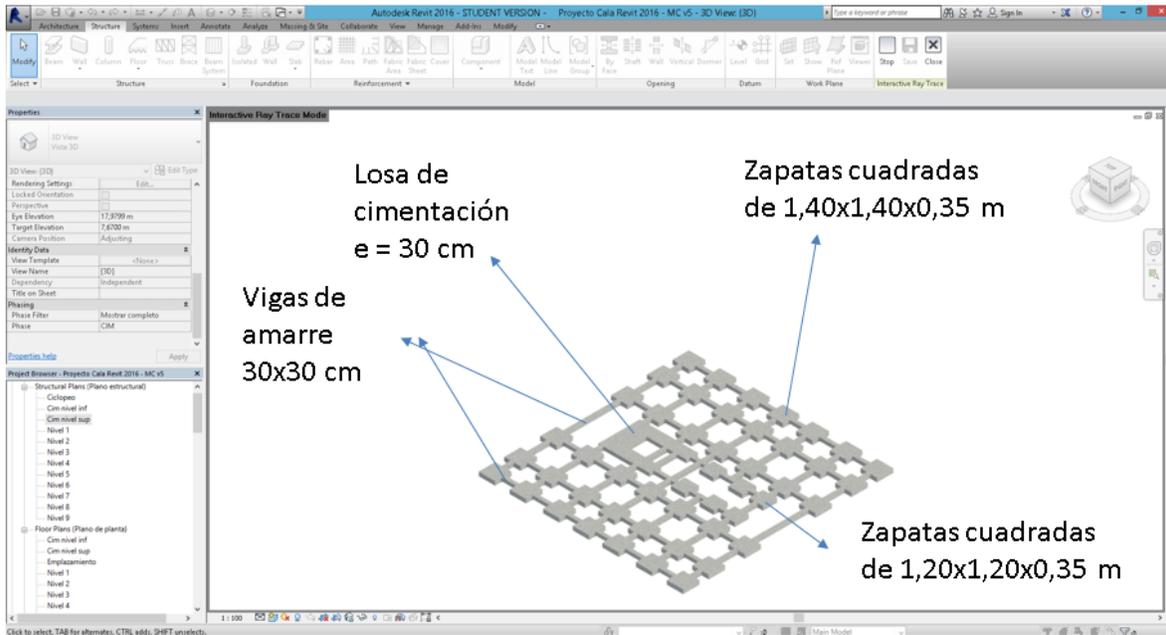


**Figura 27. Planta de distribución de columnas para modelo MC.**

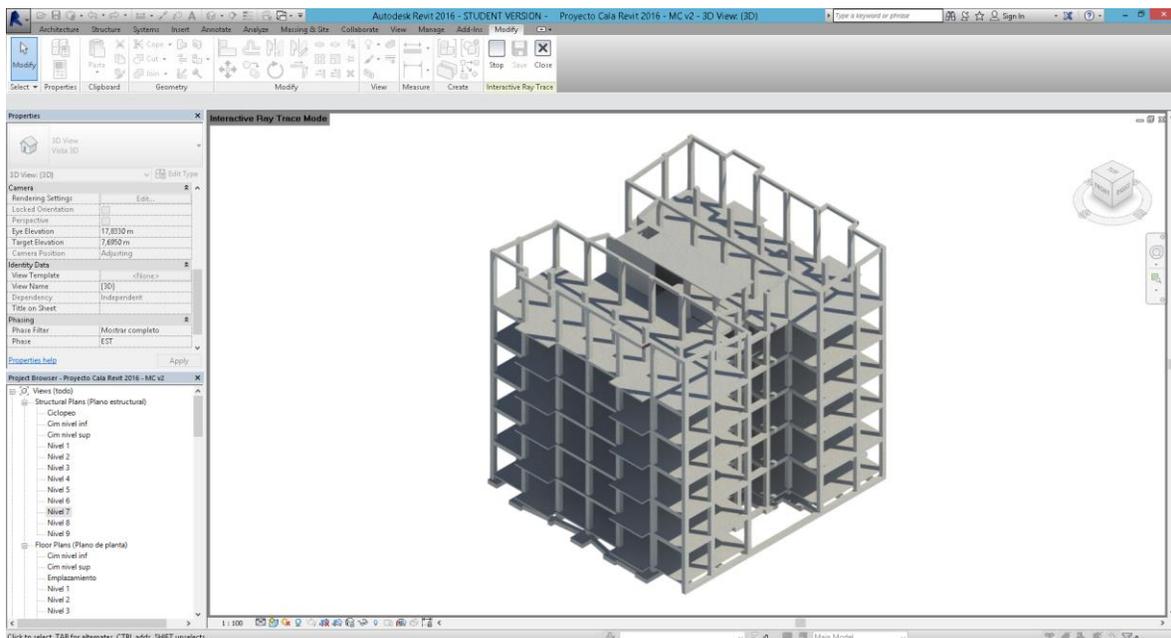
Posteriormente, se procedió a revisar el modelo analítico en Revit, tal y como se hizo para el modelo SI. En la figura 30 se encuentra la imagen de la revisión de conexión entre nodos del modelo analítico y en la figura 31 la verificación de coherencia de soportes.

Teniendo el modelo BIM con la estructura completada, se exportó a Robot, como se puede ver en la figura 32, y también se montó el modelo de la cimentación y estructura en el software ETABS, el cual se puede ver en la figura 33, para corroboración de resultados contra

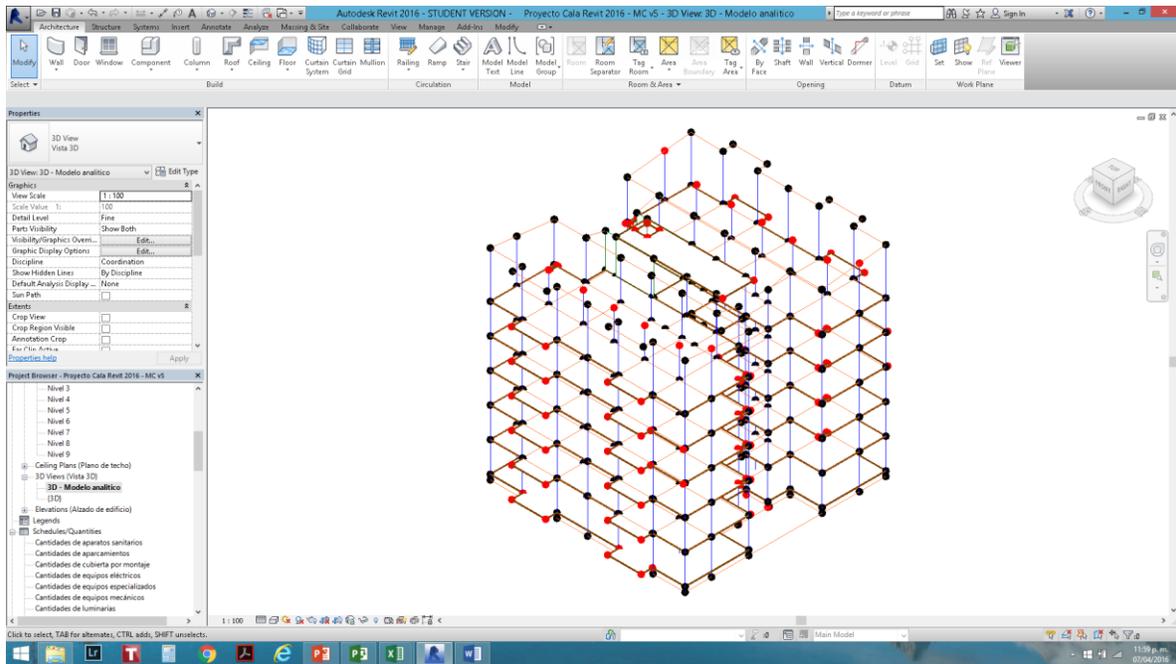
Robot. Se colocaron cargas a los modelos en Robot y ETABS con los diferentes tipos de cargas como lo solicita la NSR-10 (muerta, viva, granizo, sismo, viento, etc.) y se le suministraron las diferentes combinaciones. De estos análisis se obtuvieron todos los resultados en cuanto a momentos, cortantes, cargas axiales, torsión, desplazamientos, reacciones, etc. Este procedimiento también se realizó para el sistema SI y ME.



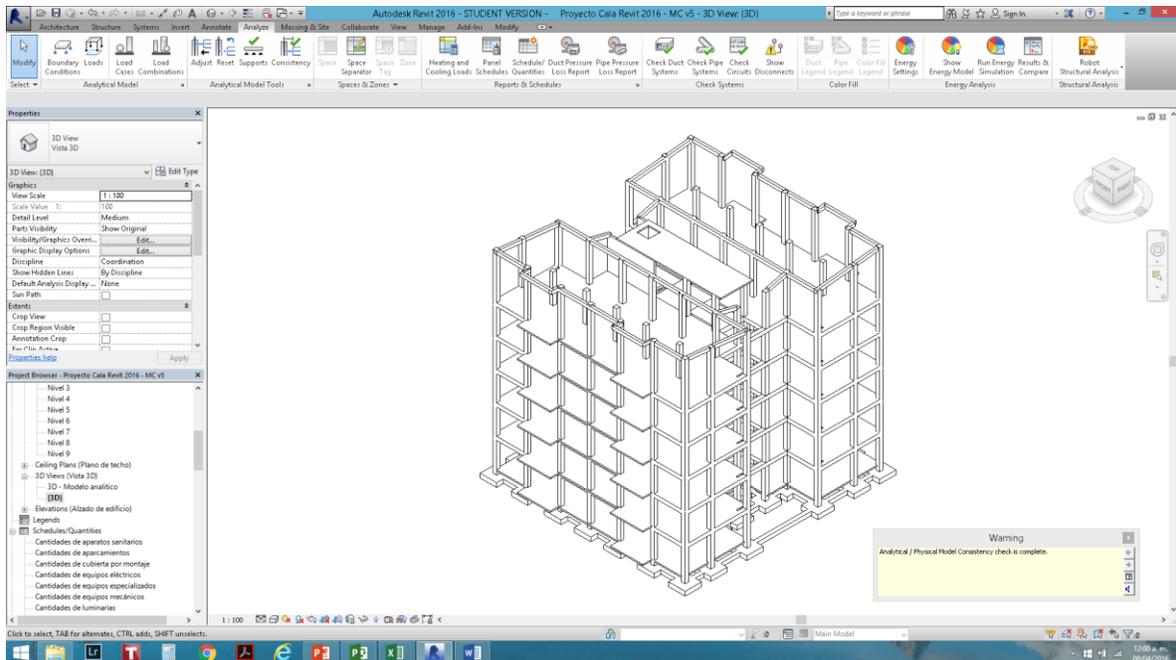
**Figura 28. Fase de cimentación en Revit para modelo MC.**



**Figura 29. Fase de estructura en Revit para modelo MC.**



**Figura 30. Modelo analítico en Revit para estructura de MC, para verificación de conexión de nodos.**



**Figura 31. Verificación de coherencia de soportes de estructura para modelo MC, en Revit.**

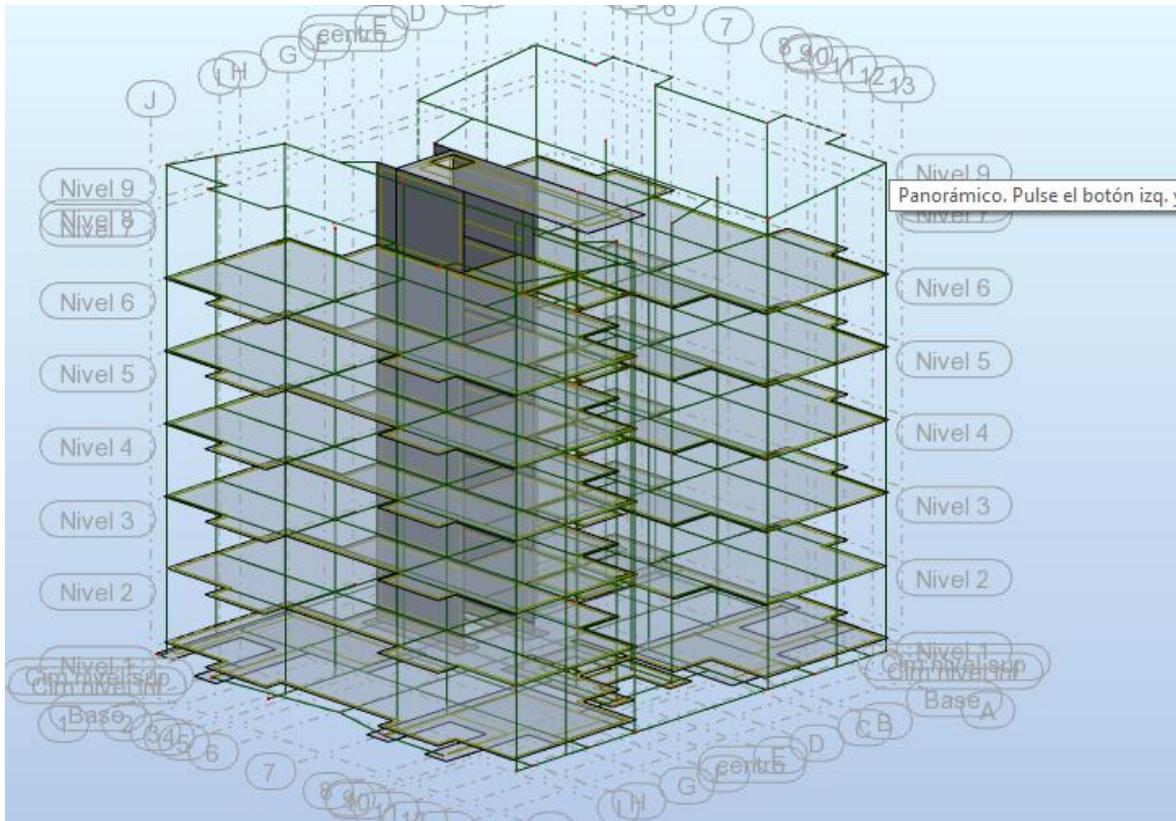


Figura 32. Modelo BIM exportado a Robot para MC.

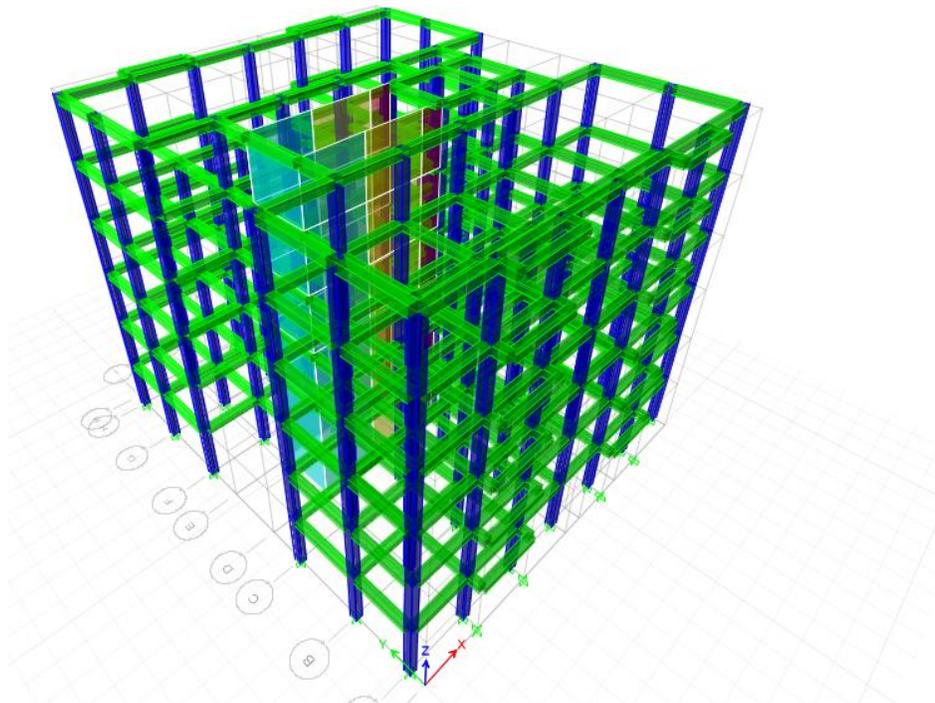
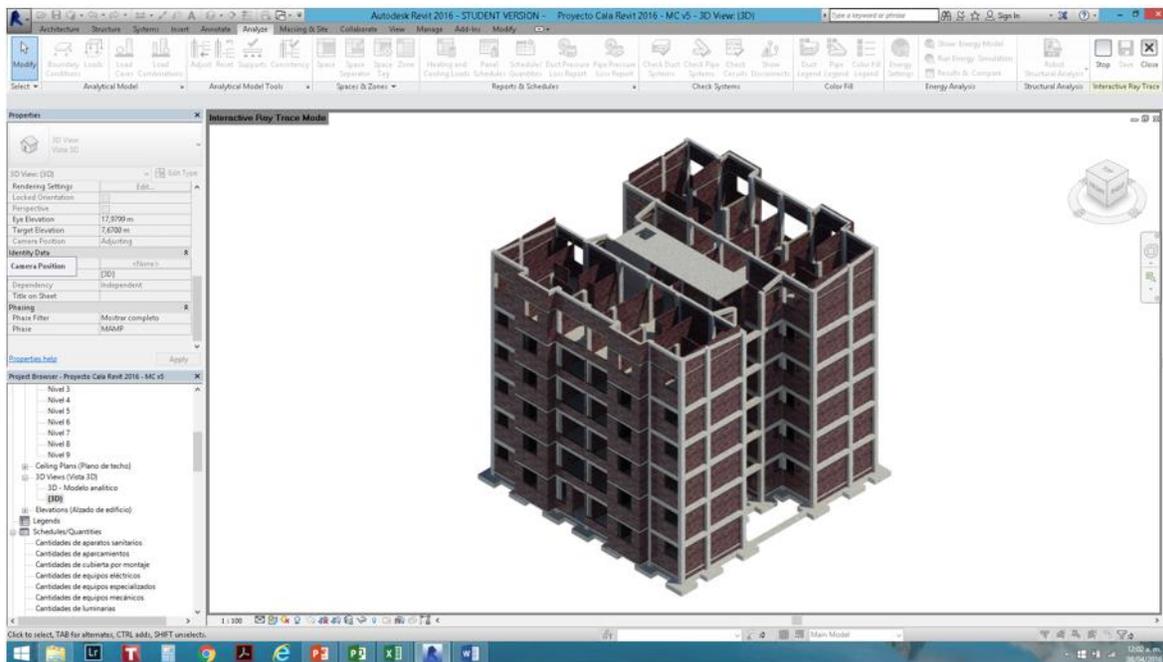


Figura 33. Modelo creado en ETABS para MC.

Por último, se ajustaron los muros de mampostería de acuerdo a la ubicación de las columnas, quedando el modelo BIM completado en su fase de mampostería, como se puede ver en la figura 34.



**Figura 34. Modelo BIM en Revit con fase de mampostería completada para MC.**

### 2.3.4 Trabajo con software Tally.

El software Tally es un programa que funciona como un plug-in dentro de Revit, y que aparece en la pestaña *Add-ins* de Revit. Al abrir el programa Tally, lo primero que pregunta es el tipo de estudio a realizar. Para los tres casos se seleccionó “*Full building assessment*”. Se seleccionan todas las categorías que aparecen y también se seleccionan las fases creadas en el Revit, que son: Cimentación, estructura y mampostería.

Posteriormente se verifica el material asignado para cada tipo de elemento. En este proceso, se debe incluir la cuantía de acero de refuerzo en barras o malla electrosoldada, según corresponda, para cada elemento estructural en concreto. En la figura 35 hay un pantallazo de la asignación de tipo de concreto y cuantía de acero de refuerzo para una viga de cimentación del modelo BIM en SI.

Para un muro en mampostería, se definen parámetros adicionales tales como porcentaje de volumen sólido del volumen total del ladrillo, espesor de las juntas del mortero de pega, refuerzo de la mampostería, y acabado, como se puede ver en la figura 36. El acabado no se tiene en cuenta para la presente investigación ya que solo se están estudiando las actividades que varían propiamente con el sistema constructivo, como quedó definido en los objetivos específicos.

**Figura 35. Datos introducidos en Tally para definición de materiales para una viga de cimentación del modelo BIM en SI.**

Por último, para la realización del cálculo y el informe por parte del software, se debe introducir información relativa a la durabilidad de la edificación, y el área de construcción. También se introduce información adicional como nombre de proyecto, objetivo del estudio, localización, etc., tal y como se visualiza en la figura 37.

Nótese que la opción de “*Operational energy*” (o energía operacional) se ha dejado sin selección. Para hacer uso de esta opción, el software pide que se seleccione de una lista plegable el país donde estará ubicado el proyecto, para estimar el GWP producto del consumo de energía dependiendo de las fuentes de energía de cada país, pero Colombia no aparece en este listado. No obstante, no se considera esto un problema para la presente investigación, teniendo en cuenta que Colombia no es un país de estaciones y el uso de un sistema constructivo u otro no incide de manera importante o significativa en el consumo de energía durante el periodo de uso de la edificación. Así mismo, las VIS en Colombia, incluido el proyecto de Cala, normalmente no incluyen la entrega de equipos mecánicos dentro de su dotación básica. Si se incluyeran equipos mecánicos dentro de las VIS, cobraría importancia el tipo de material usado en la envolvente de la edificación, pero este no es el caso para Colombia.

De todos modos, se debe recordar que según Ortiz et al (2010), Colombia tiene un GWP producto de la energía operacional de edificaciones mucho más bajo que otros países como España.

El anterior procedimiento fue realizado con los tres modelos BIM creados en Revit, uno para cada sistema constructivo.

Los informes son arrojados por Tally en archivos en formato PDF y Excel.

Tally® Environmental Impact Tool (NON-COMMERCIAL) - Proyecto Cala Revit 2016

Define Components and Quantity Takeoffs Save | Cancel

---

**Brick type**

Brick, generic Service Life: Default to building life

Takeoff Method: by Volume Density or % Solid: Manually Specify 45 % by vol

---

**Mortar type**

Mortar type N Service Life: 50 Years

Takeoff Method: by Volume Brick joint size: 1/2" joint 22,9946524 % by vol

---

**Reinforcement**

Steel, reinforcing rod Service Life:

Takeoff Method: by Area Masonry reinforcement: Low Reinforcing (#4 @ 48" on center) 0,815365415 kg/m<sup>2</sup>

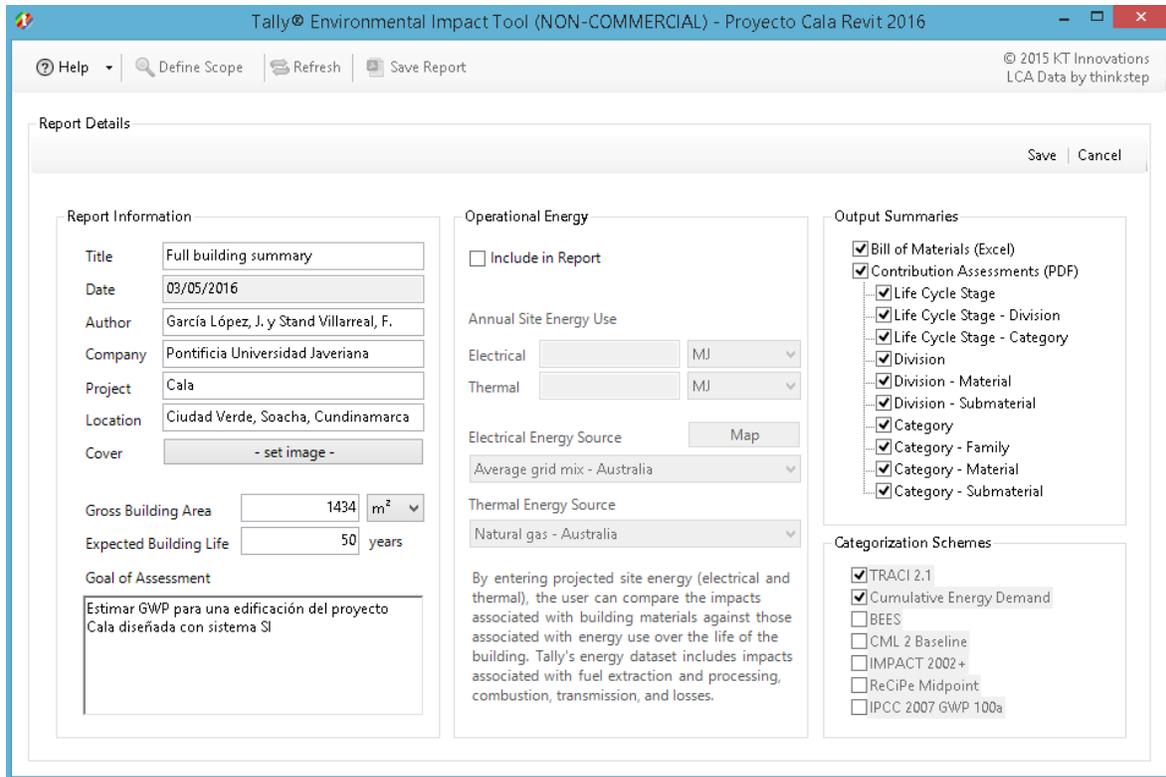
---

**Finish**

None Service Life: Default to building life

Takeoff Method: by Area Area Density: Fixed value 0 kg/m<sup>2</sup>

**Figura 36. Introducción de información en Tally para definición de materiales para muro de mampostería.**



**Figura 37. Introducción de información en Tally para realización de cálculos e impresión de informe, para modelo SI.**

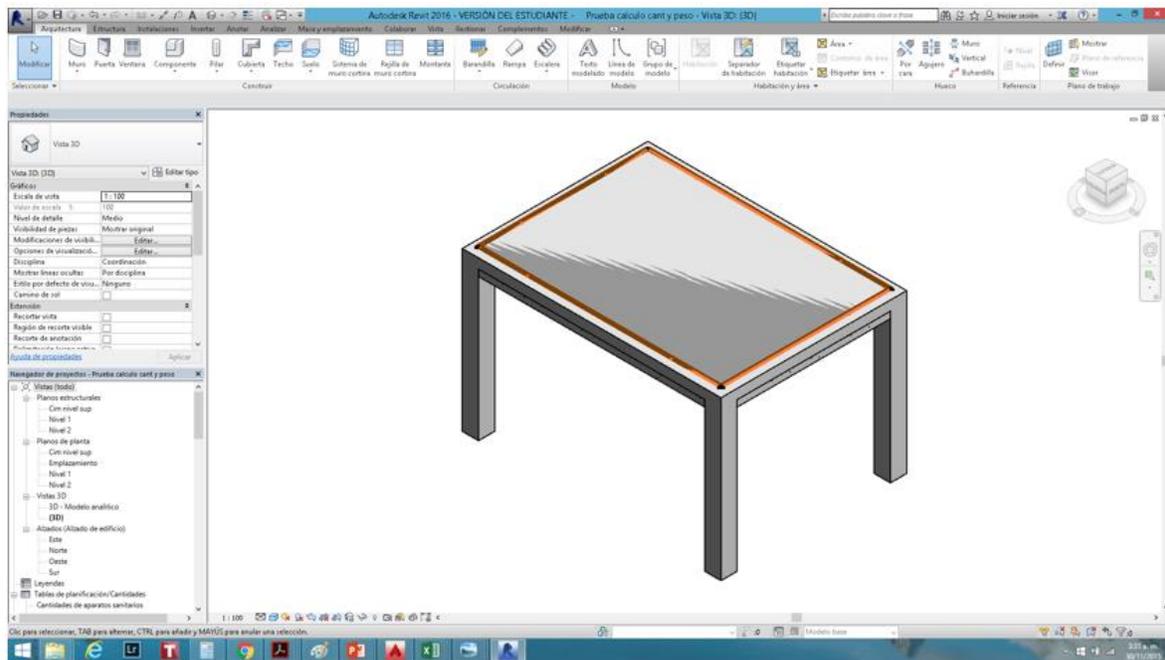
### 2.3.5 Costos de construcción para cada sistema constructivo

Para la elaboración del comparativo de costos entre los tres modelos, el constructor ofreció entregar el presupuesto de costos directos de una edificación del proyecto Cala, permitiendo así trabajar con la metodología *ceteris paribus*, que consiste en variar únicamente las variables puntuales mediante las cuales se desea observar un cambio en el presupuesto total, “manteniendo el resto igual” (Ministerio de Educación, ). Para este caso consiste en tomar el presupuesto tal y como viene, y solo variar las cantidades que se ven afectadas por el cambio de cantidades entre sistemas constructivos. Las cantidades de obra para cada modelo fueron extraídas del Revit. También se modificaron los costos asociados a la formaleta y equipos (e.g. torre grúa, equipos menores, etc.) requeridos para cada sistema constructivo de acuerdo al área de contacto de cada diseño y los tiempos requeridos de los equipos de acuerdo a la estimación de tiempos realizada para cada uno de los tres modelos elaborados.

Para estar seguros de que Revit calcula cantidades exactas, se hizo un ejercicio sencillo creando un modelo de una estructura de 4 columnas, una losa maciza y vigas entre columnas, tal y como se puede ver en la figura 38. Se exportó el modelo a Robot y se montó el mismo modelo en ETABS.

Las cantidades de obra calculadas a mano del modelo anterior fueron exactamente iguales a las arrojadas por Revit. Por el contrario, los pesos de concreto de los modelos de Robot y

ETABS, fueron superiores al obtenido con las cantidades de Revit o el cálculo manual, demostrando así la precisión de Revit para el cálculo de cantidades. Lo anterior se debe a que los softwares estructurales son modelos analíticos que toman los elementos lineales como alambres sin área transversal y las losas y muros como elementos planos sin espesor, por tanto al calcular volúmenes no genera intersecciones entre elementos. Diferente sucede con Revit, el cual sí considera las intersecciones de volumen entre elementos, arrojando cantidades reales de obra.



**Figura 38. Ejercicio para verificación de cálculo de cantidades.**

La estimación de costos y el comparativo entre los tres sistemas constructivos fueron realizados solo con los costos directos.

### 2.3.6 Tiempos de construcción para cada sistema constructivo

Para la estimación de los tiempos de construcción para cada uno de los tres modelos, se desarrollaron cronograma de acuerdo a la información disponible, para las actividades de cimentación, estructura y mampostería.

Para la edificación mediante sistema SI, se partió de la programación en *Microsoft Project* suministrada por el constructor para el proyecto Cala. Primero, se debe tener en cuenta que los cronogramas son realizados en la compañía mediante la técnica de estimación análoga definida por el Project Management Institute (PMI) (2013), teniendo en cuenta que para cada cronograma se parte de información de otros proyectos VIS anteriores con diseños muy semejantes, reduciendo la incertidumbre de esta técnica. También, por supuesto, son complementados de acuerdo al juicio de expertos realizado por los profesionales a cargo de perfeccionar cada cronograma. Esto le agrega subjetividad a la realización de cada

cronograma, y por ende, para minimizar este efecto en los cronogramas desarrollados para la presente tesis, se estimaron los tiempos de construcción para los otros sistemas (ME y MC) partiendo de los cronogramas de proyectos similares por sistema constructivo dentro de la misma compañía.

Para el caso del sistema SI, se tomó la programación del proyecto suministrada por el constructor, y se revisó que su secuencia y duraciones estuvieran acorde con la formaleta tipo Outinord disponible para la obra (compuesta por banches y mesas), que consistió en el equipo completo para fundir la estructura de muros y losa maciza de dos apartamentos completos, fundiendo dos edificaciones simultáneas con la misma formaleta, tal y como se muestra en la figura 39. En esta figura, se observa la secuencia constructiva que comúnmente usa la empresa para la construcción de VIS mediante SI, que consiste en fundir los muros y losa de dos apartamentos por cada día trabajado. El esquema de la figura 39 está construido considerando días calendario y trabajo de lunes a sábado.

Piso	Elemento	Torre 1				Torre 2			
		01	02	03	04	04	03	02	01
	Placa								
Piso 4	Muros								
	Placa					13° día	12° día		
Piso 3	Muros	13° día	12° día			11° día	10° día		
	Placa	11° día	10° día			9° día	8° día		
Piso 2	Muros	9° día	8° día			6° día	5° día		
	Placa	6° día	5° día			4° día	3° día		
Piso 1	Muros	4° día	3° día			2° día	1° día		

Nota: las casillas de un mismo color corresponden a una misma semana

**Figura 39. Días calendario por sistema constructivo por torre (García López, 2005)**

Es con ese rendimiento ideal que se basa el cronograma entregado por el constructor y el cual se toma para desarrollar el cronograma para la construcción de la edificación mediante SI.

El proyecto Cala consta de 23 edificaciones, de las cuales 17 son iguales a la seccionada para la presente tesis y 16 serán construidas en parejas simultáneamente. De estas 16 edificaciones, se extrajo del cronograma del constructor, la duración estimada promedio para las actividades de la tabla 2, las cuales coinciden con la figura 39 y con las cuales se desarrolla el cronograma para SI, en la figura 40. De acuerdo a la figura 40, el tiempo estimado para la construcción de un edificio del proyecto Cala mediante SI tomaría 55 días de trabajo.

Para los tres modelos diseñados, se tuvo en cuenta que la mampostería no estructural, no inicia hasta que no se termina la estructura.

<b>Actividad</b>	<b>Duración planeada (días)</b>
Armado, fundida de vigas y placa contrapiso	4
Fundida collarines (muros entre nivel superior de cimentación y nivel superior de losa de contrapiso)	1
Rellenos manuales para nivelación	2
Fundida muro / piso	2
Fundida placa / piso	2
Mampostería fachada e interna / piso	4
Viga cubierta	2

**Tabla 2. Cálculos realizados a partir de duraciones estimadas para edificaciones SI de Cala**

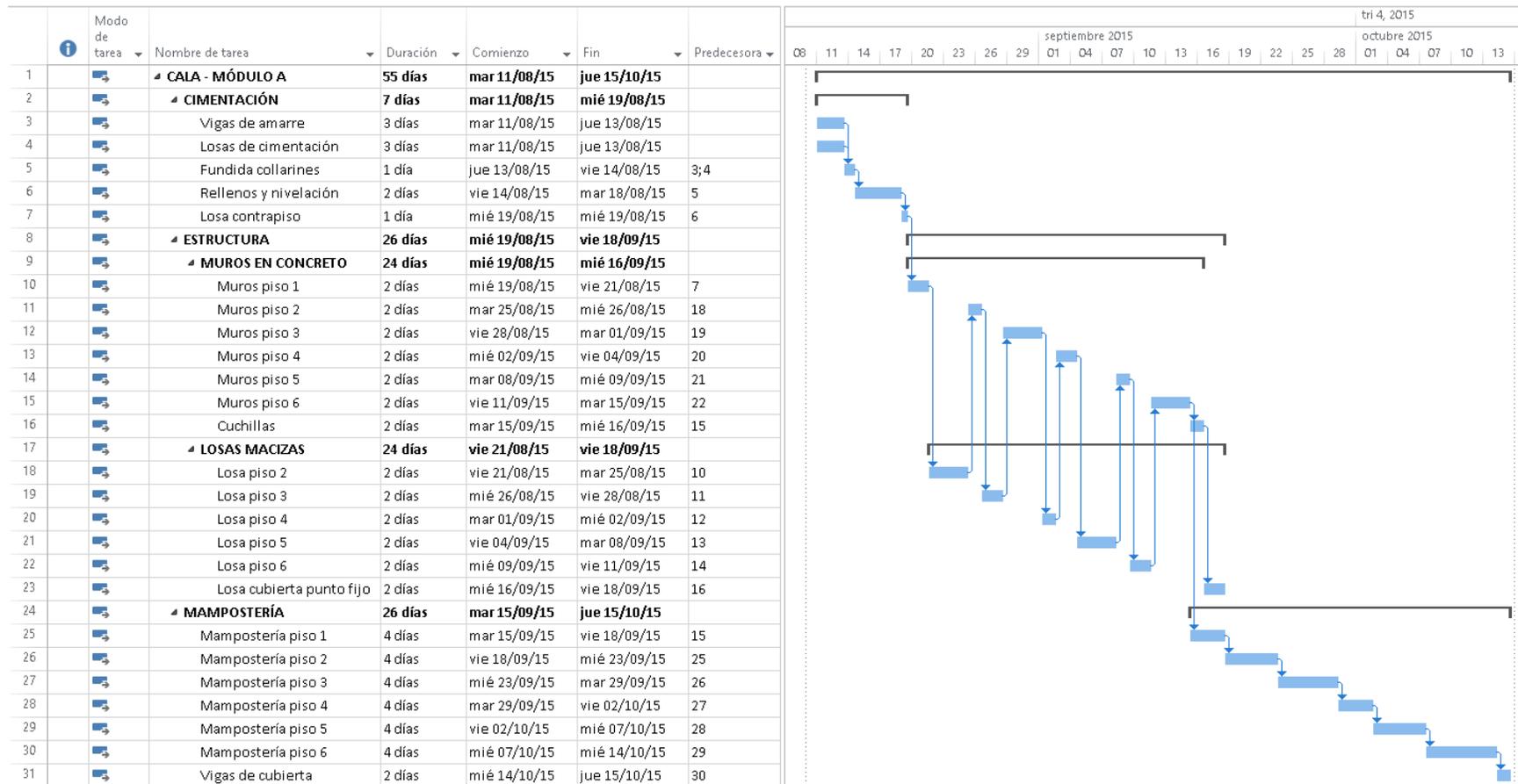
En cuanto a los tiempos de construcción para el sistema ME, teniendo en cuenta que la cimentación no se varió para este modelo, se deja la misma duración estimada para el SI.

Para estimar los tiempos de construcción de la estructura y mampostería mediante ME, se revisaron las duraciones de los cronogramas de dos proyectos VIS similares a Cala, que se construyeron mediante este sistema constructivo. La única diferencia relevante es que son edificaciones de 5 pisos, por tanto, posteriormente, de acuerdo al rendimiento promedio estimado para los 5 pisos, se sumó el tiempo promedio por piso, para el sexto piso. De estos proyectos, se calcularon las medidas de media, moda, mínimo y máximo en la tabla 3 para la duración total estimada de la estructura y mampostería de una edificación de 5 pisos, en ME.

<b>Medida</b>	<b>Actividad</b>	<b>Duración planeada (días)</b>
MEDIA	ESTRUCTURA Y MAMPOSTERÍA	58
MODA	ESTRUCTURA Y MAMPOSTERÍA	54, 62
MÍNIMO	ESTRUCTURA Y MAMPOSTERÍA	54
MÁXIMO	ESTRUCTURA Y MAMPOSTERÍA	62

**Tabla 3. Cálculos realizados con duraciones estimadas para estructura y mampostería de edificación en ME, de proyectos VIS semejantes a Cala del mismo constructor**

De acuerdo a la tabla 3, se puede concluir que la media de 58 días para la construcción de la estructura de 5 pisos en ME es una medida acertada, teniendo en cuenta que la moda coincide con las duraciones máxima y mínima. No obstante, este tiempo corresponde a la construcción de una edificación de apartamentos VIS de 62,6 m<sup>2</sup> de construcción, mientras que los apartamentos del proyecto Cala son de 53,8 m<sup>2</sup>, por tanto se aplica un factor de 85.94% a la media calculada, para basar la estimación del tiempo en la técnica de estimación paramétrica definida por el PMI (2013), lo que da una duración de 50 días para la construcción de una edificación VIS de 5 pisos, semejante a Cala, en ME. Es decir, 10 días de trabajo por cada piso, lo que da una duración total estimada para la estructura y mampostería de 60 días para la edificación de 6 pisos diseñada en ME.



**Figura 40. Cronograma desarrollado para construcción de una edificación típica del proyecto Cala, en SI.**

Para poder cumplir con los tiempos descritos en el párrafo anterior para la construcción de la estructura en ME de una edificación VIS como las del proyecto Cala, es necesario iniciar la colocación de cimbra y formaleta o equipo requerido para el armado de la losa a medida que se van terminando espacios de la ME, de manera que cuando se termine la ME de un piso, solo falte cimbrar una parte pequeña y al día siguiente se puede iniciar con la colocación del acero de refuerzo sobre la formaleta de la losa.

Si la relación de tiempo de fundida de muros en SI vs. muros en ME es de 1 a 2.5, se asume que la construcción de los muros entre el nivel superior de la cimentación hasta el nivel de inicio de la estructura, o nivel superior de la losa de contrapiso, en ME, tomaría 3 días.

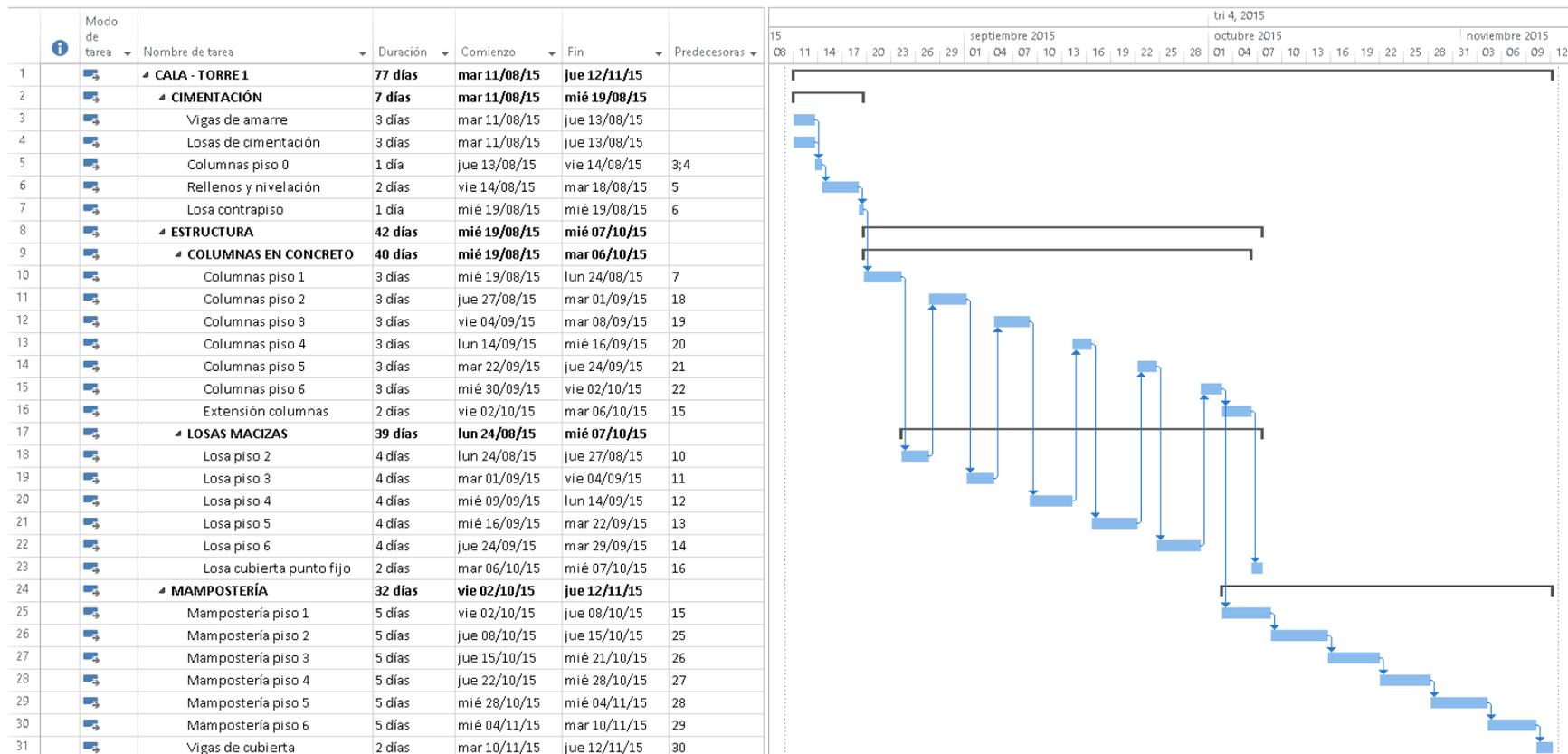
Sumando el tiempo estimado para la cimentación y relleno manual de nivelación de la tabla 2 (4 + 2 días, respectivamente), las duraciones estimadas para la estructura y mampostería del edificio en ME (60 días), más los 3 días estimados en el paso anterior, se estima que la duración total para la construcción de la cimentación, estructura y muros divisorios y de fachada de un edificio del proyecto Cala en ME sería de 69 días.

Para la estimación de los tiempos de construcción de la edificación del proyecto Cala en MC, se toma el cronograma de un proyecto reciente en MC (o sistema tradicional) de la misma empresa, para extraer las duraciones por actividad en cada piso y se le aplica el factor por m<sup>2</sup> de construcción, para obtener las duraciones a través de la técnica de estimación paramétrica definida por el PMI (2013), obteniendo así las duraciones de la tabla 4 por cada piso de la edificación en MC.

<b>Actividad</b>	<b>Duración planeada (días)</b>
Columnas y muros /piso	3
Placas / piso	4
Mampostería / piso	5

**Tabla 4. Duraciones estimadas por actividades para MC**

A partir de las duraciones de la tabla 4, se desarrolla el cronograma de la figura 41 para la construcción de la cimentación, estructura y mampostería de la edificación del proyecto Cala en MC.



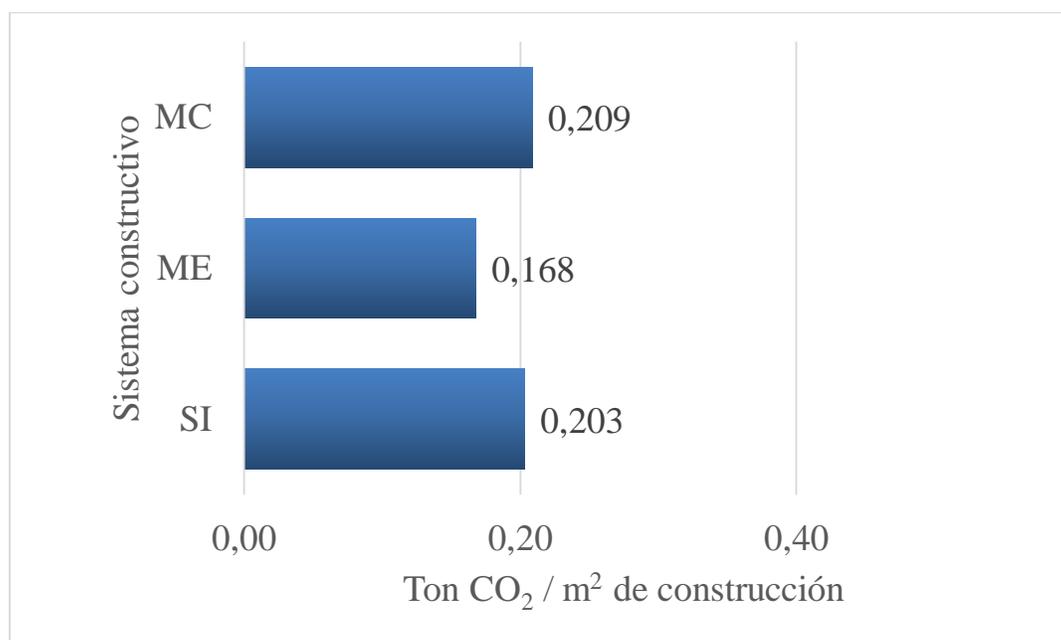
**Figura 41. Cronograma desarrollado para construcción de edificación mediante MC.**

### 3. Resultados y análisis.

#### 3.1 Huella de carbono

Los informes de resultados del software Tally para cada modelo BIM se encuentran como anexos de la presente tesis, de la siguiente manera: El **anexo 1** corresponde al informe para el SI, el **anexo 2** corresponde al informe para la ME, y el **anexo 3**, corresponde al informe para la MC.

Los informes de resultados de Tally arrojan los resultados de HdC total por edificación en todo su ciclo vida. Para efectos de la presente tesis, estos resultados se han consolidado por m<sup>2</sup> de construcción en la figura 42.



**Figura 42. Comparativo de HdC por sistema constructivo.**

De acuerdo a la figura 42, los sistemas SI y MC tienen una HdC significativamente superior a la ME, para este estudio de caso. Por cada m<sup>2</sup> construido de una edificación del proyecto Cala, se evitaría 35 kg CO<sub>2</sub>-eq. Construir un edificio del proyecto Cala mediante ME, evitaría la emisión de 50,88 ton CO<sub>2</sub>-eq por cada edificio, y teniendo en cuenta que son 23 edificaciones similares en este proyecto, se ahorrarían en total 1170,24 ton CO<sub>2</sub>-eq si todas las edificaciones del proyecto se construyeran con ME. Esto representa el 17,5% de las emisiones de CO<sub>2</sub> producto de todo el ciclo de vida de las edificaciones del proyecto Cala. Esto equivale a las emisiones de GEI producidas por 280 personas promedio en Colombia durante el año 2012, según cifras del CAIT Climate Data Explorer (2015), o a la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida por la combustión de 120.528 galones de gasolina (Abraham, 2009).

Teniendo en cuenta que durante el año 2015, el área iniciada para construcción de VIS en Colombia fue de 4.213.358 m<sup>2</sup>, de los cuales 1.190.663 m<sup>2</sup> fueron en MC y en 1.875.821 m<sup>2</sup>

en SI (CAMACOL, 2016), se hubieran evitado 114.470,9 ton CO<sub>2</sub>-eq si las áreas iniciadas en estos dos sistemas constructivos se hubieran construido en ME. Esto equivale al 0.06% de todas las emisiones de GEI producidas en Colombia durante el año 2012, incluyendo uso de suelo, y al 0,73% de todas las emisiones del sector de construcción y manufactura producidas en Colombia durante el año 2012, de acuerdo a cifras de CAIT Climate Data Explorer (2015).

De los reportes de Tally, se pueden leer la siguiente información clave sobre el ACV realizado por el programa: La unidad funcional del ACV realizado por Tally es la superficie útil del edificio en estudio. El alcance del ACV realizado por Tally incluye el ciclo de vida completo *cradle-to-grave* (de la cuna a la tumba), incluyendo manufactura, mantenimiento y reemplazo de los materiales, y el fin de vida (disposición final), incluyendo los materiales y energía usada a lo largo de todas las fases del ciclo de vida de la edificación, exceptuando la energía operacional, la cual fue excluida intencionalmente de acuerdo a como fue explicado previamente. Los reportes de Tally, hacen las siguientes precisiones detalladas sobre el alcance del ACV realizado por el programa:

- Incluye el transporte desde su extracción hasta manufactura.
- Excluye transporte de proveedor a lugar de instalación y hacia lugar de disposición final.
- Excluye materiales de empaque de insumos.
- Excluye infraestructura (edificaciones y maquinaria) para manufactura de materiales.
- Usa información de la base de datos de GaBi 6.
- El programa usa información de Estados Unidos del año 2013.
- La metodología de Tally es consistente con la norma ISO 14040-14044.
- Usa por defecto los protocolo de caracterización TRACI 2.1. y *Cumulative Energy Demand*, tal y como se puede ver en la figura 37.

Específicamente por materiales, el informe hace las siguientes advertencias:

- Ladrillo, morteros y concreto: Se asume que se recicla 50% como agregado grueso y el otro 50% se dispone como material inerte.
- Barras de refuerzo: Se asume que se recicla el 70% como chatarra y el 30% restante se dispone como material inerte.
- Mallas electrosoldadas: Se asume que se recicla el 98% como chatarra y el 2% restante se dispone como material inerte.

Las variables anteriores no se pueden modificar en el software Tally y por ende se deben tener presentes como restricciones o limitaciones del programa. También es importante tener presente las limitaciones expuestas por Ortiz et al. (2009) para esta clase de estudios, ya que los resultados de la HdC son muy sensibles a las suposiciones que realice el investigador y al diseño estructural.

### **3.2 Costos de construcción**

De acuerdo con la metodología *ceteris paribus* implementada con el presupuesto entregado por el constructor y las cantidades de obra arrojadas por Revit, se obtiene la tabla 5.

	<i>SI<sub>Marval</sub></i>	<i>SI</i>	<i>ME</i>	<i>MC</i>
Edificio total	\$ 843,404,094	\$ 830,034,756	\$ 816,496,844	\$ 851,062,863
Costo/ vivienda	\$ 35,141,837	\$ 34,584,781	\$ 34,020,702	\$ 35,460,953
Costo / m <sup>2</sup>	\$ 653,194	\$ 642,840	\$ 632,355	\$ 659,126
Porcentaje:		<i>SI<sub>Marval</sub></i> – 1,59%	SI – 1,63%	SI + 2,53%

**Tabla 5. Comparativo de costos directos de construcción.**

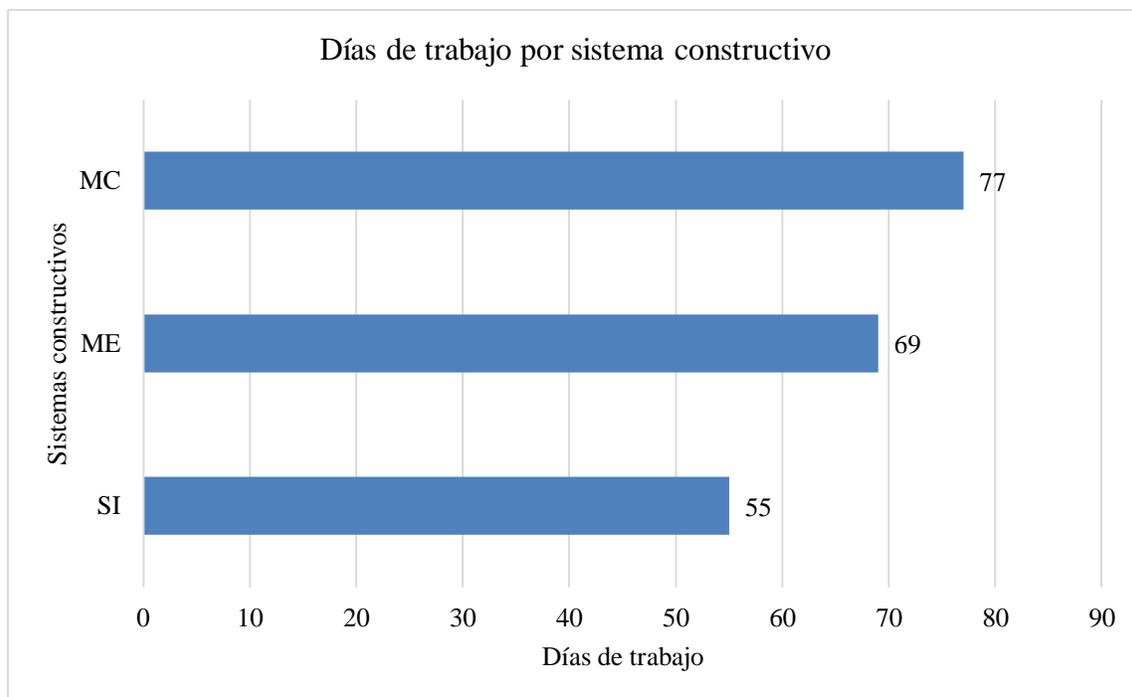
El presupuesto con cantidades actualizadas según BIM, disminuyó 1,59% con respecto al presupuesto para el mismo sistema SI del constructor. Lo anterior debido a mayor precisión de cantidades de obra, como se corroboró con el ejercicio de la mesa, y posiblemente a la eliminación de “holguras” en cantidades que el constructor puede manejar como porcentajes estimados de desperdicios.

La edificación en ME se estima que resultaría 1,63% menos costosa que el SI, mientras que mediante la MC se estima que resultaría 2,53% más costosa que mediante el SI, para la edificación VIS en estudio. El orden de tener la ME a un menor costo que el SI, y el SI a un menor costo que la MC, coincide con la experiencia del constructor.

### **3.3 Tiempos de construcción**

Considerando las restricciones y estimaciones realizadas para el desarrollo de los cronogramas de construcción de la cimentación, estructura y mampostería para cada sistema constructivo, los tiempos ideales de construcción de una torre de 6 pisos, de 4 apartamentos por piso, serían los de la figura 43 para cada sistema constructivo.

Los resultados de la figura 43, coinciden con el hecho de que el sistema SI es mucho más rápido, siempre y cuando no haya daños en la torre grúa, ya que este sistema, si usa formaleta Outinord, es 100% dependiente del buen estado de la torre-grúa. Hay registros de que un sistema SI con formaleta mano portable, puede ser más lento en su programación ideal, pero su ritmo de obra es constante, mientras que con formaleta Outinord, el ritmo de obra es mejor hasta que le surge un daño a la torre-grúa y se detiene por completo los trabajos en esas estructuras (García López, 2005). De ahí la importancia de que si se desea usar SI con formaleta Outinord, se le haga el mantenimiento preventivo a la torre-grúa con la debida periodicidad.



**Figura 43. Días de trabajo por sistema constructivo por torre.**

### 3.4 Resultados adicionales

#### 3.4.1 Otros impactos ambientales estimados por Tally

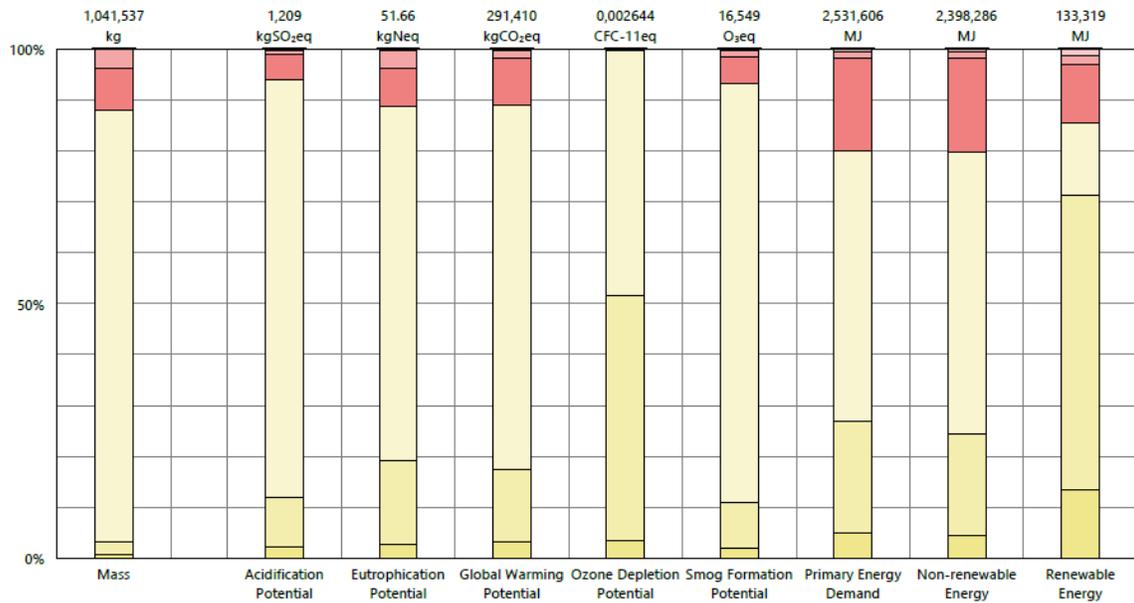
Si bien del software Tally se obtuvo el GWP, no es el único indicador de impacto ambiental que se puede obtener de este software. Tally presenta información sobre el AP, EP, GWP, ODP, potencial de formación de smog y demanda de energía primaria, energía no renovable y energía renovable. En la figura 44 se puede ver una gráfica de todos los impactos ambientales que muestra el Tally para un modelo BIM en Revit. En este caso, corresponde al SI.

En la figura 45 está la misma gráfica anterior para el sistema ME y en la figura 46 para el sistema MC.

En la tabla 6, se consolidan los resultados de todos los indicadores anteriores para los tres modelos BIM, generando un comparativo que permite tener una idea de cuál es el sistema constructivo que genera mayor y menor impacto ambiental de los tres sistemas que abarcan el 99% de la construcción de VIS en Colombia, no solo considerando el GWP, si no todos los indicadores que calcula el software Tally.

De acuerdo a la tabla 6, un edificio del proyecto Cala construido con ME tendría un impacto ambiental mucho menor que los otros sistemas, de acuerdo al ACV realizado por Tally.

Se puede apreciar como en la figura 44, que corresponde al SI, el impacto producto de la estructura, abarca una porción más grande en los impactos, que en los demás sistemas, pero que se compensa con una menor mampostería, teniendo como resultado que la HdC total de este sistema para un edificio del proyecto Cala sea levemente menor que con el sistema MC.



Legend

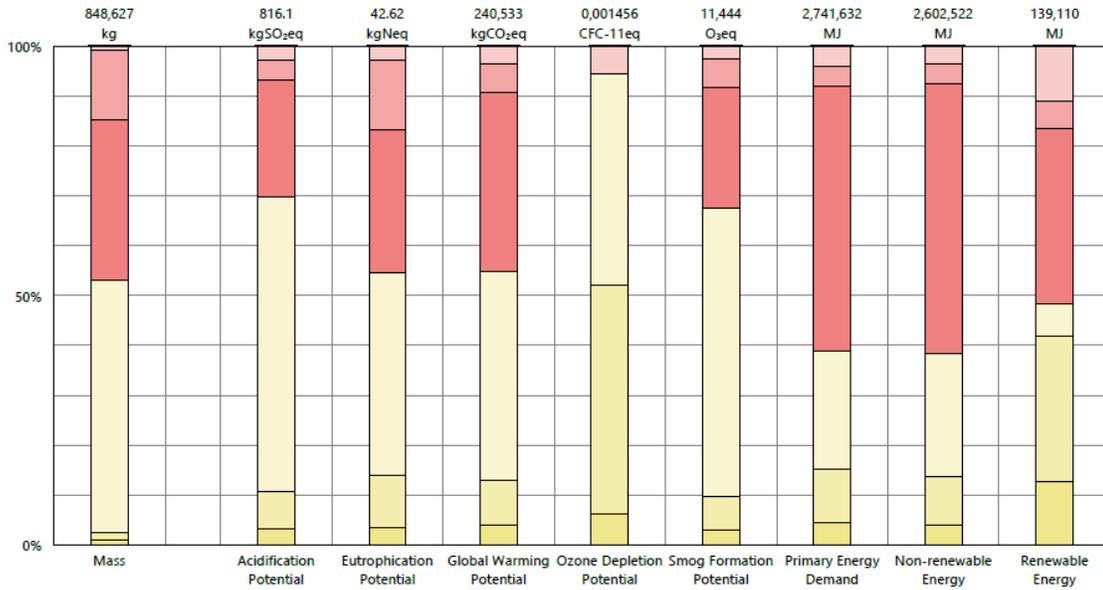
03 - Concrete

- Steel, reinforcing rod
- Steel, welded wire mesh
- Structural concrete, 3000 psi, generic

04 - Masonry

- Brick, generic
- Mortar type N
- Steel, reinforcing rod

**Figura 44.** Gráfica de resultados de Tally, de impactos ambientales por materiales para SI.



Legend

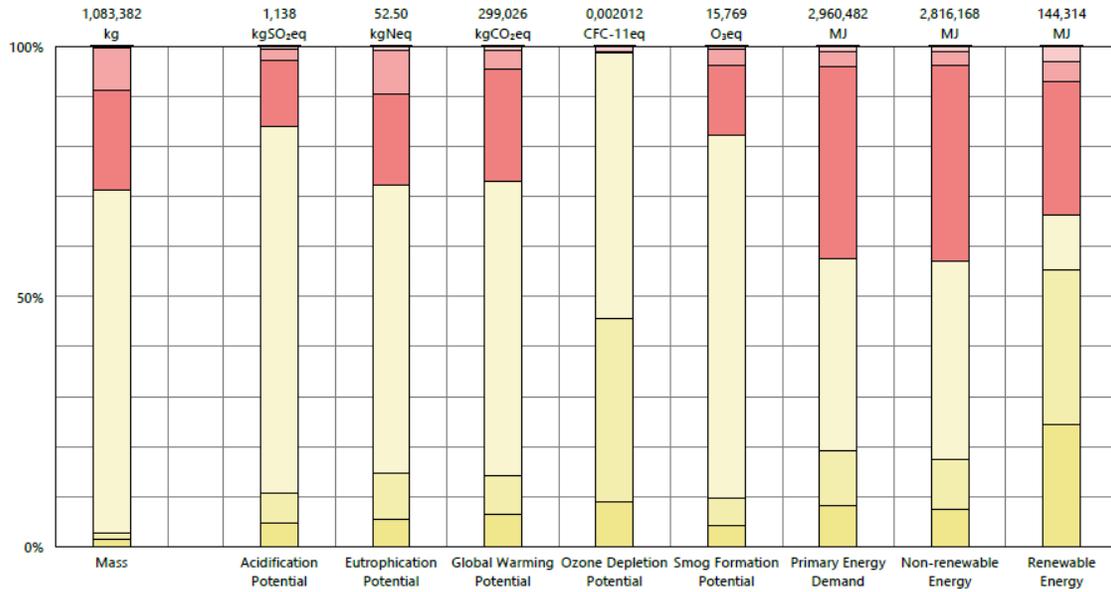
03 - Concrete

- Steel, reinforcing rod
- Steel, welded wire mesh
- Structural concrete, 3000 psi, generic

04 - Masonry

- Brick, generic
- Mortar type N
- Steel, reinforcing rod

**Figura 45. Gráfica de resultados de Tally, de impactos ambientales por materiales para ME.**



**Legend**

- 03 - Concrete**
  - Steel, reinforcing rod
  - Steel, welded wire mesh
  - Structural concrete, 3000 psi, generic
- 04 - Masonry**
  - Brick, generic
  - Mortar type N
  - Steel, reinforcing rod

**Figura 46. Gráfica de resultados de Tally, de impactos ambientales por materiales para MC.**

Indicadores de impacto ambiental por m <sup>2</sup> de construcción									
Sistema constructivo	Masa	AP	EP	GWP	ODP	Potencial de formación de smog	Demanda de energía primaria	Energía no renovable	Energía renovable
	kg	kg SO <sub>2</sub> -eq	kg N-eq	kg CO <sub>2</sub> -eq	CFC-11 eq	O <sub>3</sub> -eq	MJ	MJ	MJ
MC	755.5	0.79	0.04	208.53	1.40E-06	11.00	2,064.49	1,963.85	100.64
ME	591.8	0.57	0.03	167.74	1.02E-06	7.98	1,911.88	1,814.87	97.01
SI	726.3	0.84	0.04	203.21	1.84E-06	11.54	1,765.42	1,672.44	92.97

**Tabla 6. Resultados de Tally consolidados por sistema constructivo, de impactos ambientales por materiales.**

### 3.4.2 Comparación de derivas entre sistemas constructivos

Aprovechando el hecho de que para esta investigación se diseñó para una misma solución de vivienda, dos estructuras con sistemas constructivos alternativos y se verificaron las derivas del diseño estructural entregado por el constructor, se pudo hacer un comparativo de derivas, para hacer algunos análisis adicionales.

En la tabla 7 se encuentra un cuadro con las derivas calculadas para las tres estructuras diseñadas para una edificación del proyecto Cala en Soacha. Partiendo de los datos de esta tabla, se elabora la gráfica de la figura 47, dividiendo la deriva máxima por el porcentaje máximo permitido por la norma, teniendo en cuenta que la limitación de derivas para el sistema ME, según la NSR-10, es la mitad que para los otros dos sistemas

TABLA DERIVAS			ME	SI	MC
PISO	Caso Carga	Ubicación	Deriva	Deriva	Deriva
PISO6	SISMOX Max	70	0.191%	0.105%	0.068%
PISO6	SISMOY Max	233	0.106%	0.058%	0.219%
PISO5	SISMOX Max	70	0.191%	0.105%	0.072%
PISO5	SISMOY Max	227	0.108%	0.059%	0.341%
PISO4	SISMOX Max	70	0.181%	0.099%	0.071%
PISO4	SISMOY Max	233	0.103%	0.057%	0.443%
PISO3	SISMOX Max	70	0.156%	0.085%	0.065%
PISO3	SISMOY Max	233	0.090%	0.050%	0.511%
PISO2	SISMOX Max	70	0.113%	0.062%	0.054%
PISO2	SISMOY Max	233	0.067%	0.037%	0.527%
PISO1	SISMOX Max	35	0.050%	0.027%	0.033%
PISO1	SISMOY Max	17	0.031%	0.017%	0.385%

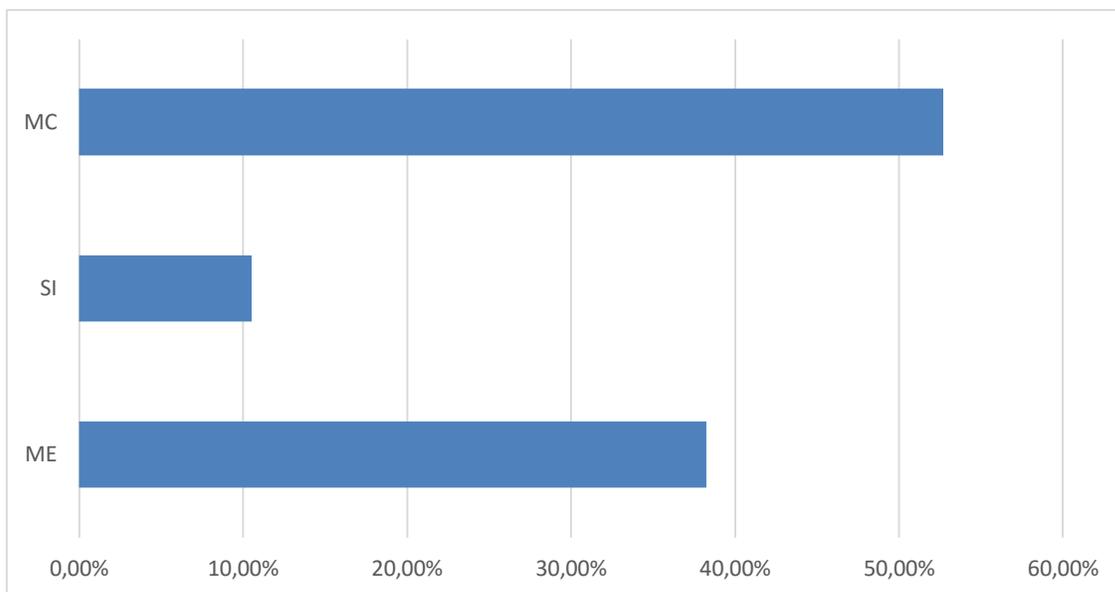
MAX	0.191%	0.105%	0.527%
MIN	0.031%	0.017%	0.033%

NORMA	0.50%	1.00%	1.00%
-------	-------	-------	-------

**Tabla 7. Comparativo de derivas entre diseños estructurales realizados para un mismo edificio del proyecto Cala.**

En la figura 47 se puede ver que el sistema SI tiene derivas mucho menores que los otros dos sistemas estudiados, con respecto a la restricción de la NSR-10.

El sistema SI tiene menores derivas porque es un sistema estructural mucho más rígido que los otros dos, debido a su configuración de muros estructurales en concreto en ambos sentidos.



**Figura 47. Comparación de derivas por sistema estructural para proyecto Cala.**

#### 4. Discusión.

Si bien los resultados de HdC no coinciden con los resultados del informe del PNUD realizado por Salazar y Ecoingeniería S.A.S. (2012), se realiza el siguiente análisis con valores extraídos de la investigación realizada por Cadena et al. (2012). Según estos autores, de acuerdo a la tabla 8, el SI es el sistema que tendría la mayor HdC por vivienda. En esta tabla, MF significa “multifamiliar” y UF significa “unifamiliar”.

Bogotá		Cantidad por prototipo (Kg)				CO2e (ton/vivienda)					
		Cemento	Acero	Ladrillo	Vidrio	Cemento	Acero	Ladrillo	Vidrio	Total	
VIS	MF	MC	5,160	947	8,992	63	4	3	2	0.1	9
		ME	5,160	947	8,992	63	4	3	2	0.1	9
		I	8,759	2,025	1,796	145	6	6	0.4	0.2	13
	UF	MC	3,770	1,102	8,596	194	3	3	2	0.3	8
		ME	4,058	834	10,351	194	3	2	2	0.3	8
		I	5,038	873	131	194	4	3	0.03	0.3	6

**Tabla 8. Toneladas de CO<sub>2</sub>-eq promedio por unidad de vivienda en Bogotá (Cadena et al., 2012).**

Teniendo en cuenta los factores de la tabla 9, y la masa total de cada material (medida en kg) que arroja el informe de Tally para el ladrillo, mortero, acero de refuerzo, malla electrosoldada y el concreto, que se muestran en la tabla 10, se puede calcular manualmente los kg CO<sub>2</sub>-eq/ kg de material instalado, y totalizar para comparar con las huellas de carbono arrojadas por Tally.

Materiales	CO2e (ton CO2/ton material)		
	Consumo energía	Procesos productivos	Total producción
Cemento	0.31	0.38	0.69
Acero	0.35	2.59	2.94
Ladrillo	0.23	0.00	0.23
Vidrio	1.27	0.20	1.47

**Tabla 9. Factores de emisión por producción de materiales (Cadena et al., 2012).**

Material	SI	ME	MC
Ladrillo	85,939.10	273,658.50	214,792.60
Mortero	37,327.10	118,861.80	93,293.80
Acero de refuerzo	8,325.00	13,941.00	16,649.30
Malla electrosoldada	26,259.90	13,825.50	15,259.80
Concreto	883,685.60	428,340.10	743,386.90

**Tabla 10. Masa por material en una torre de 24 apartamentos del proyecto Cala, medido en kg.**

Se realizan los cálculos por torre, por vivienda y por m<sup>2</sup> de construcción, de acuerdo a la tabla 11, y se puede verificar que se obtienen valores muy similares a los obtenidos directamente del software Tally. Independientemente del resultado por sistema constructivo, el análisis anterior confirma que el software Tally puede arrojar resultados de la HdC acorde con el ACV por materiales que se realiza tradicionalmente.

También, en la tabla 11 se puede ver la masa total en kg para cada sistema constructivo. La edificación con sistema MC es la más pesada y así mismo la de mayor HdC. Por el contrario, la ME es el sistema más liviano (el que tiene menos masa) y así mismo, es el que tiene la menor HdC. Lo anterior, coincide con lo expuesto por Hacker (2008), con respecto a que un sistema constructivo con más masa o más pesado, es el que se espera que tenga la mayor HdC.

En la misma dirección, el modelo BIM en ME presenta la menor cantidad de cemento (sumando el del concreto y morteros), y así mismo, es el sistema que tiene la menor HdC, coincidiendo con los resultados de varios estudios en donde se ha concluido que el concreto es el material que aporta el mayor impacto ambiental (Blengini, 2009; Ortiz-Rodríguez et al., 2012; Ortiz-Rodríguez et al., 2010) debido a que su componente esencial, el cemento, es un gran aportante de CO<sub>2</sub> a nivel global (Dong & Ng.).

**MASA POR TORRE DE 24 APARTAMENTOS (kg):**

	SI	ME	MC
Ladrillo	85,939.10	273,658.5	214,792.60
Mortero	37,327.10	118,861.8	93,293.80
Acero de refuerzo	8,325.00	13,941.0	16,649.30
Malla electrosoldada	26,259.90	13,825.5	15,259.80
Concreto	883,685.60	428,340.1	743,386.90
	<b>1,041,537</b>	<b>848,627</b>	<b>1,083,382</b>

**kg CO<sub>2</sub>-eq /torre:**

	SI	ME	MC
Ladrillo	19,765.99	62,941.46	49,402.30
Mortero	6,438.92	20,503.66	16,093.18
Acero de refuerzo	24,475.50	40,986.54	48,948.94
Malla electrosoldada	77,204.11	40,646.97	44,863.81
Concreto	182,922.92	88,666.40	153,881.09
	<b>310,807.44</b>	<b>253,745.03</b>	<b>313,189.32</b>

**MASA POR VIVIENDA (kg):**

	SI	ME	MC
Ladrillo	3,580.80	11,402.4	8,949.69
Mortero	1,555.30	4,952.5	3,887.24
Acero de refuerzo	346.88	580.8	693.72
Malla electrosoldada	1,094.16	576.0	635.83
Concreto	36,820.23	17,847.5	30,974.45
	<b>43,397.4</b>	<b>35,359.5</b>	<b>45,140.9</b>

**kg CO<sub>2</sub>-eq /vivienda:**

	SI	ME	MC
Ladrillo	823.58	2,622.56	2,058.43
Mortero	268.29	854.32	670.55
Acero de refuerzo	1,019.81	1,707.77	2,039.54
Malla electrosoldada	3,216.84	1,693.62	1,869.33
Concreto	7,621.79	3,694.43	6,411.71
	<b>12,950.31</b>	<b>10,572.71</b>	<b>13,049.56</b>

**MASA POR M<sup>2</sup> DE CONSTRUCCIÓN (kg):**

	SI	ME	MC
Ladrillo	59.93	190.84	149.79
Mortero	26.03	82.89	65.06
Acero de refuerzo	5.81	9.72	11.61
Malla electrosoldada	18.31	9.64	10.64
Concreto	616.24	298.70	518.40
	<b>726.32</b>	<b>591.79</b>	<b>755.50</b>

**kg CO<sub>2</sub>-eq /m<sup>2</sup> de construcción:**

	SI	ME	MC
Ladrillo	13.78	43.89	34.45
Mortero	4.49	14.30	11.22
Acero de refuerzo	17.07	28.58	34.13
Malla electrosoldada	53.84	28.35	31.29
Concreto	127.56	61.83	107.31
	<b>216.74</b>	<b>176.95</b>	<b>218.40</b>

**Tabla 11. Cálculos realizados de HdC por torre, por vivienda y por m<sup>2</sup> de construcción para caso estudio del proyecto Cala.**

En la realización del presente trabajo, se pueden hacer varias reflexiones:

- Los resultados de Salazar y Ecoingeniería S.A.S. (2012) distan del hecho de que los sistemas constructivos con mayor consumo de cemento, como lo es el SI, tiene más HdC, por tanto la coherencia entre la presente investigación y el estudio del Cadena et al. (2012) le restan credibilidad a ese resultado de Salazar y Ecoingeniería S.A.S. (2012).
- Los resultados de la presente tesis complementan lo expuesto por Hendry (2001), aumentando los beneficios de la ME con respecto a otros sistemas constructivos.
- El software Tally debería mostrar un indicador que consideramos es muy importante: el consumo de agua potable, porque fácilmente se puede calcular la cantidad de agua promedio requerida para la fabricación de un mortero de pega, arcilla para ladrillo, un

concreto o el acero, y que, normalmente, debido a requerimientos de pureza del agua para las mezclas, se usa agua potable para suplir este recurso. No se debe ignorar el hecho de que la industria de la construcción consume el 20% del agua potable (CCCS, 2014).

En cuanto al trabajo con BIM, también se pueden plasmar las siguientes lecciones aprendidas:

- Es indispensable revisar y ajustar modelo analítico de estructuras en BIM, para minimizar errores cuando se exporta a un software estructural, como Robot.
- El software *Tally* no permite definir tipo de material de elementos lineales (e.g. columnas, vigas) cuando se usa una versión de *Revit* en idioma diferente al inglés, por tanto se debe usar *Revit* en inglés, sin embargo, este problema se resuelve a partir de Revit 2016.
- Todos los programas BIM de Autodesk deben ser del mismo año para que modelos BIM sean completamente compatibles entre sí.
- El modelo que se importa desde Revit hacia Robot presenta una gran cantidad de errores en el momento que se manipula pues presenta problemas en los apoyos, como si no vinieran definidos, así como también problemas en la continuidad de los elementos y problemas en los puntos de conexión, lo que requiere realizar un trabajo de depuración de errores, poniendo apoyos, dando continuidad a elementos y realizando nuevas conexiones. Todo lo anterior, a pesar de haber revisado en el modelo analítico de Revit las conexiones entre nodos y los soportes en el modelo analítico, por tanto se considera que la interacción entre los dos programas tiene mucho potencial para mejorar.

## 5. Conclusiones

Se determinó que la ME es un sistema constructivo con menor HdC para la construcción de una VIS multifamiliar en Soacha, comparando entre los tres sistemas constructivos más usados en Colombia para construcción de VIS.

Así mismo, se determinó que los costos directos de la ME son inferiores que el SI en 1,63% para el caso estudio, mientras que los costos directos de la edificación en MC son mayores que el SI en 2,53%. En conclusión, se determinó que el sistema ME tiene costos directos de construcción menores que los otros dos sistemas para la construcción de una edificación del proyecto Cala en Soacha. El hecho de que la ME presente costos directos inferiores al SI, y el SI inferiores al MC, coincide con la experiencia del constructor.

Por otro lado, se estimó que el tiempo de construcción de una edificación del proyecto Cala en Soacha, sería de 55 días, mientras que para los otros dos sistemas sería de 69 días en ME y 77 días en MC, por ende, a través del SI se pueden construir edificaciones de VIS multifamiliar en menor tiempo que mediante los sistemas ME y MC, si se mantiene el rendimiento ideal, es decir, siempre y cuando no haya imprevistos con la torre grúa.

Considerando el comparativo de HdC y los demás resultados de impacto ambiental arrojados por Tally consolidados en la tabla 5, se puede concluir que un edificio del proyecto Cala construido con ME tendría un impacto ambiental significativamente menor que los otros dos sistemas usados comúnmente en Colombia para construcción de VIS (SI y MC). Teniendo en cuenta lo anterior, y que además sus costos son menores, este sistema constructivo podría ser beneficioso para empresas constructoras de VIS en Colombia, y así mismo, para el calentamiento global y para el medio ambiente en general.

También se puede concluir que el sistema MC, claramente, no es un sistema apropiado para VIS multifamiliar en altura, debido a que estas viviendas se caracterizan por tener espacios reducidos en su interior, y la MC requiere de columnas y vigas que reducen los espacios privados de la vivienda. Así mismo, su desempeño fue el peor frente a los demás sistemas en los tres comparativos realizados (HdC, costo y tiempo), y por ende, no debería existir motivación alguna para que un constructor se decida por este sistema constructivo para una VIS multifamiliar en altura.

Por último, se verificó que BIM permite encontrar diferencias en la HdC de diferentes sistemas constructivos para una misma edificación, producto de los materiales propios de cada sistema, de manera precisa. Estos resultados de HdC pueden variar dependiendo del diseñador estructural, ya que la cantidad de acero de refuerzo tiene un factor alto de kg CO<sub>2</sub>-eq / kg de material, tal y como se puede evidenciar en la tabla 9, pero lo más importante del resultado de esta investigación, es haber encontrado que a través de Tally sí se pueden obtener diferencias significativas entre diferentes sistemas constructivos para construcción de una VIS, a partir de un modelo BIM, permitiendo así a los diseñadores tomar decisiones ambientales certeras durante el diseño y pre-construcción del proyecto.

## 5.1 Beneficios de BIM

A continuación se relatan las conclusiones relativas a los beneficios del trabajo con BIM:

- Se encontraron 9 incoherencias entre planos arquitectónicos, estructurales y renders, confirmando uno de los principales beneficios de BIM, tal y como explica Eastman (2008).
- Se verificó que *Revit* cuantifica cantidades de obra de acuerdo a realidad, es decir, sin contar dobles volúmenes por intersecciones entre elementos.
- Las cantidades de obra usadas para calcular los pesos de las estructuras, en *Robot* y *ETABS*, dan valores superiores al peso calculado con las cantidades reales, ya que estos programas estructurales no restan las intersecciones generadas por los volúmenes de elementos conectados transversalmente entre sí.
- Las cantidades de obra del modelo BIM redujeron el presupuesto de la empresa en 1,59%, justificado en mayor precisión, de acuerdo a lo expuesto por Eastman (2008).

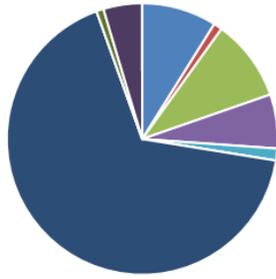
- El software Robot requiere de más de seis meses de estudio para poder ser trabajado con éxito en el diseño estructural de un edificio como el que se ha analizado, ya que debido a los vagos conocimientos previos en este software, se crearon muchas dudas en la veracidad de sus resultados, que tuvieron que ser verificados con un software alternativo, en este caso ETABS.

## **6. Recomendaciones para trabajos futuros**

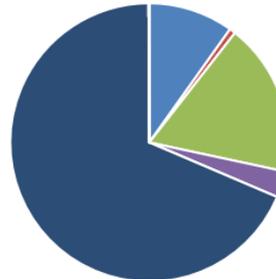
- Para tener una segunda verificación sobre la veracidad de los resultados de HdC arrojados por el Tally, debería hacerse un análisis de HdC tradicional, siguiendo estrictamente la metodología de ACV, para este mismo edificio, para comparar los resultados de la presente investigación con ese nuevo estudio.
- La comparación realizada entre los resultados obtenidos por medio del software ETABS, y los resultados obtenidos por medio del software Robot son bastante cercanos entre sí cuando se realizó el análisis de peso propio de una estructura básica, pero cuando se trabajó una estructura grande que incluyó cargas generadas por sismo, los resultados fueron bastante disímiles por lo que se recomienda que el tiempo de entrenamiento mínimo requerido en el software Robot debe ser de consideración.
- En algunos países se está volviendo obligatorio la implementación de herramientas BIM para la presentación de proyectos de construcción ante curadurías o entidades estatales semejantes, e.g. Reino Unido (Eadie, Browne, Odeyinka, McKeown, & McNiff, 2013). Teniendo en cuenta que el software Tally permite obtener información de impactos ambientales directamente a partir del modelo BIM, debería establecerse en un futuro cercano límites para estos impactos ambientales, bien sea por m<sup>2</sup> de construcción o unidad de vivienda.
- En Colombia debería reglamentarse el indicador de HdC para productos de industria y uso común o que hiciera parte del Sello Ambiental Colombiano, para poder hacer este tipo de estudios con indicadores locales.
- Para futuros trabajos con el software Tally en Colombia, se debe verificar si las nuevas versiones del software incluyen la energía operacional de Colombia dentro de las opciones. De no existir, se informa que dentro del soporte técnico que se recibió de los fabricantes del software Tally, se nos informó que dada la no inclusión de Colombia en el listado de opciones para estimación de la energía operacional en la versión actual, se podría seleccionar a Austria, considerando que tienen una distribución de fuentes de energía muy similar entre sí, como se puede verificar en la figura 48.

La continuidad de la investigación en temas relacionados con el impacto ambiental de la construcción, y en general, de la actividad humana, es de suma importancia y urgencia en todos los países, y en especial en países en desarrollo como Colombia, para poder tomar decisiones certeras y oportunas sobre el desarrollo de estos país y que reduciendo el impacto de la actividad humana en general, que nos lleve a garantizar un desarrollo sostenible de acuerdo a la definición de Brutland (1987).

Distribución de fuentes de energía en Austria (IEA, 2013).



Distribución de fuentes de energía en Colombia (IEA, 2013).



**Figura 48. Comparación de distribución de fuentes de energía entre Austria y Colombia (IEA, 2013).**

## 7. Agradecimientos

La presente tesis de investigación no hubiera sido posible sin el apoyo recibido por parte de las siguientes personas y organizaciones a quienes se agradece de manera especial:

- La empresa colombiana MARVAL S.A. por suministrar la información necesaria sobre el proyecto Cala para poder realizar este estudio.
- Autodesk Inc. por ofrecer programas gratuitos para la academia facilitando así la investigación.
- Mr. Roderick Bates, de la organización Kierantimberlake, por todo el apoyo técnico brindado siempre de manera oportuna sobre el programa *Tally*.
- Los asesores y evaluadores del anteproyecto y el trabajo de grado de la presente tesis de maestría, por sus valiosísimas y acertadas observaciones a lo largo de todo el proceso, que han llevado la calidad de este trabajo en constante aumento. (Abraham, 2009)

## 8. Referencias

Abraham, J. (2009). *What is one million metric ton of carbon dioxide-equivalent?*.

Retrieved from <http://www.southwestclimatechange.org/solutions/reducing-emissions/mmtco2-e>

Amarilo. (2015). *Conoce nuestros proyectos en venta*. Retrieved mayo 12, 2015, from

<http://www.amarilo.com.co/proyectos-en-venta-soacha/>

- Arena, A. P., & de Rosa, C. (2003). Life cycle assessment of energy and environmental implications of the implementation of conservation technologies in school buildings in Mendoza—Argentina. *Building and Environment*, 38(2), 359-368.  
doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00056-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00056-2)
- Autodesk. (2014). *High performance design – empowered by simulation*. Retrieved from [http://sustainability.autodesk.com/wp-content/uploads/2015/03/ADSK\\_HighPerformanceBuildingDesign.pdf](http://sustainability.autodesk.com/wp-content/uploads/2015/03/ADSK_HighPerformanceBuildingDesign.pdf)
- Autodesk Inc. (2015a). *Autodesk sustainability workshop*. Retrieved from <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/>
- Autodesk Inc. (2015b). *Materials life cycle assessment (tally)*. Retrieved from <http://sustainability.autodesk.com/available-solutions/tally/>
- Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241-252. doi:10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127
- Azhar, S., Carlton, W. A., Olsen, D., & Ahmad, I. (2011). Building information modeling for sustainable design and LEED ® rating analysis. *Automation in Construction*, 20(2), 217-224.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2012). *Estudio del BID: América Latina y el Caribe encaran creciente déficit de vivienda*. Retrieved marzo 16, 2015, from <http://www.iadb.org/es/noticias/comunicados-de-prensa/2012-05-14/deficit-de-vivienda-en-america-latina-y-el-caribe,9978.html>

Blengini, G. A. (2009). Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in turin, italy. *Building and Environment*, 44(2), 319-330.

doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.03.007>

Brundtland, G. H. (1987). *Report of the world commission on environment and development: Our common future*. Retrieved from <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>

Bynum, P., Issa, R. R. A., & Olbina, S. (2013). Building information modeling in support of sustainable design and construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(1), 24-34. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000560

Cadena, A., Vargas, H., Ozuna, A., Guevara, J., Espinosa, M., Ovalle, K. & Rodríguez, C. (2012). *Estimación curva de abatimiento de gases efecto invernadero sector vivienda urbana*. Retrieved abril 22, 2015, from <https://mesavis.uniandes.edu.co/Presentaciones%202012/Mesa%20VIS%20Septiembre%2020.pdf>

CAIT Climate Data Explorer. (2015). *Historical emissions*. Retrieved from

<http://cait.wri.org>

Cámara Colombiana de la Construcción. (2016). *Construcción en Cifras*. Retrieved abril

19, 2016, from <http://camacol.co/informacion-economica/cifras-sectoriales/construccion-en-cifras>

Chen, Z. M., & Chen, G. Q. (2011). An overview of energy consumption of the globalized world economy. *Energy Policy*, 39(10), 5920-5928.

doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.06.046>

Ciudad Verde. (2014). *Ciudad Verde*. Retrieved mayo 12, 2015, from

<http://ciudadverde.com.co/>

Colsubsidio. *Torres del camino*. Retrieved mayo 12, 2015, from

[http://publico2.colsubsidio.com:8081/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper  
&Itemid=104](http://publico2.colsubsidio.com:8081/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=104)

Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo-Resistentes.

(2010). In Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (Ed.), *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)*. Bogotá D.C., Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Coninsa Ramón H S.A. (2015). *Proyectos de vivienda en Cundinamarca: Proyectos de vivienda en Soacha Ciudad Verde*. Retrieved mayo 12, 2015, from

<http://www.coninsaramonh.com/coninsa/proyectos-soacha/bogota/proyectos-de-vivienda-en-soacha-ciudad-verde>

Consejo Colombiano de Construcción Sostenible [CCCS]. (2014). *Cambio climático y entorno edificado*. Retrieved Marzo 16, 2015, from

<http://www.cccs.org.co/construccion-sostenible/cambio-climatico-y-entorno-edificado>

Constructora Bolívar S.A. *Nuestros proyectos - Otros proyectos*. Retrieved mayo 12, 2015,

from <http://www.constructorabolivarbog.com/>

- Delta ingeniería S.A. (2013). *Provenza Imperial, Bogotá, Colombia*. Retrieved junio 17, 2016, from <http://www.delta-sa.com/#!provenza-imperial.-bogot%C3%A1,-colombia/zoom/iqg27/dataItem-ii7xqjjo1>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2005a). *Censo de edificaciones*. Retrieved mayo 12, 2015, from <http://www.dane.gov.co/index.php/construccion-en-industria/construccion/censo-de-edificaciones>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2005b). *Déficit de vivienda*. Retrieved marzo 16, 2015, from <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-sociales/deficit-de-vivienda>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2014). *Boletín técnico: Censo de Edificaciones IV trimestre de 2014*. Retrieved abril 22, 2015, from [http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ceed/bol\\_ceed\\_IVtrim14.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ceed/bol_ceed_IVtrim14.pdf)
- Dimoudi, A., & Tompa, C. (2008). Energy and environmental indicators related to construction of office buildings. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(1–2), 86–95. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.09.008>
- Dong, Y. H., & Ng, S. T. A life cycle assessment model for evaluating the environmental impacts of building construction in hong kong. *Building and Environment*, (0) doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.020>
- Eadie, R., Browne, M., Odeyinka, H., McKeown, C., & McNiff, S. (2013). BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis.

*Automation in Construction*, 36(0), 145-151.

doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.09.001>

Eastman, C. (1999). *Building product models: Computer environments, supporting design and construction* (1st ed.). Boca Raton, Florida, Estados Unidos: CRC Press.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). In John Wiley & Sons, Inc. (Ed.), *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. Hoboken, New Jersey, United States of America: Retrieved from <http://www.only4engineer.com/2014/10/bim-handbook-guide-to-building.html>

Espíndola, C., & Valderrama, J. O. (2012). Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. *Información tecnológica*, 23(1), 163-176.

Gamboa, C., & Medina, M. *Curvas de abatimiento para el sector construcción*. Retrieved mayo 12, 2015, from [http://issuu.com/legissa/docs/csostenible7\\_14a21](http://issuu.com/legissa/docs/csostenible7_14a21)

García López, J. (2005). *Calidad y eficiencia en construcción en sistema túnel*.

Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.

doi:<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2005/118684.pdf>;

Gómez, A. (2010). *Variables que afectan los costos directores en proyectos de vivienda de interés social: Análisis comparativo entre mampostería estructural y muros de concreto en formaleta manoportable*. (Universidad Nacional de Colombia, , 1-183.

Hacker, J. N., De Saulles, T. P., Minson, A. J., & Holmes, M. J. (2008). Embodied and operational carbon dioxide emissions from housing: A case study on the effects of thermal mass and climate change. *Energy and Buildings*, 40(3), 375-384.

doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.005>

Hajdukiewicz, M., Byrne, D., Keane, M. M., & Goggins, J. (2015). Real-time monitoring framework to investigate the environmental and structural performance of buildings. *Building and Environment*, 86(0), 1-16.

doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.12.012>

Hendry, E. A. W. (2001). Masonry walls: Materials and construction. *Construction and Building Materials*, 15(8), 323-330. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0950-](http://dx.doi.org/10.1016/S0950-0618(01)00019-8)

[0618\(01\)00019-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0950-0618(01)00019-8)

Hertwich, E. G., & Peters, G. P. (2009). Carbon footprint of nations: A global, trade-linked analysis. *Environmental Science and Technology*, 43(16), 6414-6420.

doi:10.1021/es803496a

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2008). Climate change 2007: Synthesis report. In IPCC (Ed.), *Fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (pp. 1-104). Geneva, Switzerland: IPCC.

International Energy Agency (IEA). (2013). *Statistics*. Retrieved abril 12, 2013, from

<https://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=AUSTRIA&product=electricityandheat&year=2013>

- ISO. (2006). *ISO 14040: Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework* (2° ed.). Suiza: International Organization for Standardization. doi:<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:es>
- Ji, C., Hong, T., & Park, H. S. (2014). Comparative analysis of decision-making methods for integrating cost and CO2 emission – focus on building structural design –. *Energy and Buildings*, 72, 186-194. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.12.045>
- Ladrillera Santafé S.A. (2014). *Ladrillo estructural de perf. vert. medio fachada rojo- RE*. Retrieved junio 17, 2016, from [http://www.santafe.com.co/html/cache/productos/manuales/P\\_16\\_FT%20LEPVMFR.pdf](http://www.santafe.com.co/html/cache/productos/manuales/P_16_FT%20LEPVMFR.pdf)
- Marval S.A. (2015). *Bogotá - Soacha*. Retrieved mayo 12, 2015, from <http://www.marval.com.co/proyectos/buscador>
- Mendebal. *Proyectos en venta*. Retrieved mayo 12, 2015, from <http://www.mendebal.com/proyectos-en-venta/>
- Metrocuadrado. (2016). *Apartamento en venta, Zipaquirá*. Retrieved junio 5, 2016, from [http://metrocuadrado.blob.core.windows.net/inmuebles/MC1316589/MC1316589\\_1\\_w.jpg](http://metrocuadrado.blob.core.windows.net/inmuebles/MC1316589/MC1316589_1_w.jpg)
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2011). Los materiales en la construcción de vivienda de interés social. *Guías de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social*. (). Bogotá D.C., Colombia: Nuevas Ediciones S. A. Retrieved from [http://www.minvivienda.gov.co/Documents/guia\\_asis\\_tec\\_vis\\_2.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/guia_asis_tec_vis_2.pdf)

Ministerio de Educación.*didacTerion*. Retrieved mayo 6, 2016, from

<http://www.didacterion.com/esddl.php>

Ministerio de Vivienda.*Macroproyecto Ciudad Verde*. Retrieved mayo 12, 2015, from

<http://www.amarilo.com.co/assets/Cartilla-ciudadverde-espanol.pdf>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (2014). *Déficit habitacional en*

*Colombia cayó 46.3% gracias a los programas de vivienda que adelanta el gobierno*

*nacional*. Retrieved marzo 16, 2015, from [http://www.minvivienda.gov.co/sala-de-](http://www.minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/noticias/2014/abril/d%C3%A9ficit-habitacional-en-colombia-cay%C3%B3-46-3-gracias-a-los-programas-de-vivienda-que-adelanta-el-gobierno-nacional)

[prensa/noticias/2014/abril/d%C3%A9ficit-habitacional-en-colombia-cay%C3%B3-46-](http://www.minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/noticias/2014/abril/d%C3%A9ficit-habitacional-en-colombia-cay%C3%B3-46-3-gracias-a-los-programas-de-vivienda-que-adelanta-el-gobierno-nacional)

[3-gracias-a-los-programas-de-vivienda-que-adelanta-el-gobierno-nacional](http://www.minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/noticias/2014/abril/d%C3%A9ficit-habitacional-en-colombia-cay%C3%B3-46-3-gracias-a-los-programas-de-vivienda-que-adelanta-el-gobierno-nacional)

Moussavi Nadoushani, Z. S., & Akbarnezhad, A. (2015). Effects of structural system on the life cycle carbon footprint of buildings. *Energy and Buildings*, 102, 337-346.

doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.044>

Ortiz-Rodríguez, O., Castells, F., & Sonnemann, G. (2012). Environmental impact of the construction and use of a house: Assessment of building materials and electricity end-uses in a residential area of the province of Norte de Santander, Colombia. [Impacto Ambiental de la construcción y uso de una casa: Estudio de los materiales de construcción y el consumo final de energía eléctrica en un área residencial del departamento de Norte de Santander, Colombia] *Ingeniería y Universidad*, 16(1), 147-161.

Ortiz-Rodríguez, O., Castells, F., & Sonnemann, G. (2010). Life cycle assessment of two dwellings: One in Spain, a developed country, and one in Colombia, a country under

development. *Science of the Total Environment*, 408(12), 2435-2443.

doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.02.021>

Ortiz, O., Bonnet, C., Bruno, J. C., & Castells, F. (2009). Sustainability based on LCM of residential dwellings: A case study in catalonia, spain. *Building and Environment*, 44(3), 584-594. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.05.004>

Ortiz, O., Castells, F., & Sonnemann, G. (2010). Operational energy in the life cycle of residential dwellings: The experience of spain and colombia. *Applied Energy*, 87(2), 673-680. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.08.002>

Ospinas. (2015). *Ospinas*. Retrieved mayo 12, 2015, from <http://www.ospinas.com.co/>

Pacheco-Torgal, F. (2014). 1 - introduction to the environmental impact of construction and building materials. In F. Pacheco-Torgal, L. F. Cabeza, J. Labrincha & A. d. Magalhães (Eds.), *Eco-efficient construction and building materials* (pp. 1-10) Woodhead Publishing. doi:<http://dx.doi.org/10.1533/9780857097729.1>

Peris Mora, E. (2007). Life cycle, sustainability and the transcendent quality of building materials. *Building and Environment*, 42(3), 1329-1334. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.11.004>

Prodesa. (2015). *Soacha – Ciudad Verde*. Retrieved mayo 12, 2015, from <http://www.prodesa.com/proyectos-de-vivienda-nueva/soacha-ciudad-verde/>

Project Management Institute (PMI). (2013). In PMI (Ed.), *A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK)* (5<sup>a</sup> ed.). Estados Unidos: PMI.

- Rossi, B., Marique, A., & Reiter, S. (2012). Life-cycle assessment of residential buildings in three different european locations, case study. *Building and Environment*, 51(0), 402-407. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.11.002>
- Salazar y Villamil. (2015). *Capítulo: Análisis Estructural. Tesis SalazarVillamil*. Retrieved 2016, mayo 6 from <https://www.youtube.com/watch?v=9kVgtJJznf0>:
- Salazar, A., & Ecoingeniería S.A.S. (2012). *Determinación de propiedades físicas y, estimación de consumo energético en la producción de acero, vidrio, ladrillo y otros materiales, entre ellos los alternativos y otros de uso no tradicional, utilizados en la construcción de edificaciones colombianas*. Retrieved abril 22, 2015, from <http://www.si3ea.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=6G1VGDdWfHc%3D&tabid=90&mid=449&language=en-US>
- Sawin, J. L., & Hugues, K. (2007). Proporcionar energía a las ciudades. *La situación del mundo 2007, nuestro futuro urbano*. (1° ed., pp. 190). Barcelona, España: Worldwatch Institute e Icaria editorial S.A.
- Secretaría Distrital de Planeación de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2015). *Región Metropolitana de Bogotá: Una visión de la ocupación del Suelo*. Retrieved mayo 12, 2015, from <http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/actualidad-SDP-home/REGION-digital.pdf>
- Stadel, A., Eboli, J., Ryberg, A., Mitchell, J., & Spatari, S. (2011). Intelligent sustainable design: Integration of carbon accounting and building information modeling. *Journal*

*of Professional Issues in Engineering Education & Practice*, 137(2), 51-54.

doi:10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000053

The Guardian. (2011). *What are CO<sub>2</sub>e and global warming potential (GWP)?*. Retrieved from <http://www.theguardian.com/environment/2011/apr/27/co2e-global-warming-potential>

Thormark, C. (2006). The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. *Building and Environment*, 41(8), 1019-1026.

doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.04.026>

Udo De Haes, H. A. (2004). Life-cycle assessment and developing countries. *Journal of Industrial Ecology*, 8(1-2), 8-10. doi:10.1162/1088198041269436

Urbanza. (2015). *Urbanza*. Retrieved mayo 12, 2015, from <http://www.urbansa.com.co/>

Yildiz, A., & Güngör, A. (2009). Energy and exergy analyses of space heating in buildings. *Applied Energy*, 86(10), 1939-1948.

doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.12.010>

**9. Anexo No. 1 – Informe de resultados de Tally, para modelo BIM en SI**

## Cala módulo A

Full building summary

08/04/2016

## Table of Contents

---

Report Summary	1
LCA Results	
Results per Life Cycle Stage	2
Results per Life Cycle Stage, itemized by CSI Division	4
Results per Life Cycle Stage, itemized by Revit Category	6
Results per CSI Division	8
Results per CSI Division, itemized by Tally Entry	10
Results per CSI Division, itemized by Material	12
Results per Revit Category	14
Results per Revit Category, itemized by Family	16
Results per Revit Category, itemized by Tally Entry	18
Results per Revit Category, itemized by Material	20
Appendix	
Calculation Methodology	22
Glossary of LCA Terminology	23
LCA Metadata	24

## Report Summary

---

### Created with Tally

Non-commercial Version 2015.08.31.01

**Author :** García López y Stand Villarreal  
**Company :** Pontificia Universidad Javeriana  
**Date :** 08/04/2016  
**Project :** Cala módulo A  
**Location :** Ciudad Verde, Soacha, Cundinamarca  
**Gross Area :** 1434 m<sup>2</sup>  
**Building Life :** 50

**Scope :** Cradle-to-Grave, exclusive of operational energy

### Goal of Assessment :

Carbon footprint for SISTEMA INDUSTRIALIZADO

### Object of Study

Revit Categories  
Ceilings, Curtainwall Mullions, Curtainwall Panels, Doors, Floors,  
Roofs, Stairs and Railings, Structure, Walls, Windows

Proyecto Cala Revit 2016

Worksets

Workset1

Phases created

CIM, EST, MAMP

Phases demolished

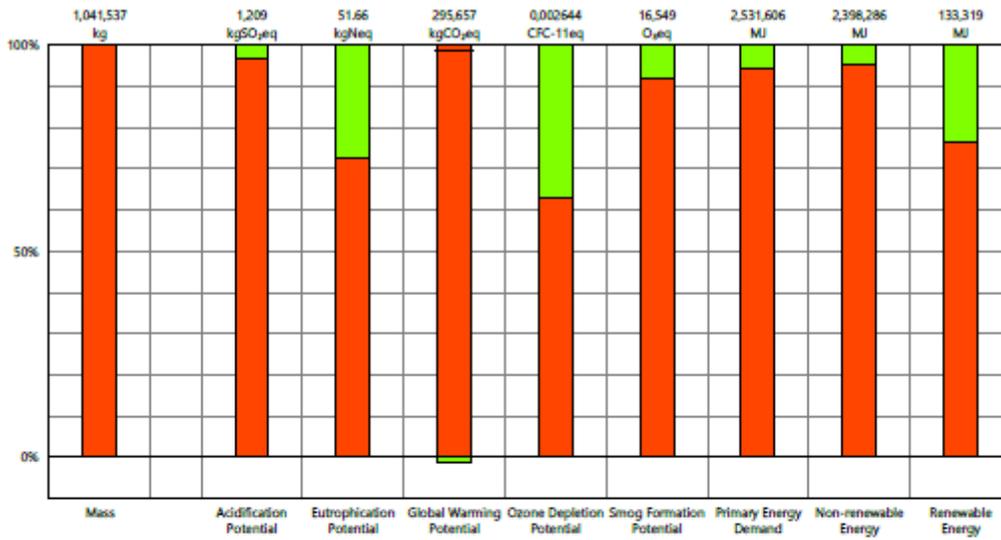
None

### Environmental Impacts per Full Building Life

#### Building Materials

Acidification Potential :	1,209 kgSO <sub>2</sub> eq	0,8434 kgSO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>
Eutrophication Potential :	51.66 kgNeq	0,03602 kgNeq/m <sup>2</sup>
Global Warming Potential :	291,410 kgCO <sub>2</sub> eq	203.2 kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>
Ozone Depletion Potential :	0,002644 CFC-11eq	1.843E-006 CFC-11eq/m <sup>2</sup>
Smog Formation Potential :	16,549 O <sub>3</sub> eq	11.54 O <sub>3</sub> eq/m <sup>2</sup>
Primary Energy Demand :	2,531,606 MJ	1,765 MJ/m <sup>2</sup>
Non-renewable Energy :	2,398,286 MJ	1,672 MJ/m <sup>2</sup>
Renewable Energy :	133,319 MJ	92.97 MJ/m <sup>2</sup>

### Results per Life Cycle Stage



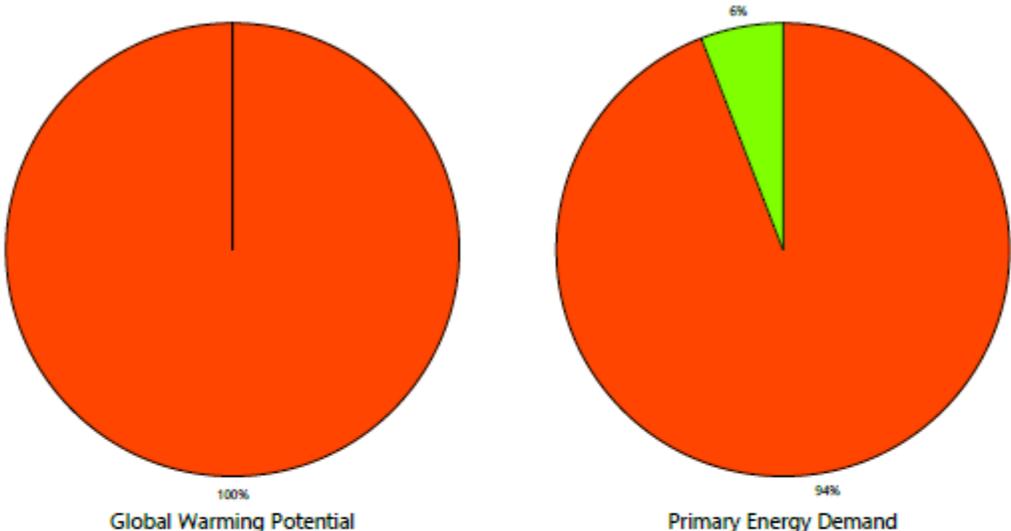
#### Legend

— Net value (impacts + credits)

#### Life Cycle Stages

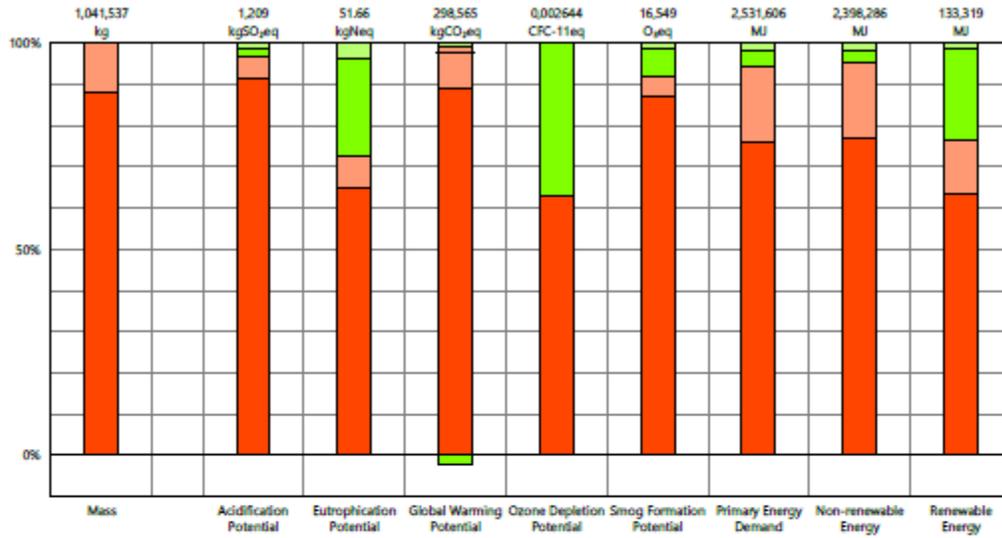
- Manufacturing
- Maintenance and Replacement
- End of Life

Results per Life Cycle Stage



- Legend**
- Net value (impacts + credits)
  - Life Cycle Stages**
  - Manufacturing
  - Maintenance and Replacement
  - End of Life

Results per Life Cycle Stage, itemized by CSI Division



Legend

— Net value (impacts + credits)

Manufacturing

- 03 - Concrete
- 04 - Masonry

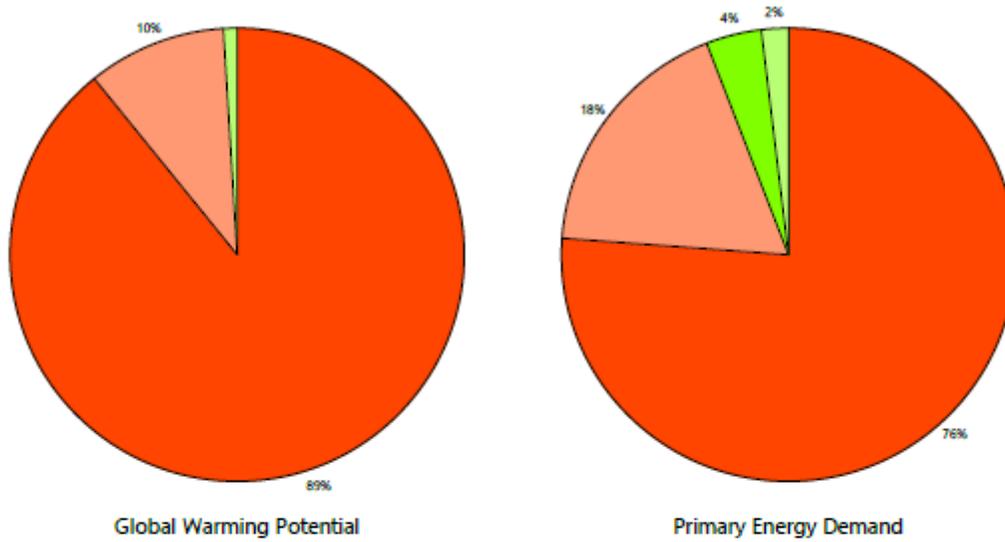
Maintenance and Replacement

- 03 - Concrete
- 04 - Masonry

End of Life

- 03 - Concrete
- 04 - Masonry

Results per Life Cycle Stage, itemized by CSI Division



Legend

— Net value (impacts + credits)

Manufacturing

- 03 - Concrete
- 04 - Masonry

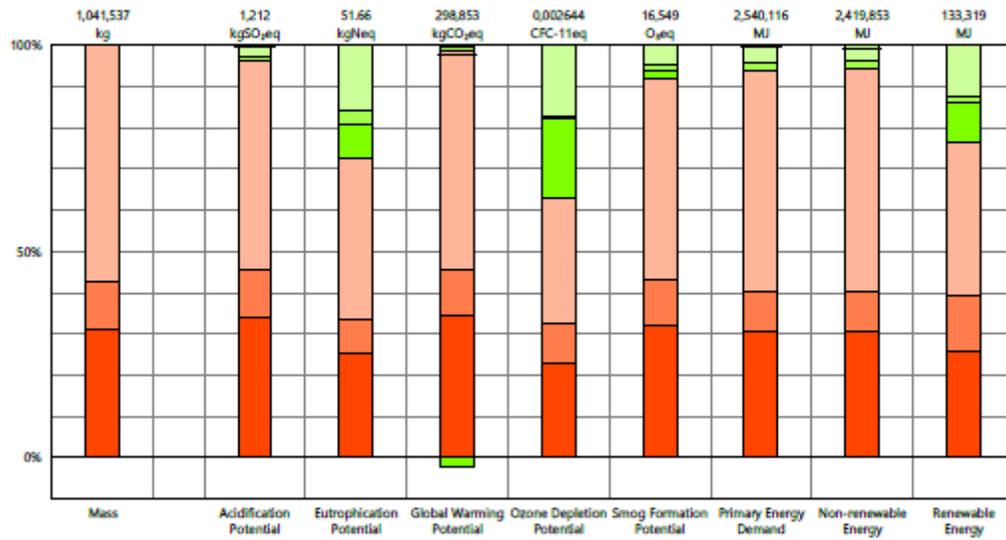
Maintenance and Replacement

- 03 - Concrete
- 04 - Masonry

End of Life

- 03 - Concrete
- 04 - Masonry

Results per Life Cycle Stage, itemized by Revit Category



Legend

— Net value (impacts + credits)

Manufacturing

- Floors
- Structure
- Walls

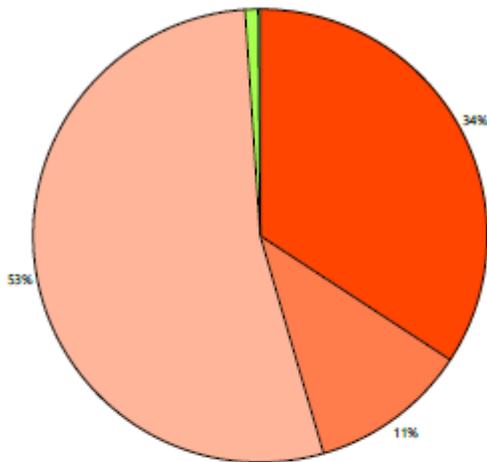
Maintenance and Replacement

- Floors
- Structure
- Walls

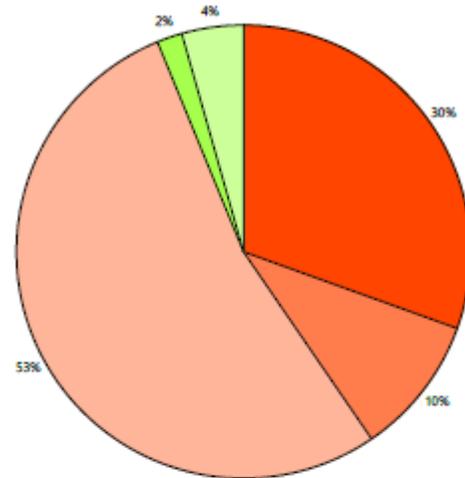
End of Life

- Floors
- Structure
- Walls

Results per Life Cycle Stage, itemized by Revit Category



Global Warming Potential



Primary Energy Demand

Legend

— Net value (impacts + credits)

Manufacturing

- Floors
- Structure
- Walls

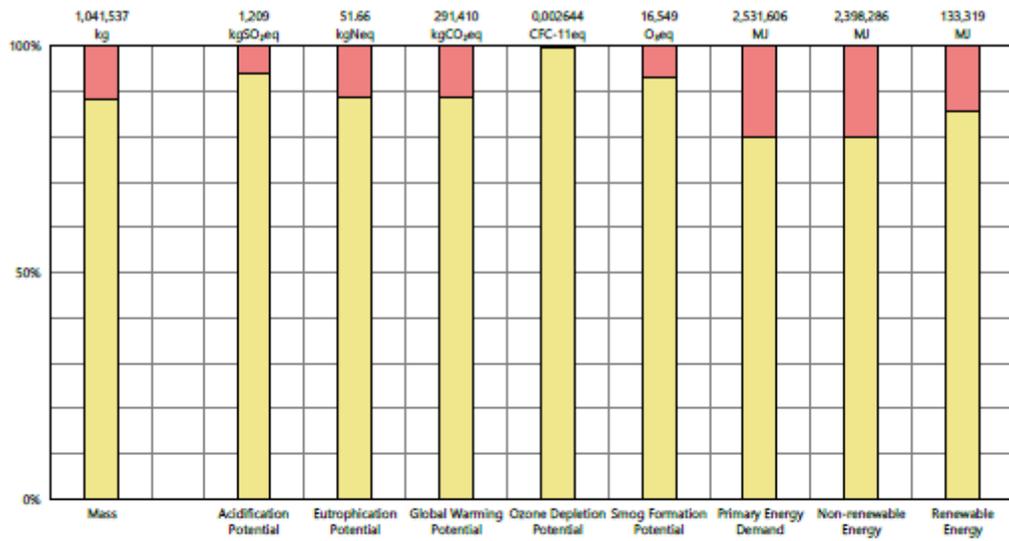
Maintenance and Replacement

- Floors
- Structure
- Walls

End of Life

- Floors
- Structure
- Walls

Results per CSI Division

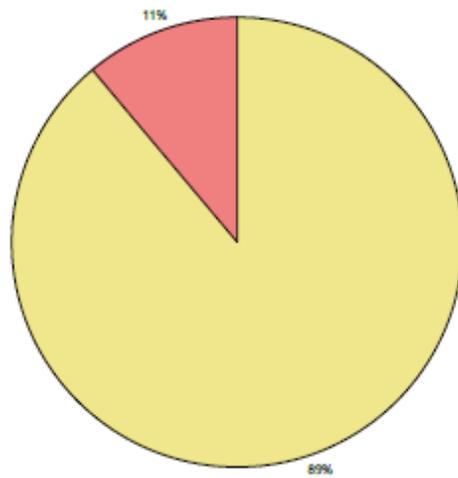


Legend

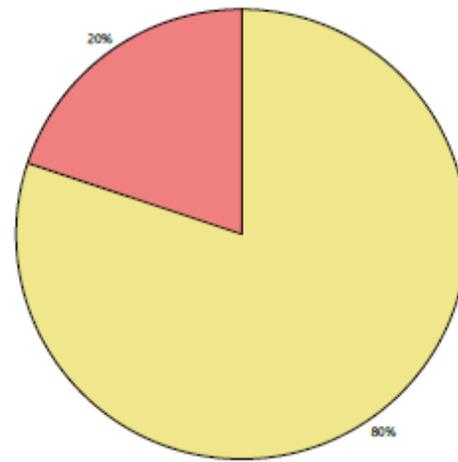
- CSI Divisions
- 03 - Concrete
  - 04 - Masonry

### Results per CSI Division

---



Global Warming Potential

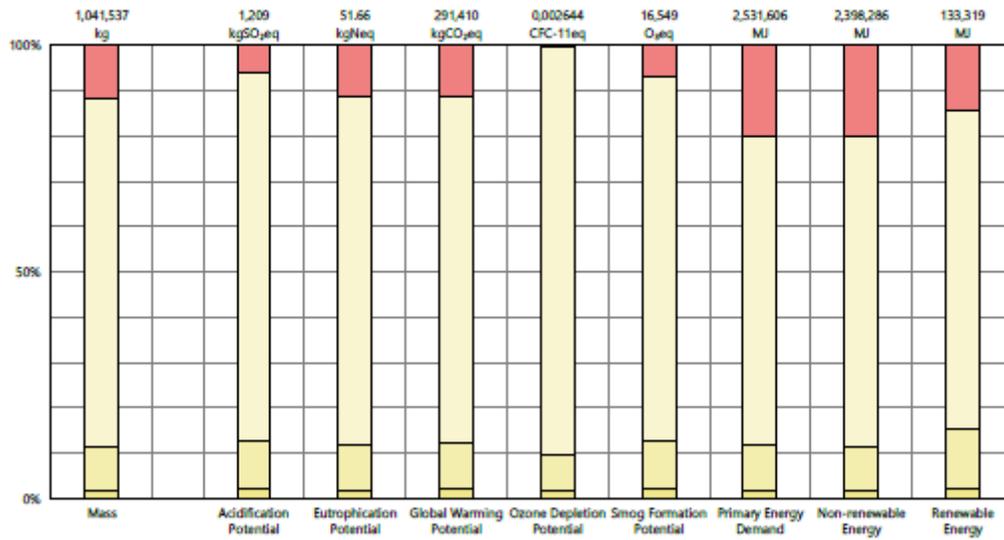


Primary Energy Demand

#### Legend

- CSI Divisions
- 03 - Concrete
  - 04 - Masonry

Results per CSI Division, itemized by Tally Entry



Legend

03 - Concrete

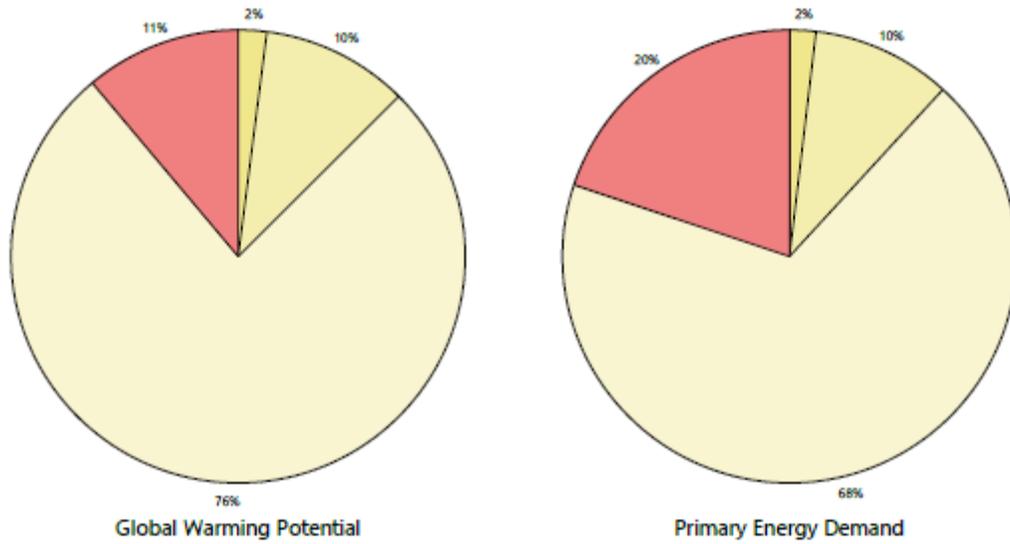
- Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)
- Reinforced concrete footing
- Reinforced slab, exclusive of deck

04 - Masonry

- Brick, ungrouted

Results per CSI Division, itemized by Tally Entry

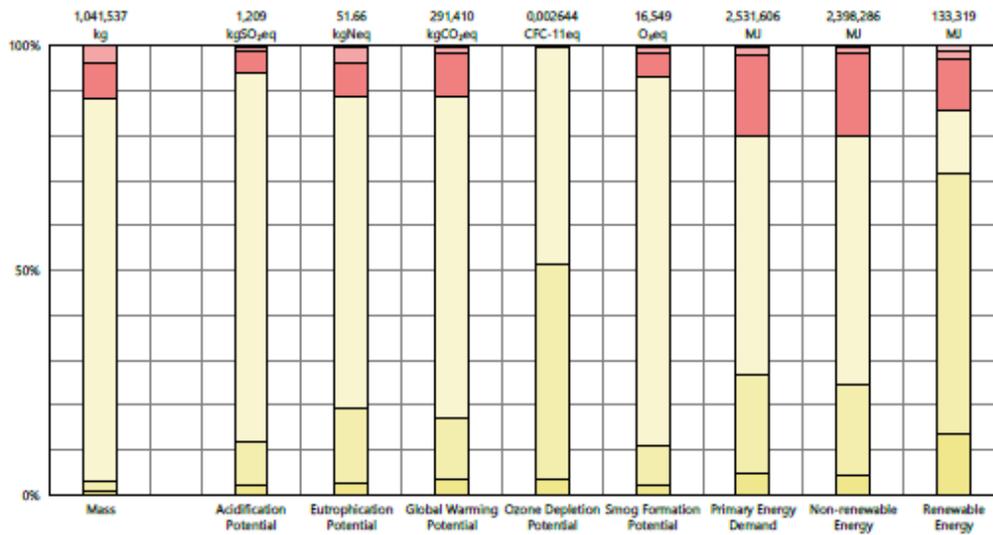
---



Legend

- 03 - Concrete
  -  Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)
  -  Reinforced concrete footing
  -  Reinforced slab, exclusive of deck
- 04 - Masonry
  -  Brick, ungrouted

Results per CSI Division, itemized by Material



Legend

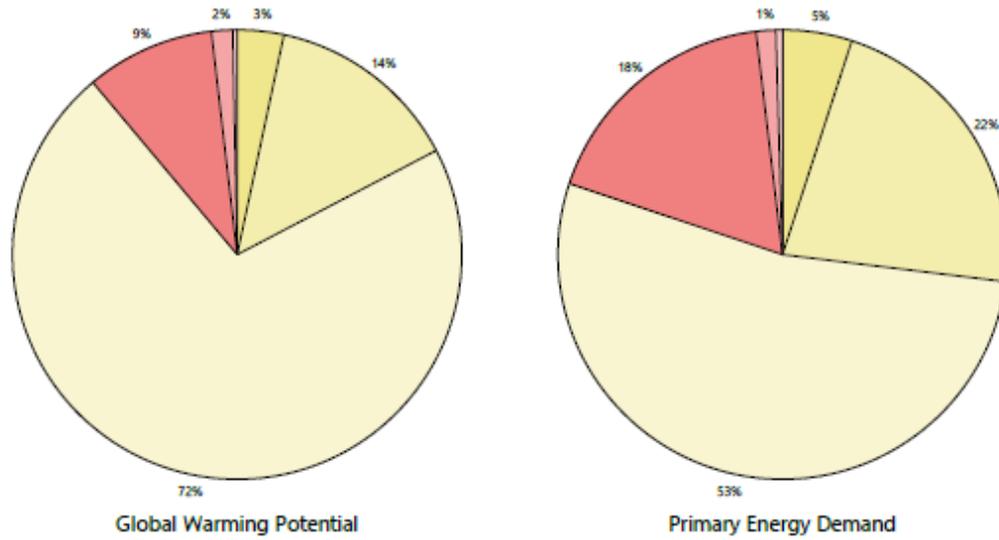
03 - Concrete

- Steel, reinforcing rod
- Steel, welded wire mesh
- Structural concrete, 3000 psi, generic

04 - Masonry

- Brick, generic
- Mortar type N
- Steel, reinforcing rod

Results per CSI Division, itemized by Material



Legend

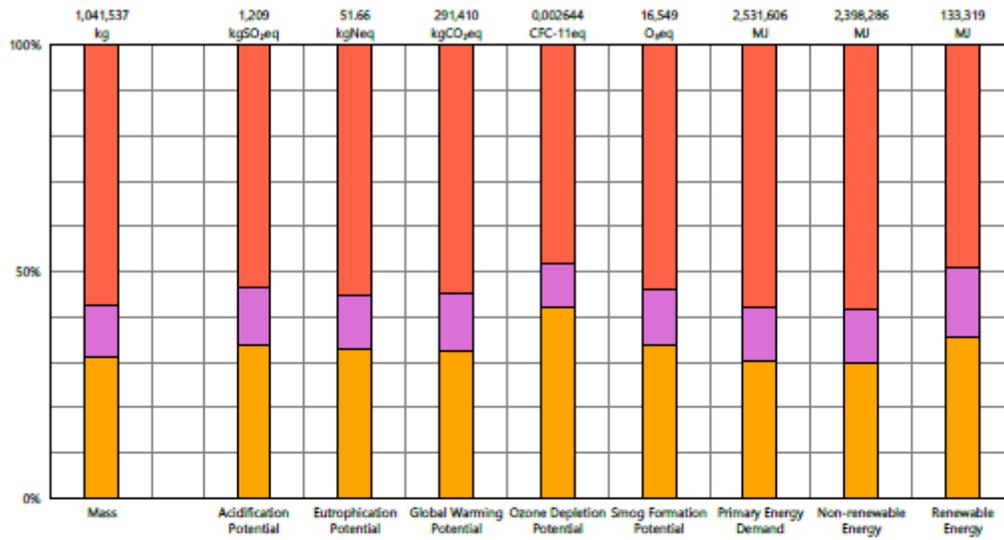
03 - Concrete

- Steel, reinforcing rod
- Steel, welded wire mesh
- Structural concrete, 3000 psi, generic

04 - Masonry

- Brick, generic
- Mortar type N
- Steel, reinforcing rod

### Results per Revit Category

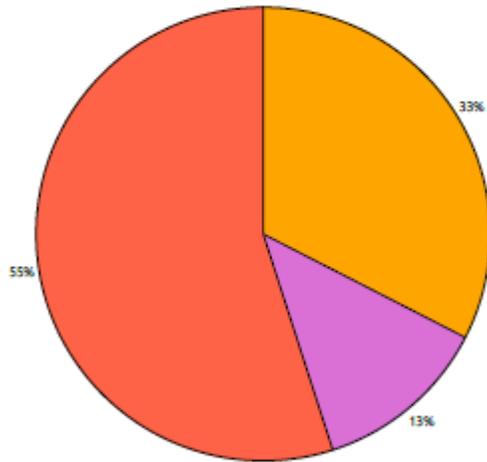


#### Legend

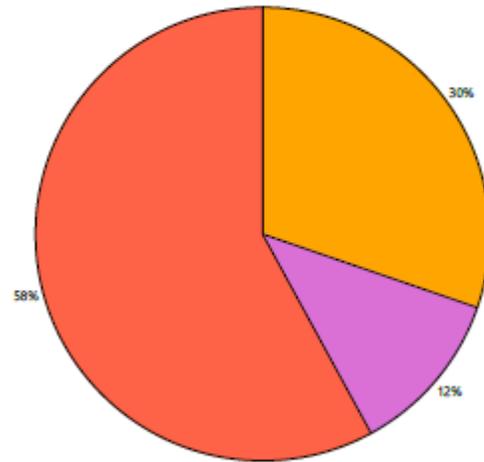
- Revit Categories
- Floors
  - Structure
  - Walls

### Results per Revit Category

---



Global Warming Potential

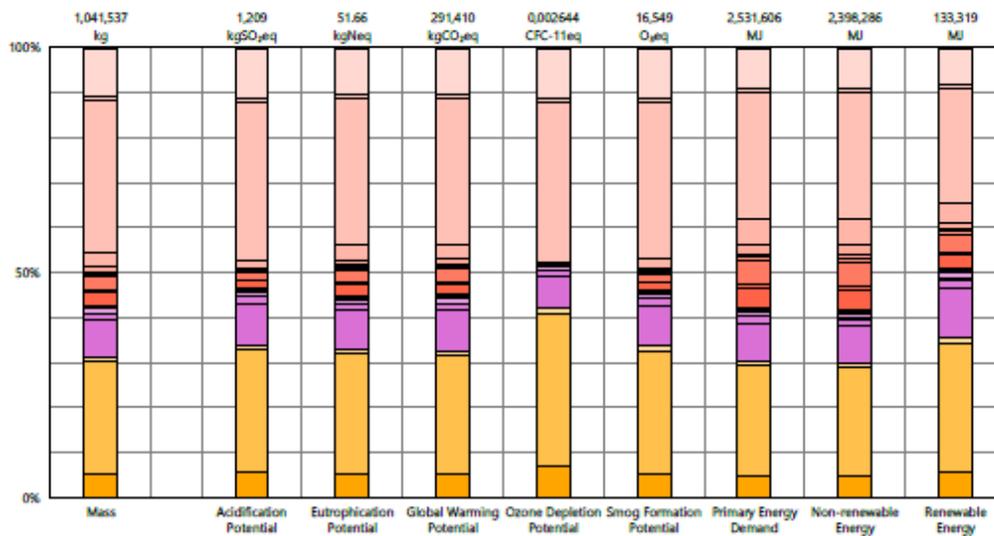


Primary Energy Demand

#### Legend

- Revit Categories
- Floors
  - Structure
  - Walls

Results per Revit Category, itemized by Family



Legend

Floors

- Contrapiso en concreto 100 mm
- Losía maciza en concreto 100 mm
- Losía maciza en concreto 150 mm

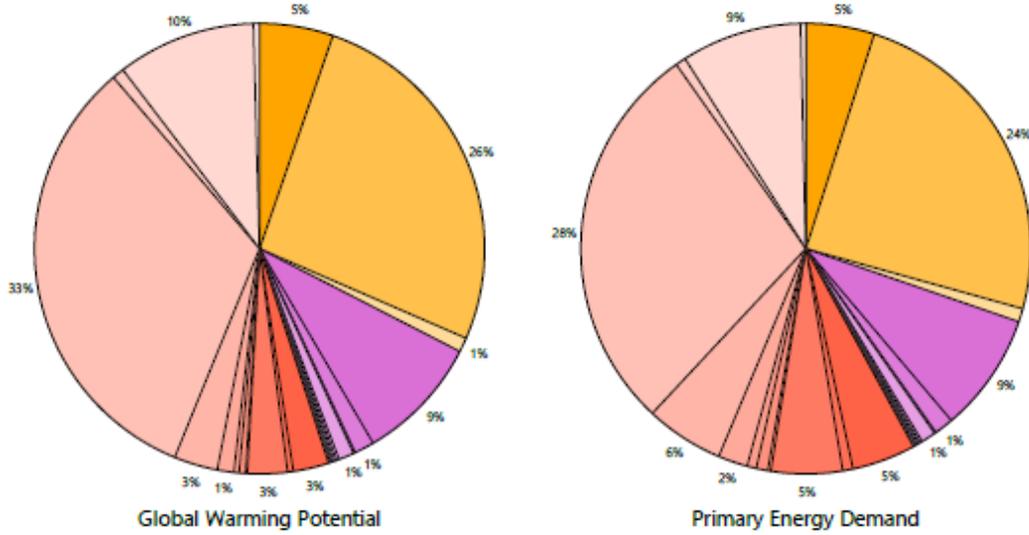
Structure

- Losía de cimentación 30 mm
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga cimentación 0,30x0,30
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,10x0,10
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,12x0,10
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga Cubierta 0,20x0,25
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga V1 0,15x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga V2 0,25x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga V3 0,25x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga V4 0,12x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga VE 0,15x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga VF 0,15x0,35

Walls

- Genérico - Albañilería 100 mm
- Genérico - Albañilería 110 mm
- Genérico - Albañilería 120 mm
- Genérico - Albañilería 150 mm
- Genérico - Albañilería 80 mm
- Genérico - Albañilería 90 mm
- Mamp a la vista 100 mm
- Mamp a la vista 120 mm
- Muro en concreto - 100 mm
- Muro en concreto - 120 mm
- Muro en concreto - 150 mm
- Muro en concreto - 200 mm

Results per Revit Category, itemized by Family



Legend

Floors

- Contrapiso en concreto 100 mm
- Losa maciza en concreto 100 mm
- Losa maciza en concreto 150 mm

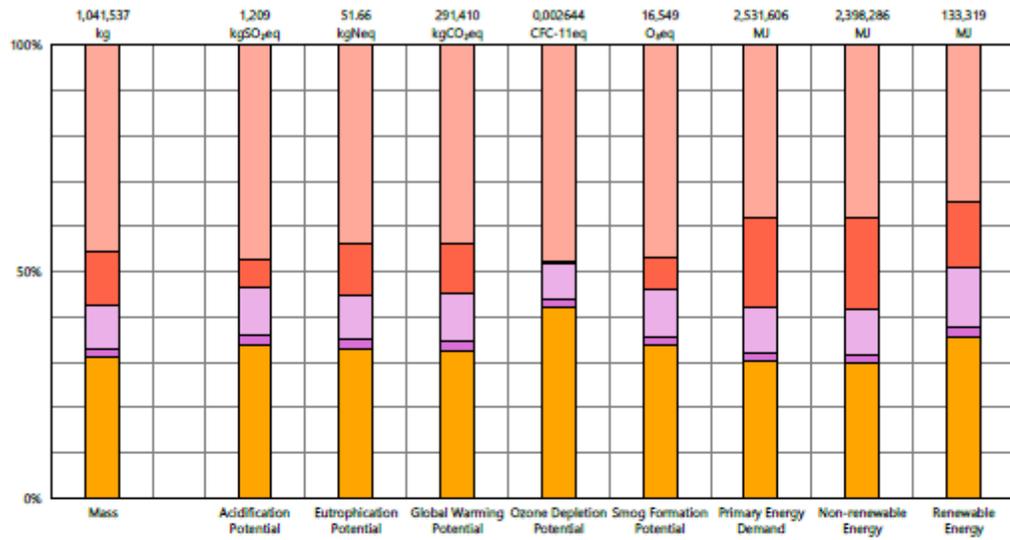
Structure

- Losa de cimentación 30 mm
- M,Concrete-Rectangular Beam: Viga cimentacion 0,30x0,30
- M,Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,10x0,10
- M,Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,12x0,10
- M,Concrete-Rectangular Beam: Viga Cubierta 0,20x0,25
- M,Concrete-Rectangular Beam: Viga V1 0,15x0,35
- M,Concrete-Rectangular Beam: Viga V2 0,25x0,35
- M,Concrete-Rectangular Beam: Viga V3 0,25x0,35
- M,Concrete-Rectangular Beam: Viga V4 0,12x0,35
- M,Concrete-Rectangular Beam: Viga VE 0,15x0,35
- M,Concrete-Rectangular Beam: Viga VF 0,15x0,35

Walls

- Genérico - Albañilería 100 mm
- Genérico - Albañilería 110 mm
- Genérico - Albañilería 120 mm
- Genérico - Albañilería 150 mm
- Genérico - Albañilería 80 mm
- Genérico - Albañilería 90 mm
- Matrap a la vista 100 mm
- Matrap a la vista 120 mm
- Muro en concreto - 100 mm
- Muro en concreto - 120 mm
- Muro en concreto - 150 mm
- Muro en concreto - 200 mm

Results per Revit Category, itemized by Tally Entry

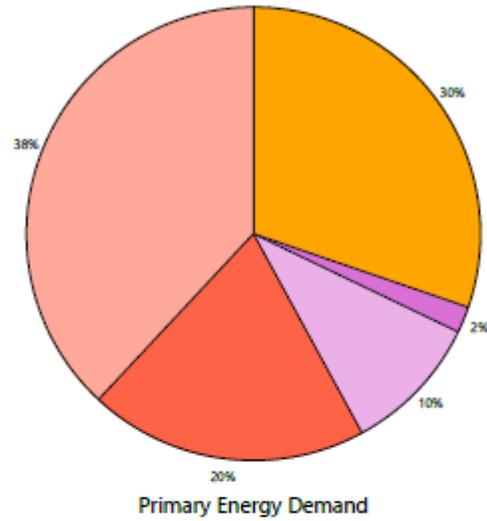
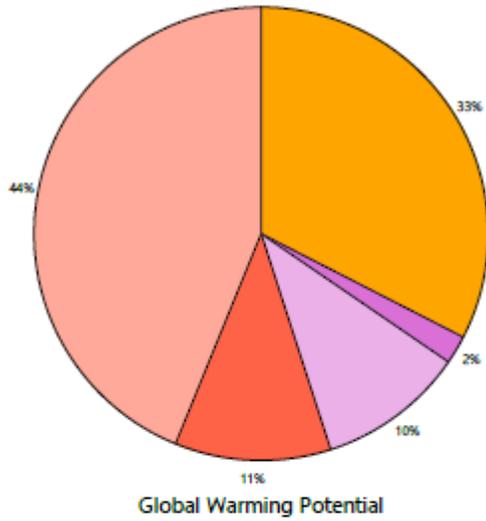


Legend

- Floors**
- Reinforced slab, exclusive of deck
- Structure**
- Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)
- Reinforced concrete footing
- Walls**
- Brick, ungrouted
- Reinforced slab, exclusive of deck

Results per Revit Category, itemized by Tally Entry

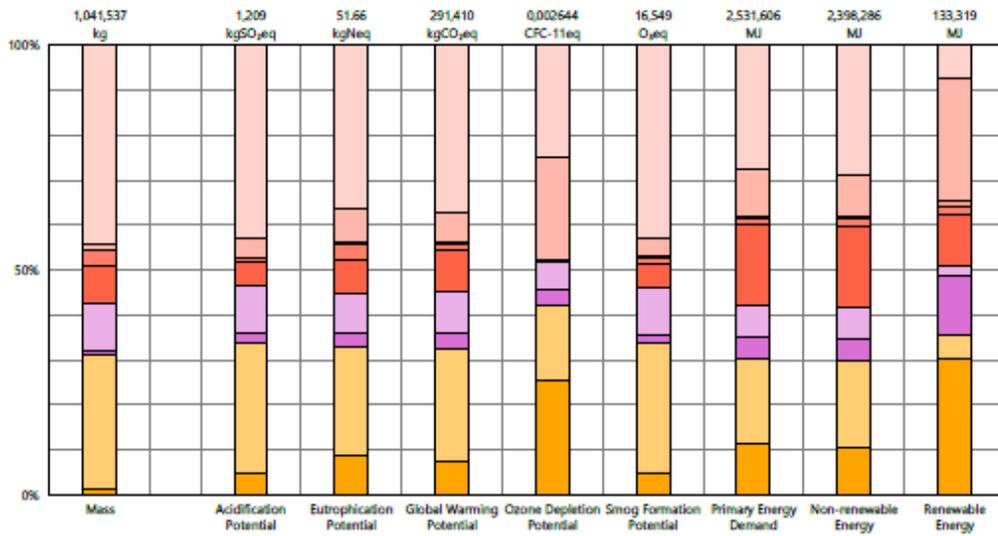
---



Legend

- Floors**
  - Reinforced slab, exclusive of deck
- Structure**
  - Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)
  - Reinforced concrete footing
- Walls**
  - Brick, ungrouted
  - Reinforced slab, exclusive of deck

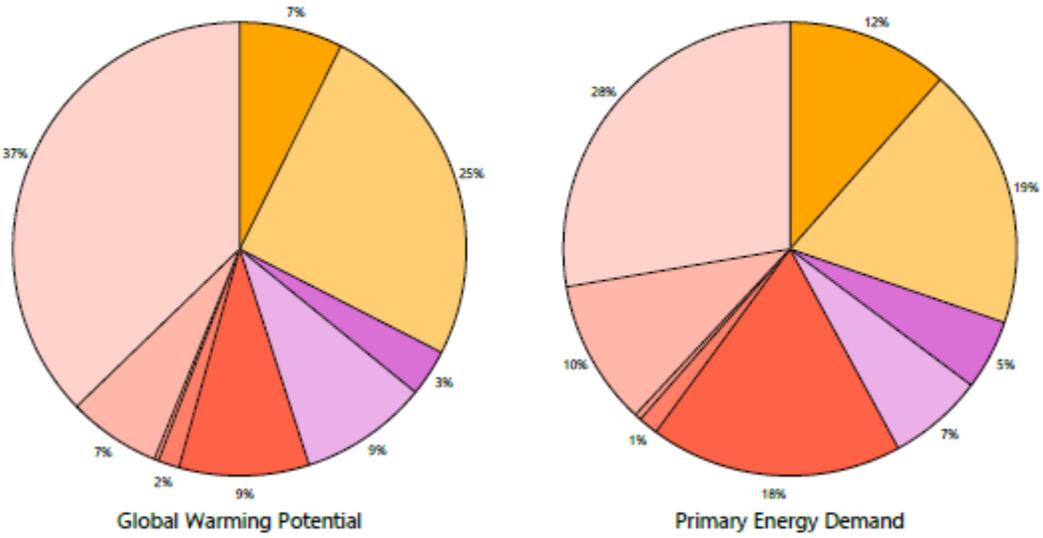
Results per Revit Category, itemized by Material



Legend

- Floors**
  - Steel, welded wire mesh
  - Structural concrete, 3000 psi, generic
- Structure**
  - Steel, reinforcing rod
  - Structural concrete, 3000 psi, generic
- Walls**
  - Brick, generic
  - Mortar type N
  - Steel, reinforcing rod
  - Steel, welded wire mesh
  - Structural concrete, 3000 psi, generic

Results per Revit Category, itemized by Material



Legend

- Floors
  - Steel, welded wire mesh
  - Structural concrete, 3000 psi, generic
- Structure
  - Steel, reinforcing rod
  - Structural concrete, 3000 psi, generic
- Walls
  - Brick, generic
  - Mortar type N
  - Steel, reinforcing rod
  - Steel, welded wire mesh
  - Structural concrete, 3000 psi, generic

## Calculation Methodology

### Studied objects

The LCA results in the report represent either an analysis of a single building, or a comparative analysis of two or more building design options. The single building may represent the complete architectural, structural, and finish systems of a building or a subset of those systems, and it may be used to compare the relative contributions of building systems to environmental impacts and for comparative study with one or more reference buildings. The comparison of design options may represent a full building in various stages of the design process, or they may represent multiple schemes of a full or partial building that are being compared to one another across a range of evaluation criteria.

### Functional unit and reference flow

The functional unit of the analysis is the usable floor space of the building under study. For a design option comparison of a partial building, the functional unit is the complete set of building systems that performs a given function. The reference flow is the amount of material required to produce a building, or portion thereof, designed according to the given goal and scope of the assessment, over the full life of the building. If operational energy is included in the assessment the reference flow also includes the electrical and thermal energy consumed on site over the life of the building. It is the responsibility of the modeler to assure that reference buildings or design options are functionally equivalent in terms of scope, size, and relevant performance. The expected life of the building has a default value of 60 years and can be modified by the model author.

### System boundaries and delimitations

The analysis accounts for the full cradle-to-grave life cycle of the design options studied, including material manufacturing, maintenance and replacement, and eventual end-of-life (disposal, incineration, and/or recycling), including the materials and energy used across all life cycle stages. Optionally, the operational energy of the building can be included within the scope.

Architectural materials and assemblies include all materials required for the product's manufacturing and use (including hardware, sealants, adhesives, coatings, and finishing, etc.) up to a 1% cut-off factor by mass with the exception of known materials that have high environmental impacts at low levels. In these cases, a 1% cut-off was implemented by impact.

Manufacturing includes cradle-to-gate manufacturing wherever possible. This includes raw material extraction and processing, intermediate transportation, and final manufacturing and assembly. Due to data limitations, however, some manufacturing steps have been excluded, such as the material and energy requirements for assembling doors and windows. The manufacturing scope is listed for each entry, detailing any specific inclusions or exclusions that fall outside of the cradle-to-gate scope.

Transportation of upstream raw materials or intermediate products to final manufacturing is generally included in the GaBi datasets utilized within this tool. Transportation requirements between the manufacturer and installation of the product, and at the end-of-life of the product, are excluded from this study.

Infrastructure (buildings and machinery) required for the manufacturing and assembly of building materials, as well as packaging materials, are not included and are considered outside the scope of assessment.

Maintenance and replacement encompasses the replacement of materials in accordance with the expected service life. This includes the end-of-life treatment of the existing products and cradle-to-gate manufacturing of the replacement products. The service life is specified separately for each product.

Operational energy treatment is based on the anticipated energy consumed at the building site over the lifetime of the building. Each energy dataset includes relevant upstream impacts associated with extraction of energy resources (e.g., coal, crude oil), refining, combustion, transmission, losses, and other associated factors. US electricity generation datasets are based on subregions from US EPA's eGRID2012 database v1.0, but adapted to account for imports and exports into these regions. These consumption mixes - unique to the GaBi databases - provide a more accurate reflection of impacts associated with electricity consumption.

End-of-life treatment is based on average US construction and demolition waste treatment methods and rates. This includes the relevant material collection rates for recycling, processing requirements for recycled materials, incineration rates, and landfilling rates. Along with processing requirements, the recycling of materials is modeled using an avoided burden approach, where the burden of primary material production is allocated to the subsequent life cycle based on the quantity of recovered secondary material. Incineration of materials includes credit for average US energy recovery rates. The impacts associated with landfilling are based on average material properties, such as plastic waste, biodegradable waste, or inert material. Specific end-of-life scenarios are detailed for each entry.

### Data source and quality

Tally utilizes a custom designed LCA database that combines material attributes, assembly details, and engineering and architectural specifications with environmental impact data resulting from the collaboration between KieranTimberlake and thinkstep. LCA modeling was conducted in GaBi 6 using GaBi databases and in accordance with [GaBi database and modeling principles](#).

Geography and date: The data used are intended to represent the US and the year 2013. Where representative data were unavailable, proxy data were used. The datasets used, their geographic region, and year of reference are listed for each entry. An effort was made to choose proxy datasets that are technologically consistent with the relevant entry.

Uncertainty in results can stem from both the data used and the application of the data. Data quality is judged by its precision (measured, calculated, or estimated), completeness (e.g., unreported emissions), consistency (degree of uniformity of the methodology applied on a study serving as a data source), and representativeness (geographical, temporal, and technological). The LCI data sets from the [GaBi LCI databases](#) have been used in LCA models worldwide in industrial and scientific applications, both as internal and critically reviewed and published studies. The uncertainty introduced by the use of any proxy data is reduced by using technologically, geographically, and/or temporally similar data. It is the responsibility of the modeler to apply the predefined material entries appropriately to the building under study.

Tally methodology is consistent with LCA standards ISO 14040-14044.

## Glossary of LCA Terminology

---

### Environmental Impact Categories

The following list provides a description of environmental impact categories reported according to the TRACI 2.1 characterization scheme. References: [Bare 2010, EPA 2012, Guinée 2001]

#### **Acidification Potential (AP)** kg SO<sub>2</sub> eq

A measure of emissions that cause acidifying effects to the environment. The acidification potential is a measure of a molecule's capacity to increase the hydrogen ion (H<sup>+</sup>) concentration in the presence of water, thus decreasing the pH value. Potential effects include fish mortality, forest decline, and the deterioration of building materials.

#### **Eutrophication Potential (EP)** kg N eq

Eutrophication covers potential impacts of excessively high levels of macronutrients, the most important of which are nitrogen (N) and phosphorus (P). Nutrient enrichment may cause an undesirable shift in species composition and elevated biomass production in both aquatic and terrestrial ecosystems. In aquatic ecosystems increased biomass production may lead to depressed oxygen levels, because of the additional consumption of oxygen in biomass decomposition.

#### **Global Warming Potential (GWP)** kg CO<sub>2</sub> eq

A measure of greenhouse gas emissions, such as carbon dioxide and methane. These emissions are causing an increase in the absorption of radiation emitted by the earth, increasing the natural greenhouse effect. This may in turn have adverse impacts on ecosystem health, human health, and material welfare.

#### **Ozone Depletion Potential (ODP)** kg CFC-11 eq

A measure of air emissions that contribute to the depletion of the stratospheric ozone layer. Depletion of the ozone leads to higher levels of UVB ultraviolet rays reaching the earth's surface with detrimental effects on humans and plants.

#### **Smog Formation Potential (SFP)** kg O<sub>3</sub> eq

Ground level ozone is created by various chemical reactions, which occur between nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) and volatile organic compounds (VOCs) in sunlight. Human health effects can result in a variety of respiratory issues including increasing symptoms of bronchitis, asthma, and emphysema. Permanent lung damage may result from prolonged exposure to ozone. Ecological impacts include damage to various ecosystems and crop damage. The primary sources of ozone precursors are motor vehicles, electric power utilities, and industrial facilities.

#### **Primary Energy Demand (PED)** MJ (lower heating value)

A measure of the total amount of primary energy extracted from the earth. PED is expressed in energy demand from non-renewable resources (e.g. petroleum, natural gas, etc.) and energy demand from renewable resources (e.g. hydropower, wind energy, solar, etc.). Efficiencies in energy conversion (e.g. power, heat, steam, etc.) are taken into account.

## LCA Metadata

### NOTES

The following list provides a summary of all materials and energy inputs present in the selected study. Materials are listed in alphabetical order along with a list of all Revit families and Tally entries in which they occur and any notes and system boundaries accompanying their database entries. The mass given here refers to the full life-cycle mass of material, including manufacturing and replacement.

#### Brick, generic

85,939.1 kg

Used in the following Revit families:

Genérico - Albañilería 100 mm	19,700.7 kg
Genérico - Albañilería 110 mm	3,186.0 kg
Genérico - Albañilería 120 mm	22,158.1 kg
Genérico - Albañilería 150 mm	995.1 kg
Genérico - Albañilería 80 mm	3,532.9 kg
Genérico - Albañilería 90 mm	2,855.2 kg
Mamp a la vista 100 mm	9,149.0 kg
Mamp a la vista 120 mm	24,362.0 kg

Used in the following Tally entries:  
Brick, ungrouted

Description:  
Generic brick, 3.675 x 2.25 x 8

Life Cycle Inventory:  
2000 kg/m<sup>3</sup> fired brick

Manufacturing Scope:  
Cradle to gate  
excludes mortar  
anchors, ties, and metal accessories outside of scope (<1% mass)

End of Life Scope:  
50% recycled into coarse aggregate (includes grinding energy and avoided burden credit)  
50% landfilled (inert material)

Entry Source:  
DE: Stoneware tiles, unglazed (EN15804 A1-A3) PE (2012)

#### Mortar type N

37,327.1 kg

Used in the following Revit families:

Genérico - Albañilería 100 mm	8,556.9 kg
Genérico - Albañilería 110 mm	1,383.8 kg
Genérico - Albañilería 120 mm	9,624.2 kg
Genérico - Albañilería 150 mm	432.2 kg
Genérico - Albañilería 80 mm	1,534.5 kg
Genérico - Albañilería 90 mm	1,240.2 kg
Mamp a la vista 100 mm	3,973.8 kg
Mamp a la vista 120 mm	10,581.5 kg

Used in the following Tally entries:  
Brick, ungrouted

Description:  
Mortar Type N (moderate strength mortar for use in masonry walls and flooring)

Life Cycle Inventory:  
77% aggregate  
12% cement  
11% water

Manufacturing Scope:  
Cradle to gate

End of Life Scope:  
50% recycled into coarse aggregate (includes grinding energy and avoided burden credit)  
50% landfilled (inert material)

Entry Source:  
DE: Masonry mortar (MG II a) PE (2012)

#### Steel, reinforcing rod

8,325.0 kg

Used in the following Revit families:

Genérico - Albañilería 100 mm	178.5 kg
Genérico - Albañilería 110 mm	26.2 kg
Genérico - Albañilería 120 mm	167.3 kg
Genérico - Albañilería 150 mm	6.0 kg
Genérico - Albañilería 80 mm	40.0 kg
Genérico - Albañilería 90 mm	28.7 kg
Losa de cimentación 30 mm	5,539.2 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga cimentacion 0,30x0,30	962.6 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,10x0,10	12.2 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,12x0,10	29.4 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga Cubierta 0,20x0,25	677.4 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga V1 0,15x0,35	86.6 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga V2 0,25x0,35	71.2 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga V3 0,25x0,35	59.8 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga V4 0,12x0,35	47.4 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga VE 0,15x0,35	54.7 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga VF 0,15x0,35	70.7 kg
Mamp a la vista 100 mm	82.9 kg
Mamp a la vista 120 mm	183.9 kg

Used in the following Tally entries:

Brick, ungrouted  
Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)  
Reinforced concrete footing

Description:

Steel rod suitable for structural reinforcement (rebar), common unfinished tempered steel

Life Cycle Inventory:

Steel rebar

Manufacturing Scope:

Cradle to gate

End of Life Scope:

70% recovered (product has 69.8% scrap input while remainder is processed and credited as avoided burden)  
30% landfilled (inert material)

Entry Source:

GLO: Steel rebar worldsteel (2007)

#### Steel, welded wire mesh

26,259.9 kg

Used in the following Revit families:

Contrapiso en concreto 100 mm	2,245.7 kg
Losa maciza en concreto 100 mm	11,140.7 kg
Losa maciza en concreto 150 mm	439.1 kg
Muro en concreto - 100 mm	9,244.6 kg
Muro en concreto - 120 mm	242.6 kg
Muro en concreto - 150 mm	2,823.5 kg
Muro en concreto - 200 mm	123.6 kg

Used in the following Tally entries:  
Reinforced slab, exclusive of deck

Description:

Steel rods further processed into wires

Life Cycle Inventory:

Steel wire (same as Steel, cable)

Manufacturing Scope:

Cradle to gate

End of Life Scope:

98% recovered (product has 27.6% scrap input while remainder is processed and credited as avoided burden)  
2% landfilled (inert material)

Entry Source:

GLO: Steel wire rod worldsteel (2007)  
DE: Copper wire (0.6 mm) PE (2011)  
US: Electricity grid mix PE (2010)  
US: Thermal energy from natural gas PE (2010)

## LCA Metadata (continued)

<b>Structural concrete, 3000 psi, generic</b>	<b>883,685.6 kg</b>
Used in the following Revit families:	
Contrapiso en concreto 100 mm	50,492.9 kg
Losa de cimentación 30 mm	81,628.6 kg
Losa maciza en concreto 100 mm	250,492.9 kg
Losa maciza en concreto 150 mm	9,873.6 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga cimentación 0,30x0,30	12,572.1 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,10x0,10	244.3 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,12x0,10	980.4 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga Cubierta 0,20x0,25	10,050.8 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga V1 0,15x0,35	1,947.8 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga V2 0,25x0,35	1,600.6 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga V3 0,25x0,35	1,292.2 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga V4 0,12x0,35	1,066.5 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga VE 0,15x0,35	781.1 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga VF 0,15x0,35	1,010.1 kg
Muro en concreto - 100 mm	341,736.7 kg
Muro en concreto - 120 mm	8,969.0 kg
Muro en concreto - 150 mm	104,375.1 kg
Muro en concreto - 200 mm	4,570.9 kg
Used in the following Tally entries:	
Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)	
Reinforced concrete footing	
Reinforced slab, exclusive of deck	
Description:	
Structural concrete, generic, 3000 psi	
Life Cycle Inventory:	
13% cement	
40% gravel	
39% sand	
7% water	
Manufacturing Scope:	
Cradle to gate	
excludes mixing and pouring impacts	
End of Life Scope:	
50% recycled into coarse aggregate (includes grinding energy and avoided burden credit)	
50% landfilled (inert material)	
Entry Source:	
US: Portland cement, at plant USLCI/PE (2009)	
US: Tap water from groundwater PE (2012)	
EU-27: Gravel 2/32 PE (2012)	
US: Silica sand (Excavation and processing) PE (2012)	

**10. Anexo No. 2 – Informe de resultados de Tally, para modelo BIM en ME**

## Cala módulo A

Full building summary

08/04/2016



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Bogotá

*tally*®

## Table of Contents

---

Report Summary	1
LCA Results	
Results per Life Cycle Stage	2
Results per Life Cycle Stage, itemized by CSI Division	4
Results per Life Cycle Stage, itemized by Revit Category	6
Results per CSI Division	8
Results per CSI Division, itemized by Tally Entry	10
Results per CSI Division, itemized by Material	12
Results per Revit Category	14
Results per Revit Category, itemized by Family	16
Results per Revit Category, itemized by Tally Entry	18
Results per Revit Category, itemized by Material	20
Appendix	
Calculation Methodology	22
Glossary of LCA Terminology	23
LCA Metadata	24

## Report Summary

---

### Created with Tally

Non-commercial Version 2015.08.31.01

**Author :** García López y Stand Villareal  
**Company :** Pontificia Universidad Javeriana  
**Date :** 08/04/2016  
**Project :** Cala módulo A  
**Location :** Ciudad Verde, Soacha, Cundinamarca  
**Gross Area :** 1434 m<sup>2</sup>  
**Building Life :** 50

**Scope :** Cradle-to-Grave, exclusive of operational energy

### Goal of Assessment :

Carbon footprint for MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL

### Object of Study

Revit Categories  
Ceilings, Curtainwall Mullions, Curtainwall Panels, Doors, Floors,  
Roofs, Stairs and Railings, Structure, Walls, Windows

Proyecto Cala Revit 2016 - ME v2

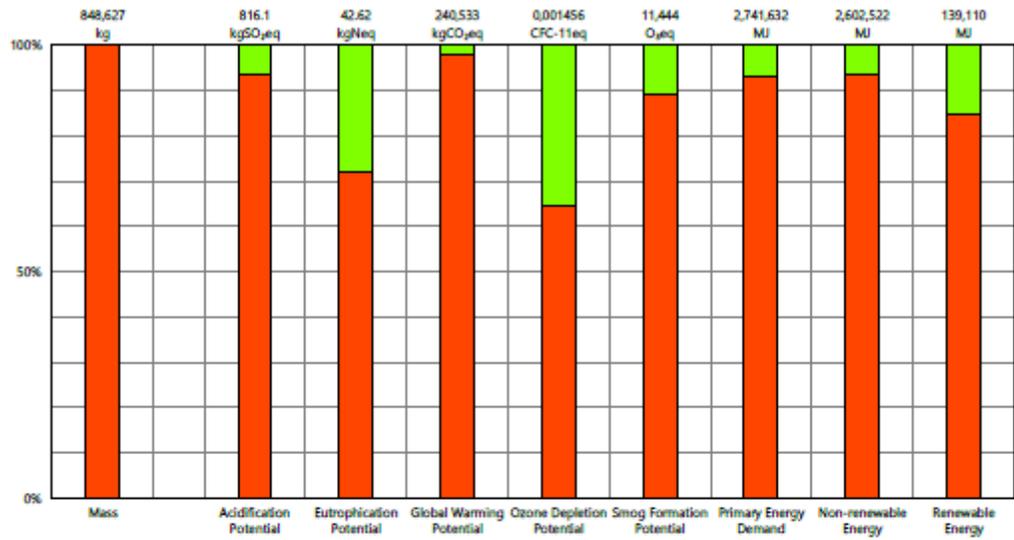
Worksets  
Workset1  
Phases created  
CIM, EST, MAMP  
Phases demolished  
None

### Environmental Impacts per Full Building Life

#### Building Materials

Acidification Potential :	816.1 kgSO <sub>2</sub> eq	0,5691 kgSO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>
Eutrophication Potential :	42.62 kgNeq	0,02972 kgNeq/m <sup>2</sup>
Global Warming Potential :	240,533 kgCO <sub>2</sub> eq	167.7 kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>
Ozone Depletion Potential :	0,001456 CFC-11eq	1.016E-006 CFC-11eq/m <sup>2</sup>
Smog Formation Potential :	11,444 O <sub>3</sub> eq	7.980 O <sub>3</sub> eq/m <sup>2</sup>
Primary Energy Demand :	2,741,632 MJ	1,912 MJ/m <sup>2</sup>
Non-renewable Energy :	2,602,522 MJ	1,815 MJ/m <sup>2</sup>
Renewable Energy :	139,110 MJ	97.01 MJ/m <sup>2</sup>

Results per Life Cycle Stage

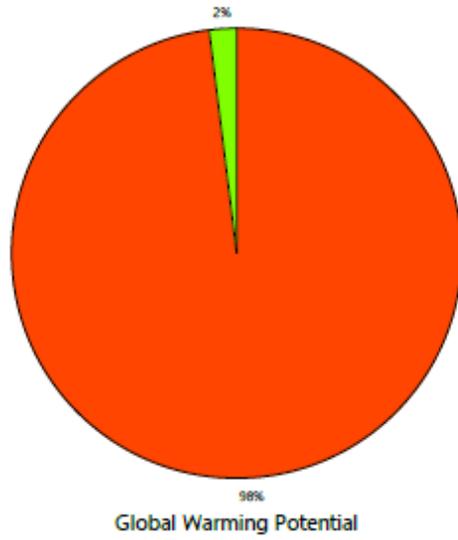


Legend

- Net value (impacts + credits)
- Life Cycle Stages
  - Manufacturing
  - Maintenance and Replacement
  - End of Life

### Results per Life Cycle Stage

---



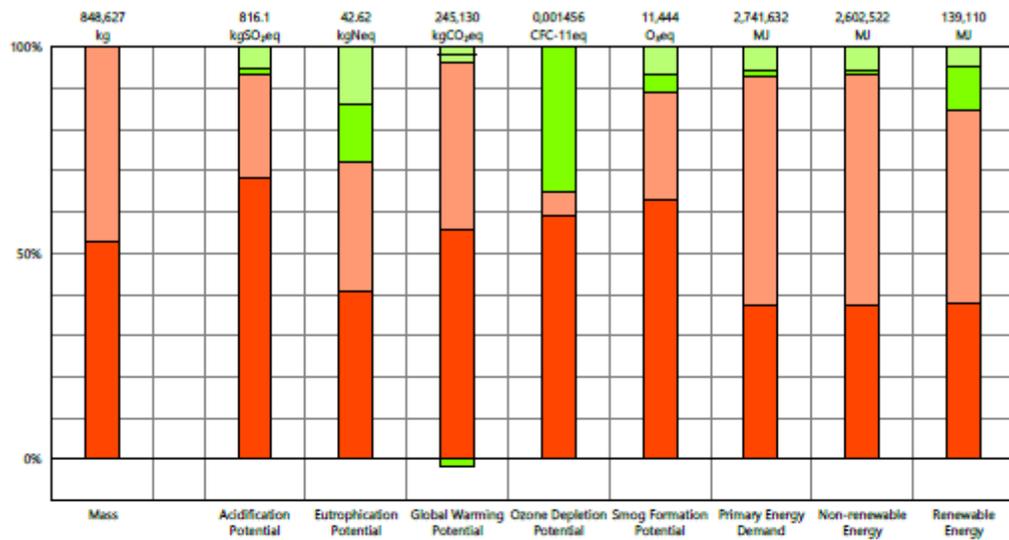
#### Legend

— Net value (impacts + credits)

#### Life Cycle Stages

- Manufacturing
- Maintenance and Replacement
- End of Life

Results per Life Cycle Stage, itemized by CSI Division



Legend

— Net value (impacts + credits)

Manufacturing

- 03 - Concrete
- 04 - Masonry

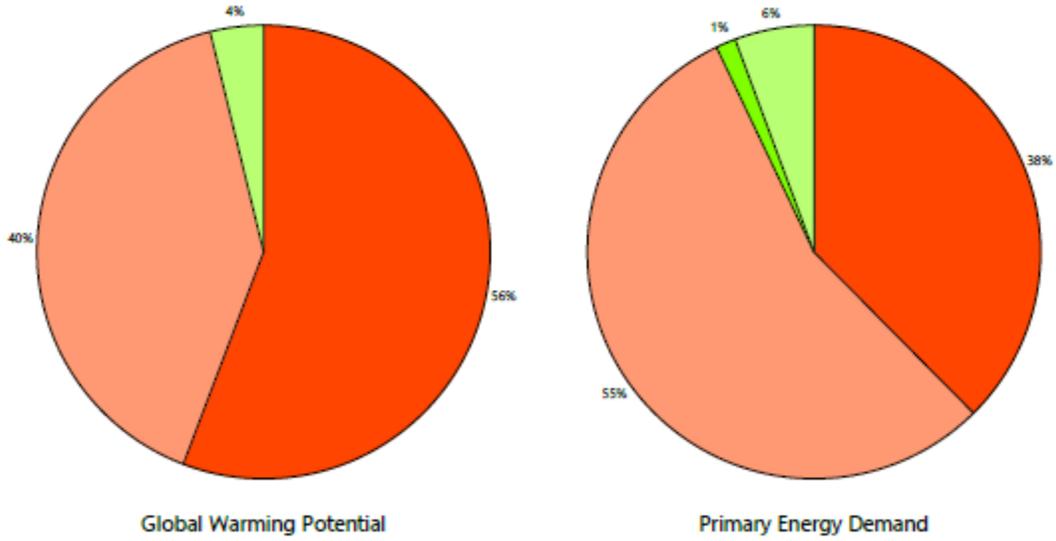
Maintenance and Replacement

- 03 - Concrete
- 04 - Masonry

End of Life

- 03 - Concrete
- 04 - Masonry

Results per Life Cycle Stage, itemized by CSI Division



Legend

— Net value (impacts + credits)

Manufacturing

- 03 - Concrete
- 04 - Masonry

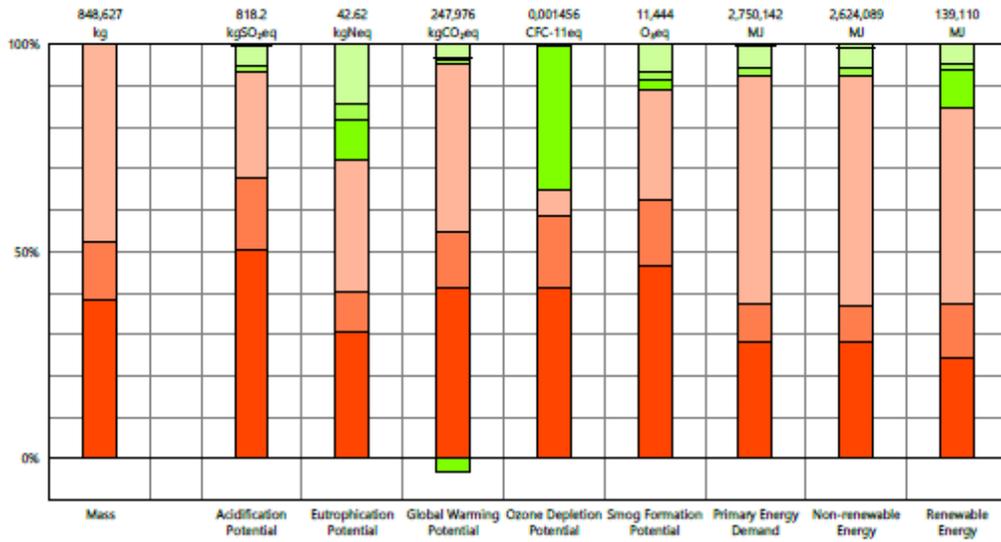
Maintenance and Replacement

- 03 - Concrete
- 04 - Masonry

End of Life

- 03 - Concrete
- 04 - Masonry

Results per Life Cycle Stage, itemized by Revit Category



Legend

— Net value (impacts + credits)

Manufacturing

- Floors
- Structure
- Walls

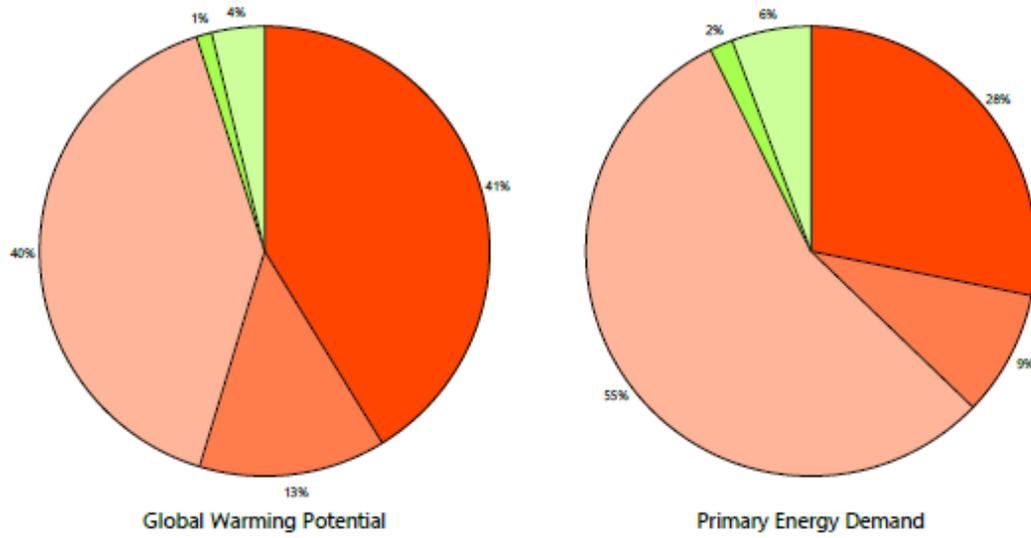
Maintenance and Replacement

- Floors
- Structure
- Walls

End of Life

- Floors
- Structure
- Walls

Results per Life Cycle Stage, itemized by Revit Category



Legend

— Net value (impacts + credits)

**Manufacturing**

- Floors
- Structure
- Walls

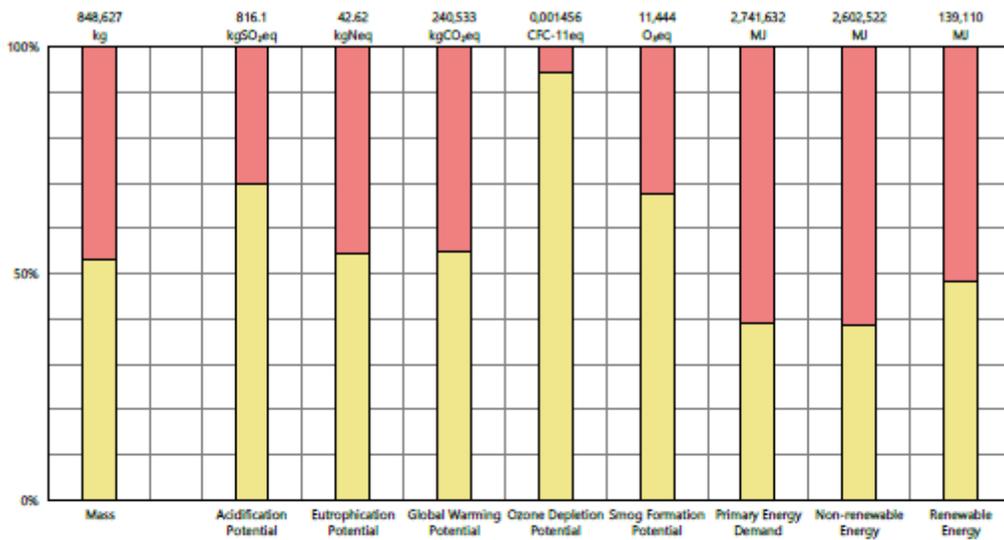
**Maintenance and Replacement**

- Floors
- Structure
- Walls

**End of Life**

- Floors
- Structure
- Walls

Results per CSI Division

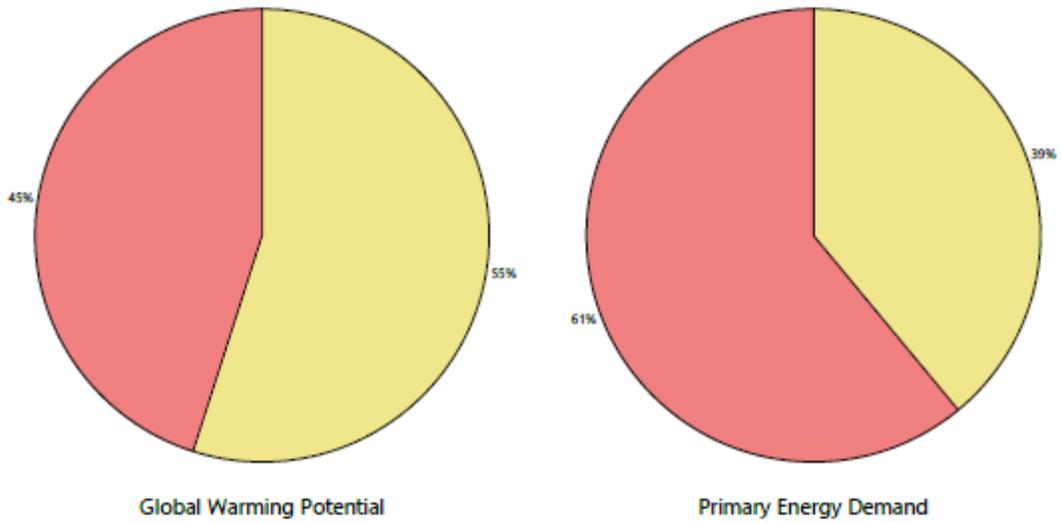


Legend

- CSI Divisions
- 03 - Concrete
  - 04 - Masonry

### Results per CSI Division

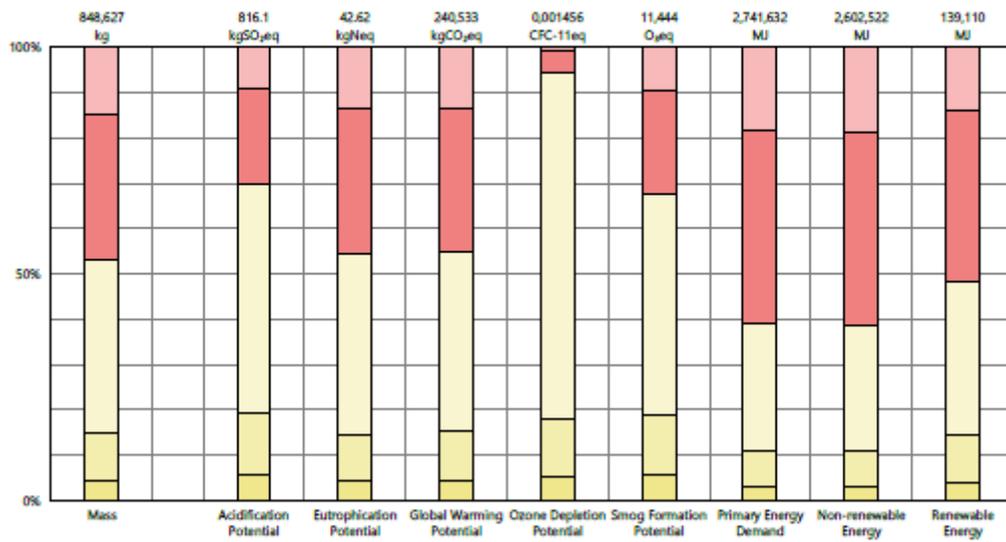
---



#### Legend

- CSI Divisions
- 03 - Concrete
  - 04 - Masonry

Results per CSI Division, itemized by Tally Entry



Legend

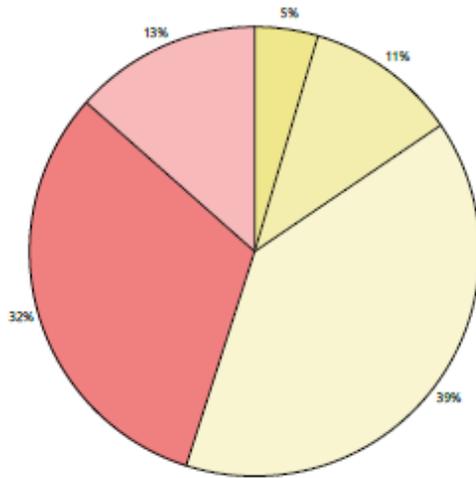
03 - Concrete

- Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)
- Reinforced concrete footing
- Reinforced slab, exclusive of deck

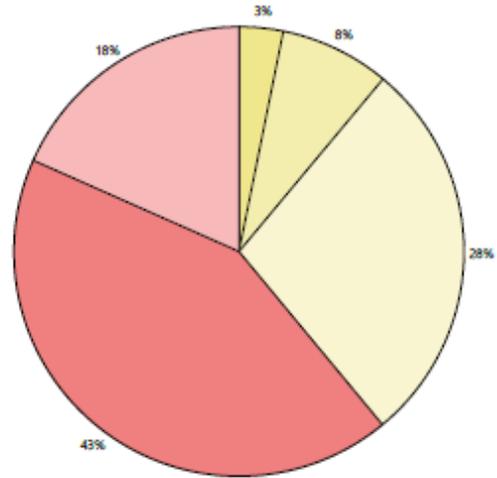
04 - Masonry

- Brick, generic, grouted
- Brick, ungrouted

Results per CSI Division, itemized by Tally Entry



Global Warming Potential



Primary Energy Demand

Legend

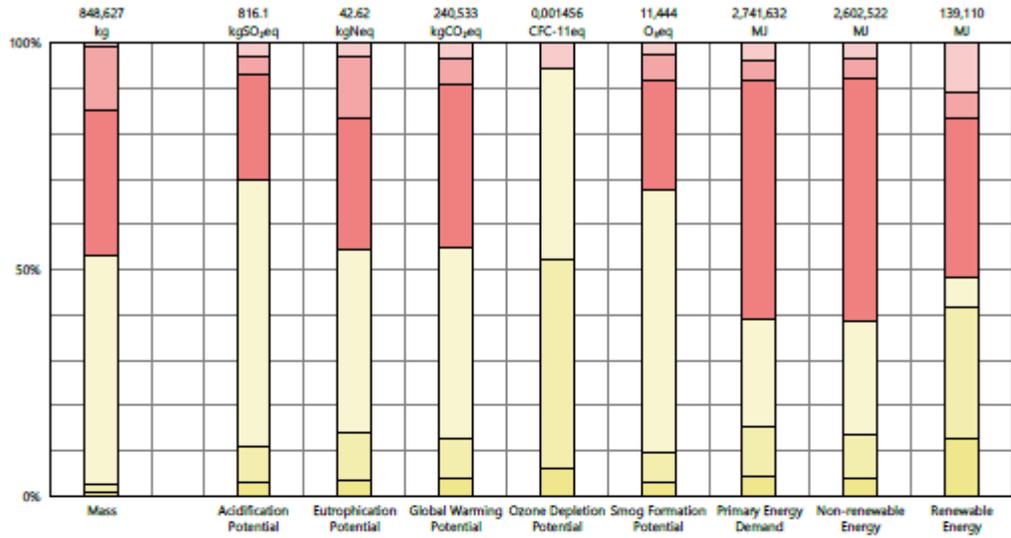
03 - Concrete

- Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)
- Reinforced concrete footing
- Reinforced slab, exclusive of deck

04 - Masonry

- Brick, generic, grouted
- Brick, ungrouted

Results per CSI Division, itemized by Material



Legend

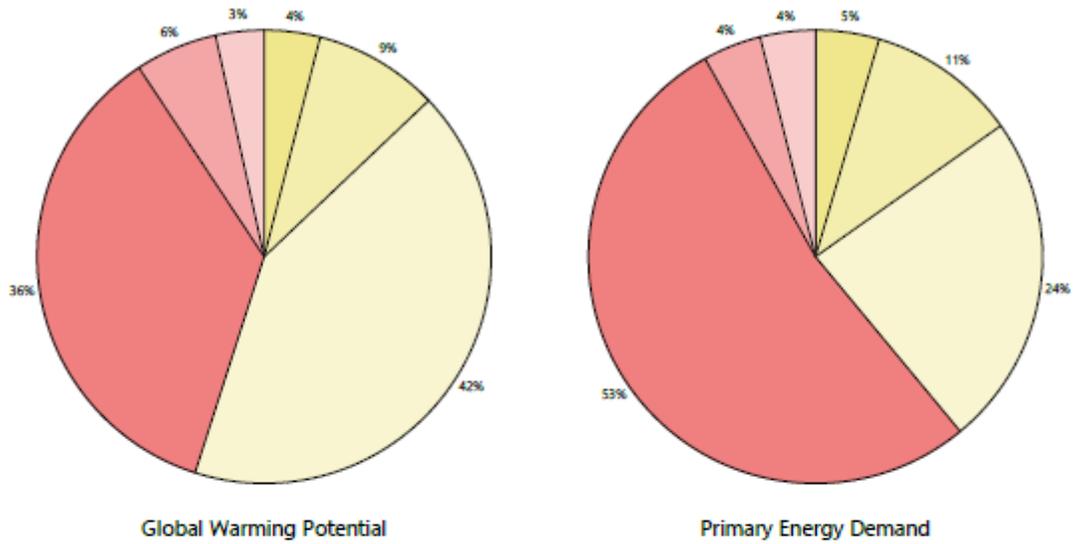
03 - Concrete

- Steel, reinforcing rod
- Steel, welded wire mesh
- Structural concrete, 3000 psi, generic

04 - Masonry

- Brick, generic
- Mortar type N
- Steel, reinforcing rod

Results per CSI Division, itemized by Material



Legend

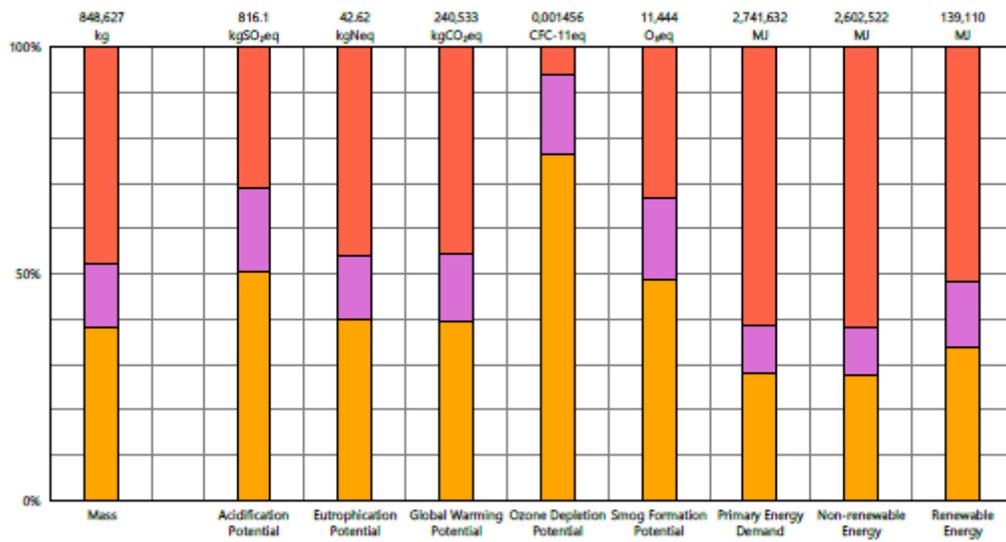
03 - Concrete

- Steel, reinforcing rod
- Steel, welded wire mesh
- Structural concrete, 3000 psi, generic

04 - Masonry

- Brick, generic
- Mortar type N
- Steel, reinforcing rod

Results per Revit Category

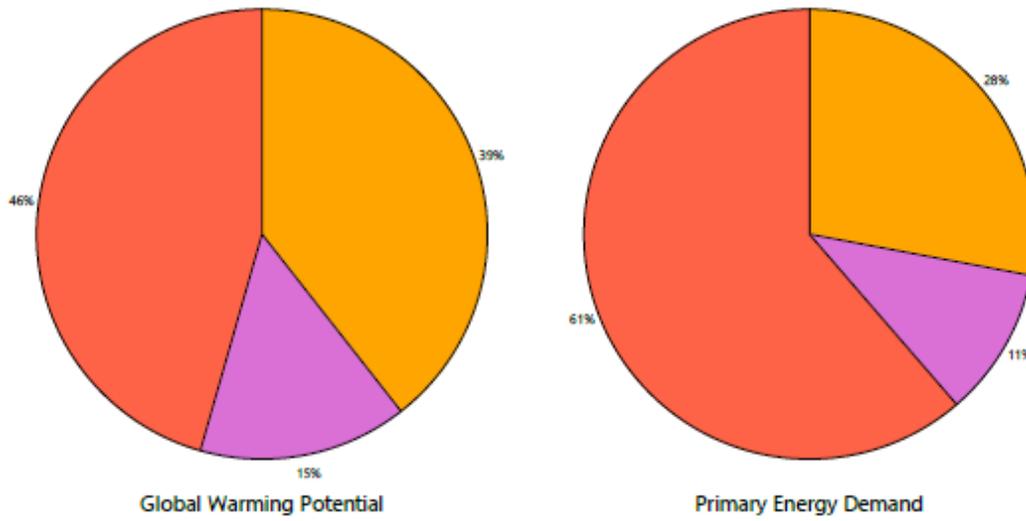


Legend

- Revit Categories
- Floors
  - Structure
  - Walls

### Results per Revit Category

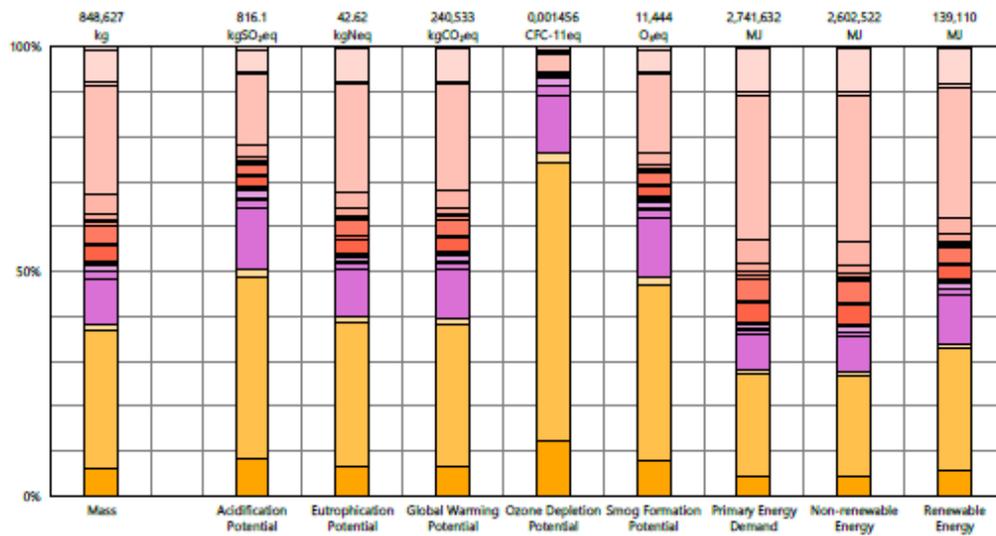
---



#### Legend

- Revit Categories
- Floors
  - Structure
  - Walls

Results per Revit Category, itemized by Family



Legend

Floors

- Contrapiso en concreto 100 mm
- Losa maciza en concreto 100 mm
- Losa maciza en concreto 150 mm

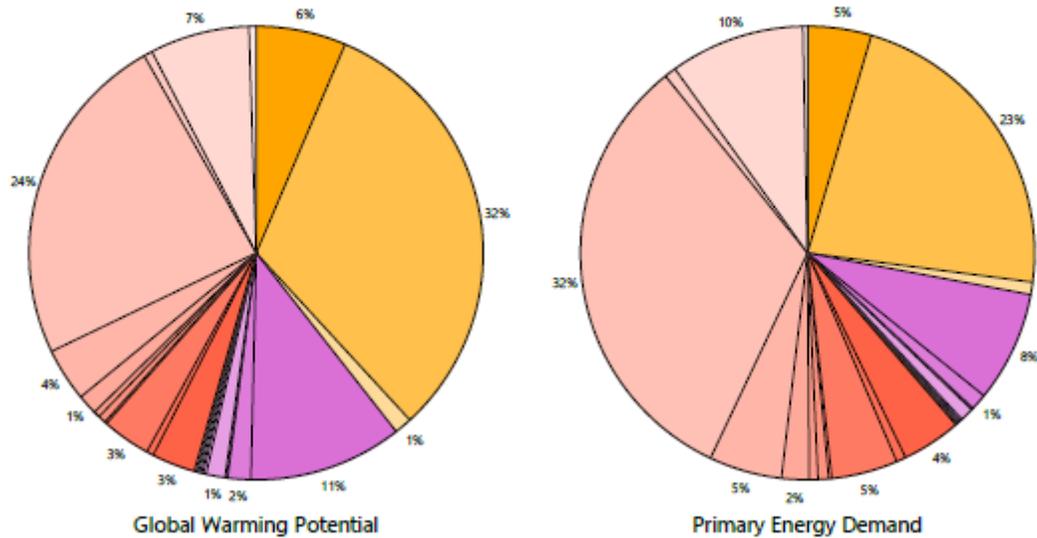
Structure

- Losa de cimentación 30 mm
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga cimentación 0,30x0,30
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,10x0,10
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,12x0,10
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga Cubierta 0,20x0,25
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga V1 0,15x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga V2 0,25x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga V3 0,25x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga V4 0,12x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga VE 0,15x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga VF 0,15x0,35

Walls

- Genérico - Albañilería 100 mm
- Genérico - Albañilería 110 mm
- Genérico - Albañilería 120 mm
- Genérico - Albañilería 150 mm
- Genérico - Albañilería 80 mm
- Genérico - Albañilería 90 mm
- Mamp a la vista 100 mm
- Mamp a la vista 120 mm
- Mamp estructural - 100 mm
- Mamp estructural - 120 mm
- Mamp estructural - 150 mm
- Muro en concreto - 200 mm

Results per Revit Category, itemized by Family



Legend

Floors

- Contrapiso en concreto 100 mm
- Losa maciza en concreto 100 mm
- Losa maciza en concreto 150 mm

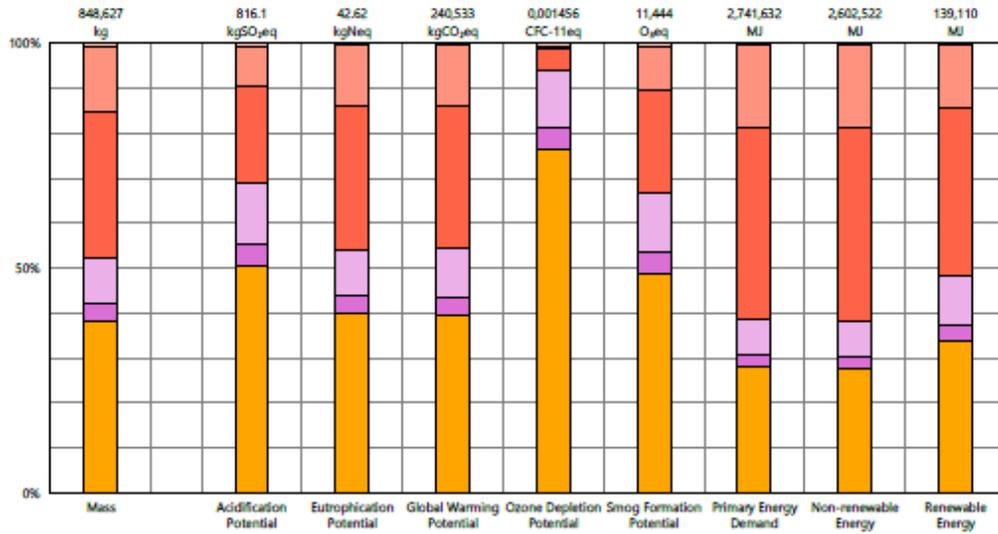
Structure

- Losa de cimentación 30 mm
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga cimentación 0,30x0,30
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,10x0,10
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,12x0,10
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga Cubierta 0,20x0,25
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga V1 0,15x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga V2 0,25x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga V3 0,25x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga V4 0,12x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga VE 0,15x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga VF 0,15x0,35

Walls

- Genérico - Albañilería 100 mm
- Genérico - Albañilería 110 mm
- Genérico - Albañilería 120 mm
- Genérico - Albañilería 150 mm
- Genérico - Albañilería 80 mm
- Genérico - Albañilería 90 mm
- Mamp a la vista 100 mm
- Mamp a la vista 120 mm
- Mamp estructural - 100 mm
- Mamp estructural - 120 mm
- Mamp estructural - 150 mm
- Muro en concreto - 200 mm

Results per Revit Category, itemized by Tally Entry



Legend

Floors

Reinforced slab, exclusive of deck

Structure

Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)

Reinforced concrete footing

Walls

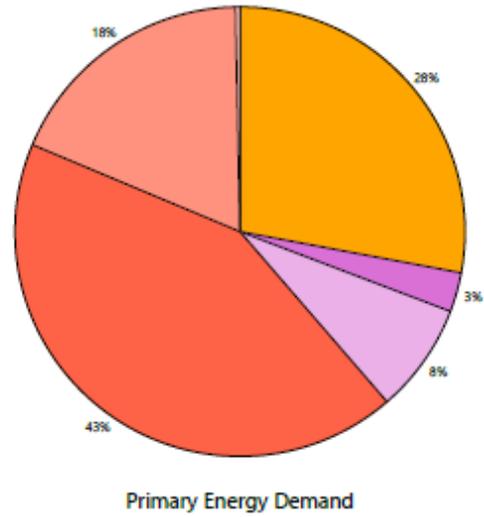
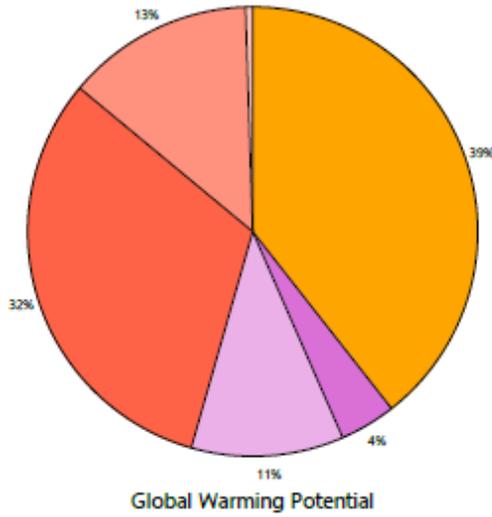
Brick, generic, grouted

Brick, ungrouted

Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)

Results per Revit Category, itemized by Tally Entry

---



Legend

Floors

Reinforced slab, exclusive of deck

Structure

Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)

Reinforced concrete footing

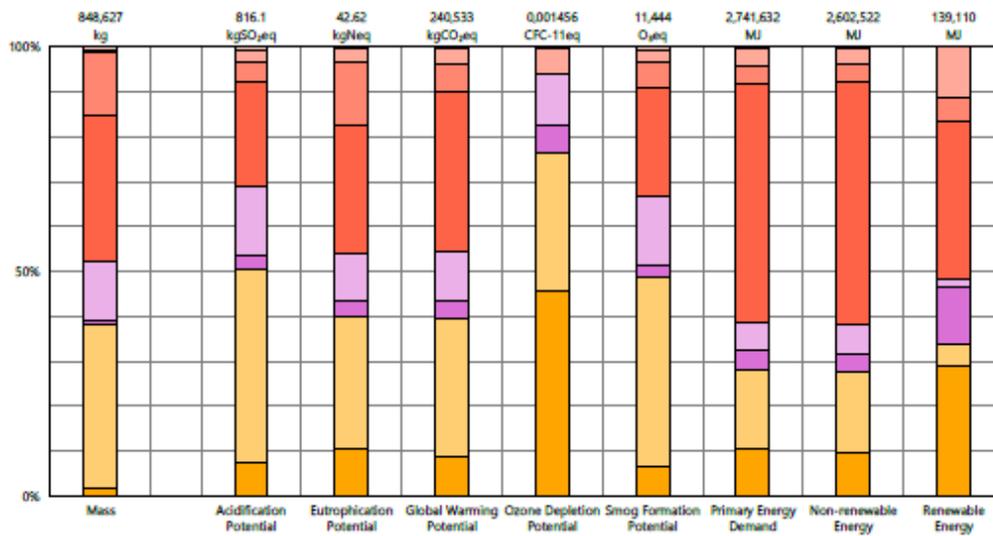
Walls

Brick, generic, grouted

Brick, ungrouted

Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)

Results per Revit Category, itemized by Material



Legend

Floors

- Steel, welded wire mesh
- Structural concrete, 3000 psi, generic

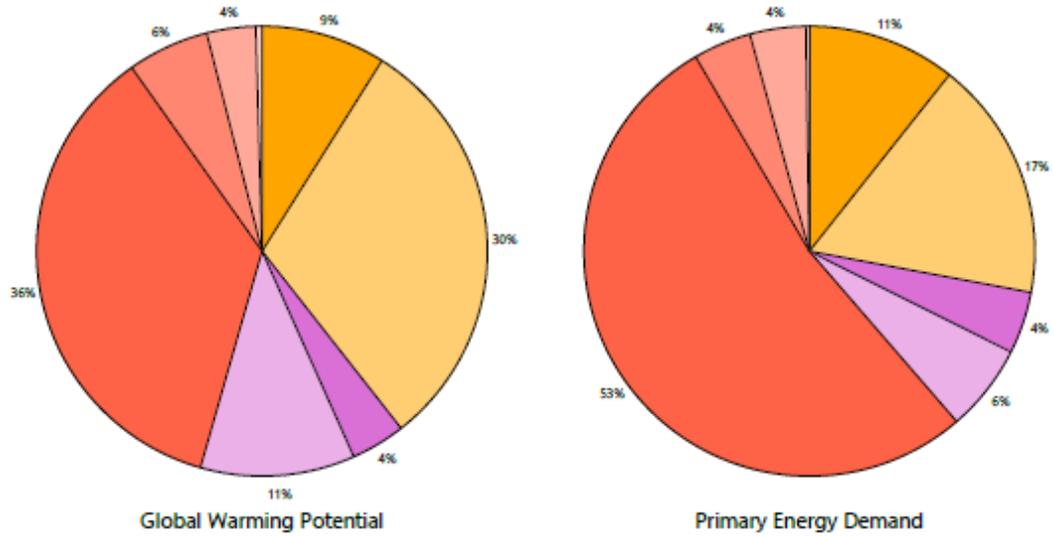
Structure

- Steel, reinforcing rod
- Structural concrete, 3000 psi, generic

Walls

- Brick, generic
- Mortar type N
- Steel, reinforcing rod
- Structural concrete, 3000 psi, generic

Results per Revit Category, itemized by Material



Legend

Floors

- Steel, welded wire mesh
- Structural concrete, 3000 psi, generic

Structure

- Steel, reinforcing rod
- Structural concrete, 3000 psi, generic

Walls

- Brick, generic
- Mortar type N
- Steel, reinforcing rod
- Structural concrete, 3000 psi, generic

## Calculation Methodology

### Studied objects

The LCA results in the report represent either an analysis of a single building, or a comparative analysis of two or more building design options. The single building may represent the complete architectural, structural, and finish systems of a building or a subset of those systems, and it may be used to compare the relative contributions of building systems to environmental impacts and for comparative study with one or more reference buildings. The comparison of design options may represent a full building in various stages of the design process, or they may represent multiple schemes of a full or partial building that are being compared to one another across a range of evaluation criteria.

### Functional unit and reference flow

The functional unit of the analysis is the usable floor space of the building under study. For a design option comparison of a partial building, the functional unit is the complete set of building systems that performs a given function. The reference flow is the amount of material required to produce a building, or portion thereof, designed according to the given goal and scope of the assessment, over the full life of the building. If operational energy is included in the assessment the reference flow also includes the electrical and thermal energy consumed on site over the life of the building. It is the responsibility of the modeler to assure that reference buildings or design options are functionally equivalent in terms of scope, size, and relevant performance. The expected life of the building has a default value of 60 years and can be modified by the model author.

### System boundaries and delimitations

The analysis accounts for the full cradle-to-grave life cycle of the design options studied, including material manufacturing, maintenance and replacement, and eventual end-of-life (disposal, incineration, and/or recycling), including the materials and energy used across all life cycle stages. Optionally, the operational energy of the building can be included within the scope.

Architectural materials and assemblies include all materials required for the product's manufacturing and use (including hardware, sealants, adhesives, coatings, and finishing, etc.) up to a 1% cut-off factor by mass with the exception of known materials that have high environmental impacts at low levels. In these cases, a 1% cut-off was implemented by impact.

Manufacturing includes cradle-to-gate manufacturing wherever possible. This includes raw material extraction and processing, intermediate transportation, and final manufacturing and assembly. Due to data limitations, however, some manufacturing steps have been excluded, such as the material and energy requirements for assembling doors and windows. The manufacturing scope is listed for each entry, detailing any specific inclusions or exclusions that fall outside of the cradle-to-gate scope.

Transportation of upstream raw materials or intermediate products to final manufacturing is generally included in the GaBi datasets utilized within this tool. Transportation requirements between the manufacturer and installation of the product, and at the end-of-life of the product, are excluded from this study.

Infrastructure (buildings and machinery) required for the manufacturing and assembly of building materials, as well as packaging materials, are not included and are considered outside the scope of assessment.

Maintenance and replacement encompasses the replacement of materials in accordance with the expected service life. This includes the end-of-life treatment of the existing products and cradle-to-gate manufacturing of the replacement products. The service life is specified separately for each product.

Operational energy treatment is based on the anticipated energy consumed at the building site over the lifetime of the building. Each energy dataset includes relevant upstream impacts associated with extraction of energy resources (e.g., coal, crude oil), refining, combustion, transmission, losses, and other associated factors. US electricity generation datasets are based on subregions from US EPA's eGRID2012 database v1.0, but adapted to account for imports and exports into these regions. These consumption mixes - unique to the GaBi databases - provide a more accurate reflection of impacts associated with electricity consumption.

End-of-life treatment is based on average US construction and demolition waste treatment methods and rates. This includes the relevant material collection rates for recycling, processing requirements for recycled materials, incineration rates, and landfilling rates. Along with processing requirements, the recycling of materials is modeled using an avoided burden approach, where the burden of primary material production is allocated to the subsequent life cycle based on the quantity of recovered secondary material. Incineration of materials includes credit for average US energy recovery rates. The impacts associated with landfilling are based on average material properties, such as plastic waste, biodegradable waste, or inert material. Specific end-of-life scenarios are detailed for each entry.

### Data source and quality

Tally utilizes a custom designed LCA database that combines material attributes, assembly details, and engineering and architectural specifications with environmental impact data resulting from the collaboration between KieranTimberlake and thinkstep. LCA modeling was conducted in GaBi 6 using GaBi databases and in accordance with [GaBi database and modeling principles](#).

Geography and date: The data used are intended to represent the US and the year 2013. Where representative data were unavailable, proxy data were used. The datasets used, their geographic region, and year of reference are listed for each entry. An effort was made to choose proxy datasets that are technologically consistent with the relevant entry.

Uncertainty in results can stem from both the data used and the application of the data. Data quality is judged by its precision (measured, calculated, or estimated), completeness (e.g., unreported emissions), consistency (degree of uniformity of the methodology applied on a study serving as a data source), and representativeness (geographical, temporal, and technological). The LCI data sets from the [GaBi LCI databases](#) have been used in LCA models worldwide in industrial and scientific applications, both as internal and critically reviewed and published studies. The uncertainty introduced by the use of any proxy data is reduced by using technologically, geographically, and/or temporally similar data. It is the responsibility of the modeler to apply the predefined material entries appropriately to the building under study.

Tally methodology is consistent with LCA standards ISO 14040-14044.

## Glossary of LCA Terminology

---

### Environmental Impact Categories

The following list provides a description of environmental impact categories reported according to the TRACI 2.1 characterization scheme. References: [Bare 2010, EPA 2012, Guinée 2001]

#### **Acidification Potential (AP)** kg SO<sub>2</sub> eq

A measure of emissions that cause acidifying effects to the environment. The acidification potential is a measure of a molecule's capacity to increase the hydrogen ion (H<sup>+</sup>) concentration in the presence of water, thus decreasing the pH value. Potential effects include fish mortality, forest decline, and the deterioration of building materials.

#### **Eutrophication Potential (EP)** kg N eq

Eutrophication covers potential impacts of excessively high levels of macronutrients, the most important of which are nitrogen (N) and phosphorus (P). Nutrient enrichment may cause an undesirable shift in species composition and elevated biomass production in both aquatic and terrestrial ecosystems. In aquatic ecosystems increased biomass production may lead to depressed oxygen levels, because of the additional consumption of oxygen in biomass decomposition.

#### **Global Warming Potential (GWP)** kg CO<sub>2</sub> eq

A measure of greenhouse gas emissions, such as carbon dioxide and methane. These emissions are causing an increase in the absorption of radiation emitted by the earth, increasing the natural greenhouse effect. This may in turn have adverse impacts on ecosystem health, human health, and material welfare.

#### **Ozone Depletion Potential (ODP)** kg CFC-11 eq

A measure of air emissions that contribute to the depletion of the stratospheric ozone layer. Depletion of the ozone leads to higher levels of UVB ultraviolet rays reaching the earth's surface with detrimental effects on humans and plants.

#### **Smog Formation Potential (SFP)** kg O<sub>3</sub> eq

Ground level ozone is created by various chemical reactions, which occur between nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) and volatile organic compounds (VOCs) in sunlight. Human health effects can result in a variety of respiratory issues including increasing symptoms of bronchitis, asthma, and emphysema. Permanent lung damage may result from prolonged exposure to ozone. Ecological impacts include damage to various ecosystems and crop damage. The primary sources of ozone precursors are motor vehicles, electric power utilities, and industrial facilities.

#### **Primary Energy Demand (PED)** MJ (lower heating value)

A measure of the total amount of primary energy extracted from the earth. PED is expressed in energy demand from non-renewable resources (e.g. petroleum, natural gas, etc.) and energy demand from renewable resources (e.g. hydropower, wind energy, solar, etc.). Efficiencies in energy conversion (e.g. power, heat, steam, etc.) are taken into account.

## LCA Metadata

### NOTES

The following list provides a summary of all materials and energy inputs present in the selected study. Materials are listed in alphabetical order along with a list of all Revit families and Tally entries in which they occur and any notes and system boundaries accompanying their database entries. The mass given here refers to the full life-cycle mass of material, including manufacturing and replacement.

<b>Brick, generic</b>	<b>273,658.5 kg</b>
Used in the following Revit families:	
Genérico - Albalífera 100 mm	19,700.7 kg
Genérico - Albalífera 110 mm	3,186.0 kg
Genérico - Albalífera 120 mm	22,144.1 kg
Genérico - Albalífera 150 mm	995.1 kg
Genérico - Albalífera 80 mm	3,532.9 kg
Genérico - Albalífera 90 mm	2,855.2 kg
Mamp a la vista 100 mm	9,149.0 kg
Mamp a la vista 120 mm	24,362.0 kg
Mamp estructural - 100 mm	140,845.4 kg
Mamp estructural - 120 mm	3,701.1 kg
Mamp estructural - 150 mm	43,187.0 kg
Used in the following Tally entries:	
Brick, generic, grouted	
Brick, ungrouted	
Description:	
Generic brick, 3.675 x 2.25 x 8	
Life Cycle Inventory:	
2000 kg/m <sup>3</sup> fired brick	
Manufacturing Scope:	
Cradle to gate	
excludes mortar	
anchors, ties, and metal accessories outside of scope (<1% mass)	
End of Life Scope:	
50% recycled into coarse aggregate (includes grinding energy and avoided burden credit)	
50% landfilled (inert material)	
Entry Source:	
DE: Stoneware tiles, unglazed (EN15804 A1-A3) PE (2012)	
<b>Mortar type N</b>	<b>118,861.8 kg</b>
Used in the following Revit families:	
Genérico - Albalífera 100 mm	8,556.9 kg
Genérico - Albalífera 110 mm	1,383.8 kg
Genérico - Albalífera 120 mm	9,618.1 kg
Genérico - Albalífera 150 mm	432.2 kg
Genérico - Albalífera 80 mm	1,534.5 kg
Genérico - Albalífera 90 mm	1,240.2 kg
Mamp a la vista 100 mm	3,973.8 kg
Mamp a la vista 120 mm	10,581.5 kg
Mamp estructural - 100 mm	61,175.3 kg
Mamp estructural - 120 mm	1,607.6 kg
Mamp estructural - 150 mm	18,758.0 kg
Used in the following Tally entries:	
Brick, generic, grouted	
Brick, ungrouted	
Description:	
Mortar Type N (moderate strength mortar for use in masonry walls and flooring)	
Life Cycle Inventory:	
77% aggregate	
12% cement	
11% water	
Manufacturing Scope:	
Cradle to gate	
End of Life Scope:	
50% recycled into coarse aggregate (includes grinding energy and avoided burden credit)	
50% landfilled (inert material)	
Entry Source:	
DE: Masonry mortar (MG II a) PE (2012)	

<b>Steel, reinforcing rod</b>	<b>13,941.0 kg</b>
Used in the following Revit families:	
Genérico - Albalífera 100 mm	178.5 kg
Genérico - Albalífera 110 mm	26.2 kg
Genérico - Albalífera 120 mm	167.2 kg
Genérico - Albalífera 150 mm	6.0 kg
Genérico - Albalífera 80 mm	40.0 kg
Genérico - Albalífera 90 mm	28.7 kg
Los de cimentación 30 mm	5,539.2 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga cimentacion 0,30x0,30	823.3 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,10x0,10	20.0 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,12x0,10	29.4 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga Cubierta 0,20x0,25	677.4 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga V1 0,15x0,35	42.9 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga V2 0,25x0,35	29.8 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga V3 0,25x0,35	57.5 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga V4 0,12x0,35	47.4 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga VE 0,15x0,35	34.7 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga VF 0,15x0,35	44.9 kg
Mamp a la vista 100 mm	82.9 kg
Mamp a la vista 120 mm	183.9 kg
Mamp estructural - 100 mm	4,694.8 kg
Mamp estructural - 120 mm	102.8 kg
Mamp estructural - 150 mm	959.7 kg
Muro en concreto - 200 mm	123.6 kg
Used in the following Tally entries:	
Brick, generic, grouted	
Brick, ungrouted	
Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)	
Reinforced concrete footing	
Description:	
Steel rod suitable for structural reinforcement (rebar), common unfinished tempered steel	
Life Cycle Inventory:	
Steel rebar	
Manufacturing Scope:	
Cradle to gate	
End of Life Scope:	
70% recovered (product has 69.8% scrap input while remainder is processed and credited as avoided burden)	
30% landfilled (inert material)	
Entry Source:	
GLO: Steel rebar worldsteel (2007)	
<b>Steel, welded wire mesh</b>	<b>13,825.5 kg</b>
Used in the following Revit families:	
Contrapiso en concreto 100 mm	2,245.7 kg
Los de madraza en concreto 100 mm	11,140.7 kg
Los de madraza en concreto 150 mm	439.1 kg
Used in the following Tally entries:	
Reinforced slab, exclusive of deck	
Description:	
Steel rods further processed into wires	
Life Cycle Inventory:	
Steel wire (same as Steel, cable)	
Manufacturing Scope:	
Cradle to gate	
End of Life Scope:	
98% recovered (product has 27.6% scrap input while remainder is processed and credited as avoided burden)	
2% landfilled (inert material)	
Entry Source:	
GLO: Steel wire rod worldsteel (2007)	
DE: Copper wire (0.6 mm) PE (2011)	
US: Electricity grid mix PE (2010)	
US: Thermal energy from natural gas PE (2010)	

## LCA Metadata (continued)

<b>Structural concrete, 3000 psi, generic</b>	<b>428,340.1 kg</b>
Used in the following Revit families:	
Contrapiso en concreto 100 mm	50,492.9 kg
Los de cimentación 30 mm	81,628.6 kg
Los de madiza en concreto 100 mm	250,492.9 kg
Los de madiza en concreto 150 mm	9,873.6 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga cimentacion 0,30x0,30	12,132.3 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,10x0,10	665.6 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,12x0,10	980.4 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga Cubierta 0,20x0,25	10,050.8 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga V1 0,15x0,35	1,947.8 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga V2 0,25x0,35	1,354.4 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga V3 0,25x0,35	1,292.2 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga V4 0,12x0,35	1,066.5 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga VE 0,15x0,35	781.1 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga VF 0,15x0,35	1,010.1 kg
Muro en concreto - 200 mm	4,570.9 kg
Used in the following Tally entries:	
Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)	
Reinforced concrete footing	
Reinforced slab, exclusive of deck	
Description:	
Structural concrete, generic, 3000 psi	
Life Cycle Inventory:	
13% cement	
40% gravel	
39% sand	
7% water	
Manufacturing Scope:	
Cradle to gate	
excludes mixing and pouring impacts	
End of Life Scope:	
50% recycled into coarse aggregate (includes grinding energy and avoided burden credit)	
50% landfilled (inert material)	
Entry Source:	
US: Portland cement, at plant USLCI/PE (2009)	
US: Tap water from groundwater PE (2012)	
EU-27: Gravel 2/32 PE (2012)	
US: Silica sand (Excavation and processing) PE (2012)	

**11. Anexo No. 3 – Informe de resultados de Tally, para modelo BIM en MC**

**Cala módulo A**

Full building summary

08/04/2016



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Bogotá

*tally*®

## Table of Contents

---

Report Summary	1
LCA Results	
Results per Life Cycle Stage	2
Results per Life Cycle Stage, itemized by CSI Division	4
Results per Life Cycle Stage, itemized by Revit Category	6
Results per CSI Division	8
Results per CSI Division, itemized by Tally Entry	10
Results per CSI Division, itemized by Material	12
Results per Revit Category	14
Results per Revit Category, itemized by Family	16
Results per Revit Category, itemized by Tally Entry	18
Results per Revit Category, itemized by Material	20
Appendix	
Calculation Methodology	22
Glossary of LCA Terminology	23
LCA Metadata	24

## Report Summary

---

### Created with Tally

Non-commercial Version 2015.08.31.01

**Author :** García López y Stand Villarreal  
**Company :** Pontificia Universidad Javeriana  
**Date :** 08/04/2016  
**Project :** Cala módulo A  
**Location :** Ciudad Verde, Soacha, Cundinamarca  
**Gross Area :** 1434 m<sup>2</sup>  
**Building Life :** 50

**Scope :** Cradle-to-Grave, exclusive of operational energy

### Goal of Assessment :

Carbon footprint for MAMPOSTERIA CONFINADA

### Object of Study

Revit Categories  
Ceilings, Curtainwall Mullions, Curtainwall Panels, Doors, Floors,  
Roofs, Stairs and Railings, Structure, Walls, Windows

Proyecto Cala Revit 2016 - MC v5

Worksets

Workset1

Phases created

CIM, EST, Existente, MAMP

Phases demolished

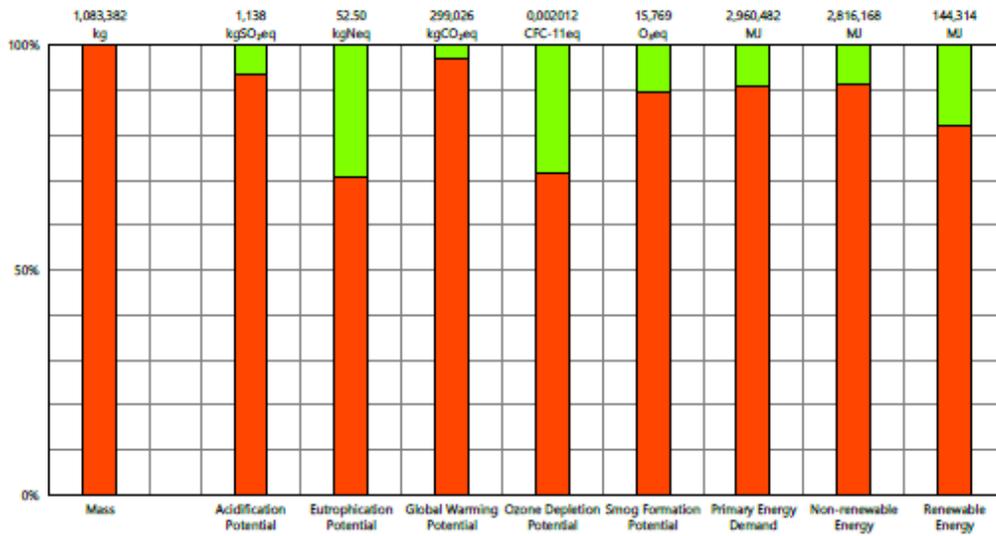
None

### Environmental Impacts per Full Building Life

#### Building Materials

Acidification Potential :	1,138 kgSO <sub>2</sub> eq	0,7938 kgSO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>
Eutrophication Potential :	52.50 kgNeq	0,03661 kgNeq/m <sup>2</sup>
Global Warming Potential :	299,026 kgCO <sub>2</sub> eq	208.5 kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup>
Ozone Depletion Potential :	0,002012 CFC-11eq	1.403E-006 CFC-11eq/m <sup>2</sup>
Smog Formation Potential :	15,769 O <sub>3</sub> eq	11.00 O <sub>3</sub> eq/m <sup>2</sup>
Primary Energy Demand :	2,960,482 MJ	2,064 MJ/m <sup>2</sup>
Non-renewable Energy :	2,816,168 MJ	1,964 MJ/m <sup>2</sup>
Renewable Energy :	144,314 MJ	100.6 MJ/m <sup>2</sup>

Results per Life Cycle Stage



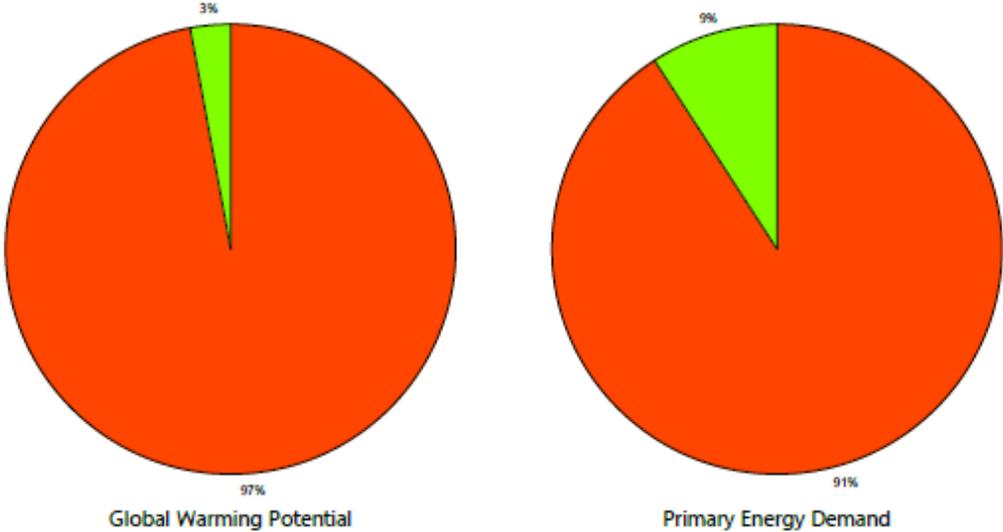
Legend

— Net value (impacts + credits)

Life Cycle Stages

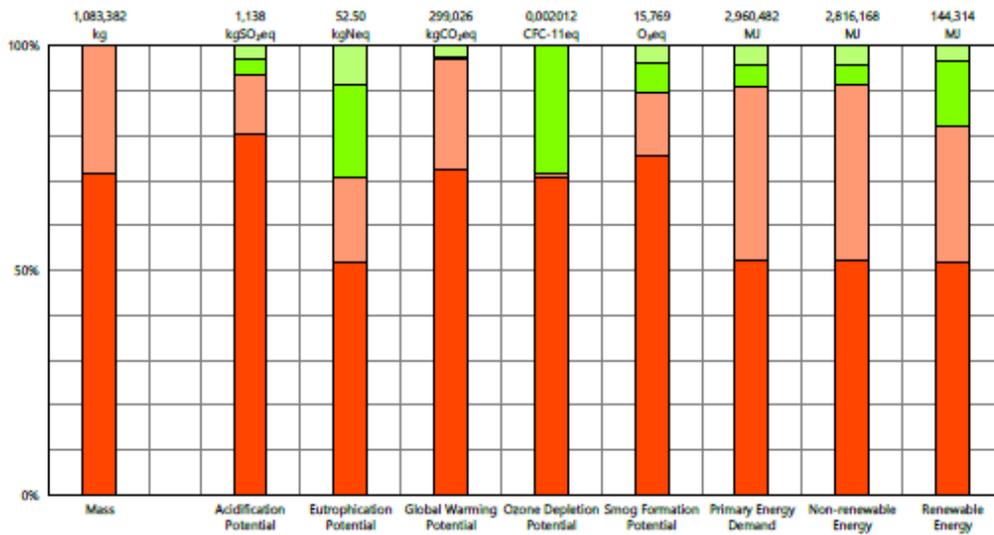
- Manufacturing
- Maintenance and Replacement
- End of Life

Results per Life Cycle Stage



**Legend**  
— Net value (impacts + credits)  
**Life Cycle Stages**  
Manufacturing  
Maintenance and Replacement  
End of Life

Results per Life Cycle Stage, itemized by CSI Division



Legend

— Net value (impacts + credits)

Manufacturing

- 03 - Concrete
- 04 - Masonry

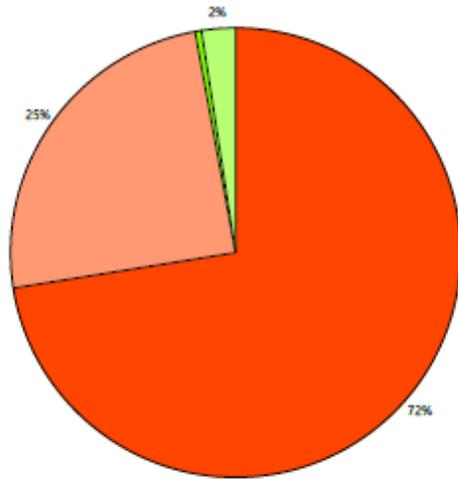
Maintenance and Replacement

- 03 - Concrete
- 04 - Masonry

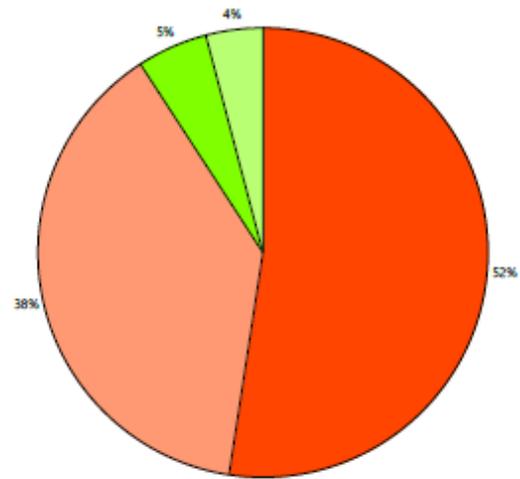
End of Life

- 03 - Concrete
- 04 - Masonry

Results per Life Cycle Stage, itemized by CSI Division



Global Warming Potential



Primary Energy Demand

Legend

— Net value (impacts + credits)

Manufacturing

03 - Concrete

04 - Masonry

Maintenance and Replacement

03 - Concrete

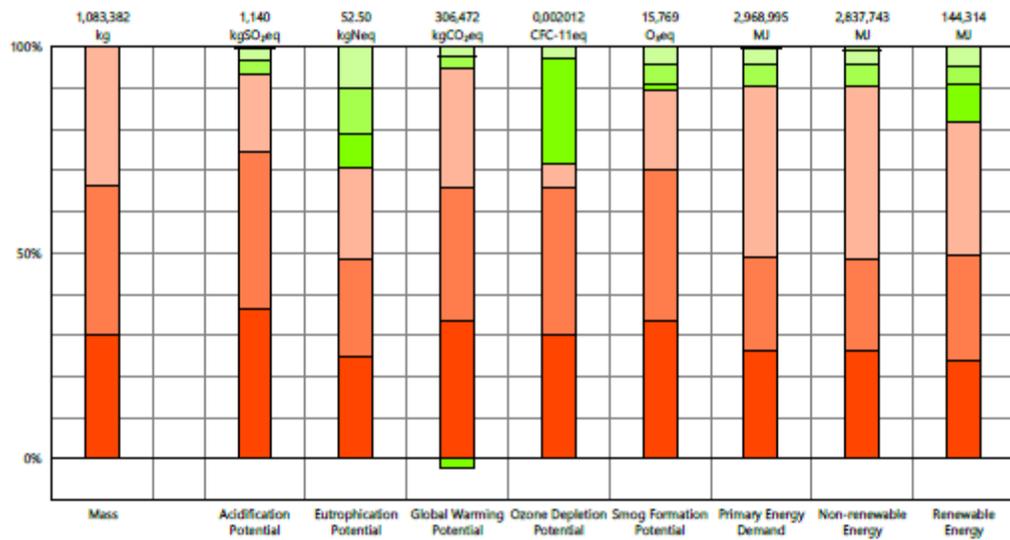
04 - Masonry

End of Life

03 - Concrete

04 - Masonry

Results per Life Cycle Stage, itemized by Revit Category



Legend

— Net value (impacts + credits)

Manufacturing

- Floors
- Structure
- Walls

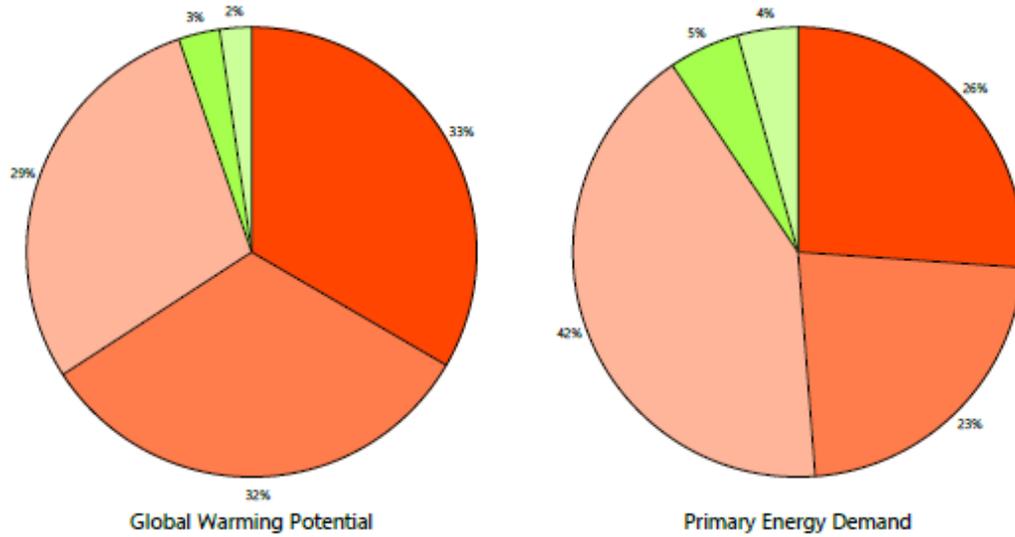
Maintenance and Replacement

- Floors
- Structure
- Walls

End of Life

- Floors
- Structure
- Walls

Results per Life Cycle Stage, itemized by Revit Category



Legend

— Net value (impacts + credits)

Manufacturing

- Floors
- Structure
- Walls

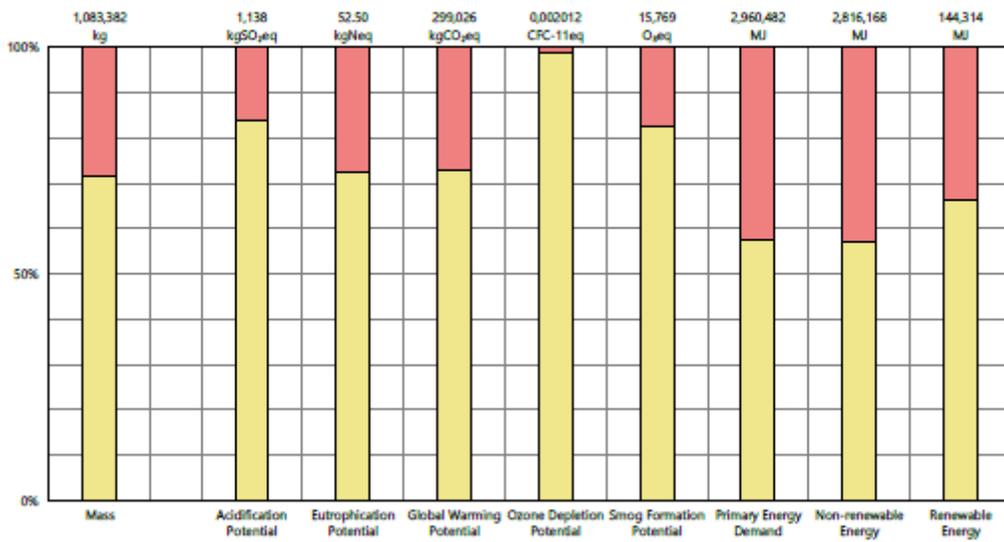
Maintenance and Replacement

- Floors
- Structure
- Walls

End of Life

- Floors
- Structure
- Walls

Results per CSI Division

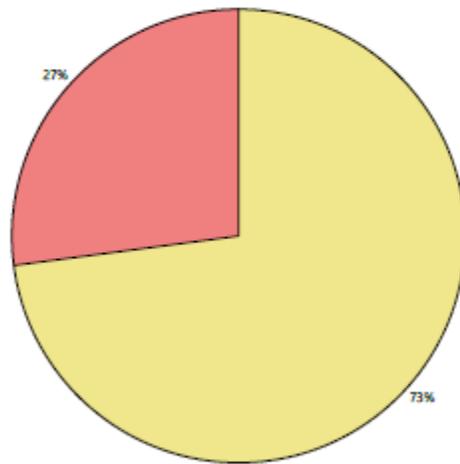


Legend

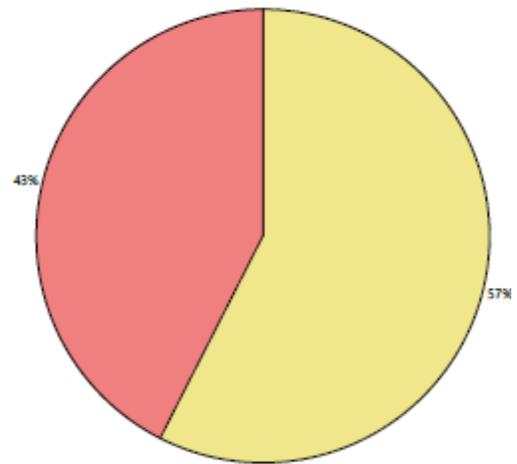
- CSI Divisions
- 03 - Concrete
  - 04 - Masonry

### Results per CSI Division

---



Global Warming Potential

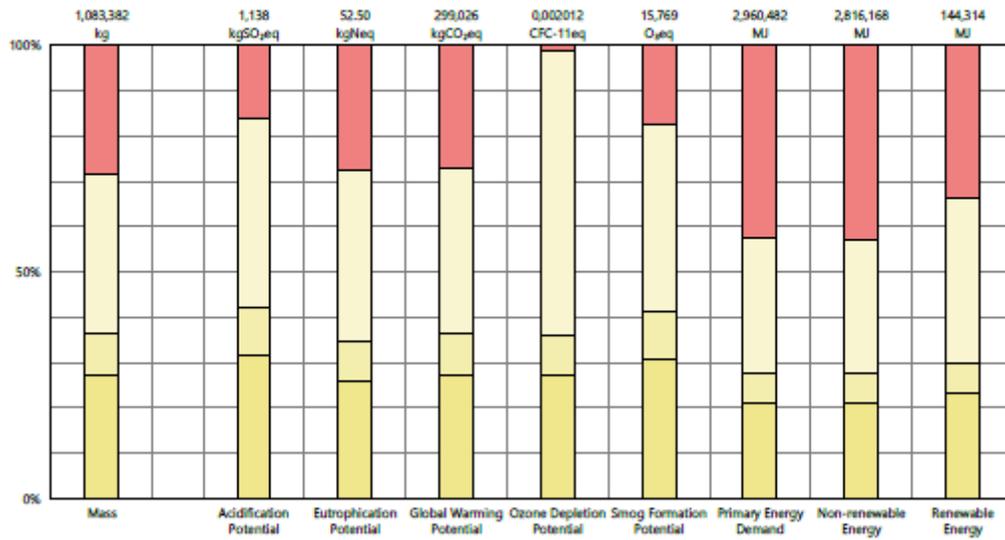


Primary Energy Demand

#### Legend

- CSI Divisions
- 03 - Concrete
  - 04 - Masonry

Results per CSI Division, itemized by Tally Entry

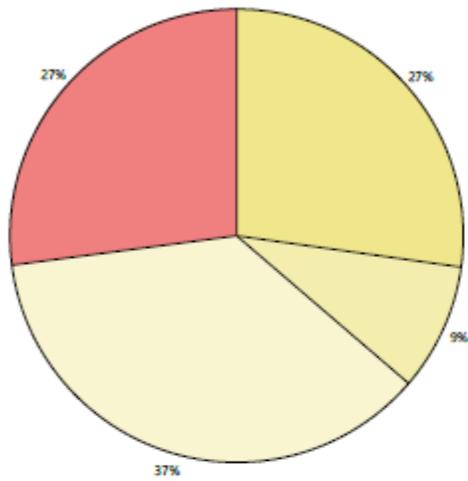


Legend

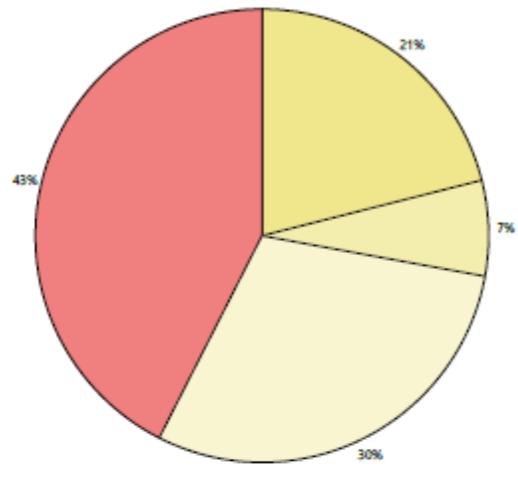
- 03 - Concrete
  - Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)
  - Reinforced concrete footing
  - Reinforced slab, exclusive of deck
- 04 - Masonry
  - Brick, ungrouted

Results per CSI Division, itemized by Tally Entry

---



Global Warming Potential



Primary Energy Demand

Legend

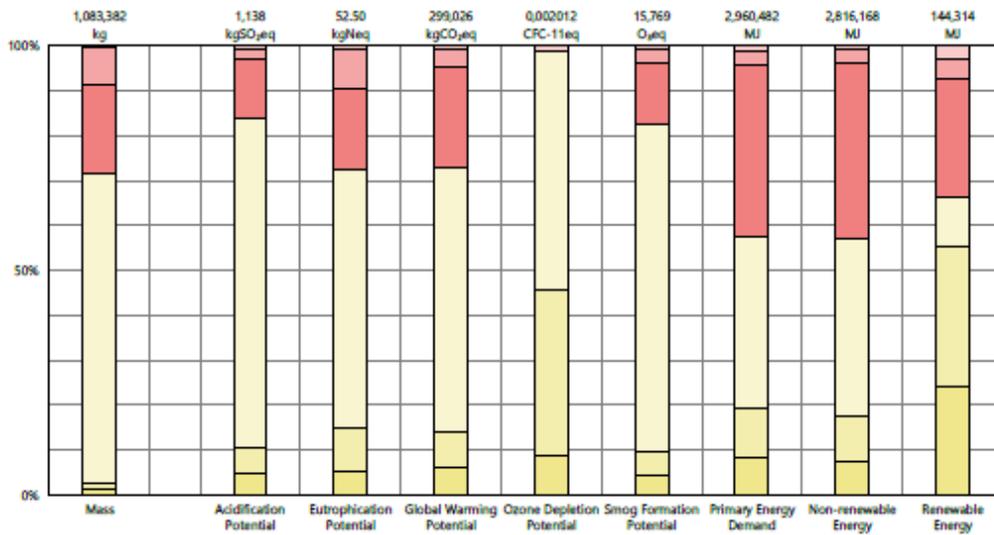
03 - Concrete

-  Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)
-  Reinforced concrete footing
-  Reinforced slab, exclusive of deck

04 - Masonry

-  Brick, ungrouted

Results per CSI Division, itemized by Material



Legend

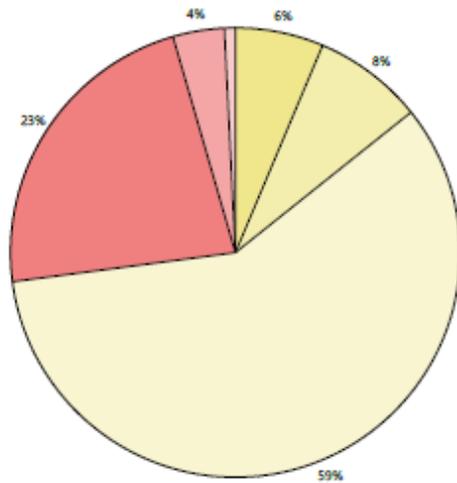
03 - Concrete

- Steel, reinforcing rod
- Steel, welded wire mesh
- Structural concrete, 3000 psi, generic

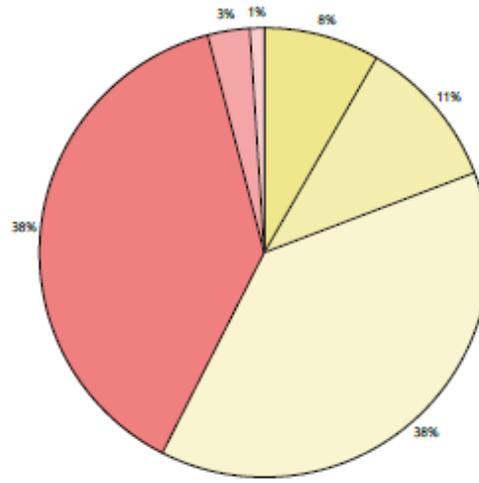
04 - Masonry

- Brick, generic
- Mortar type N
- Steel, reinforcing rod

Results per CSI Division, itemized by Material



Global Warming Potential



Primary Energy Demand

Legend

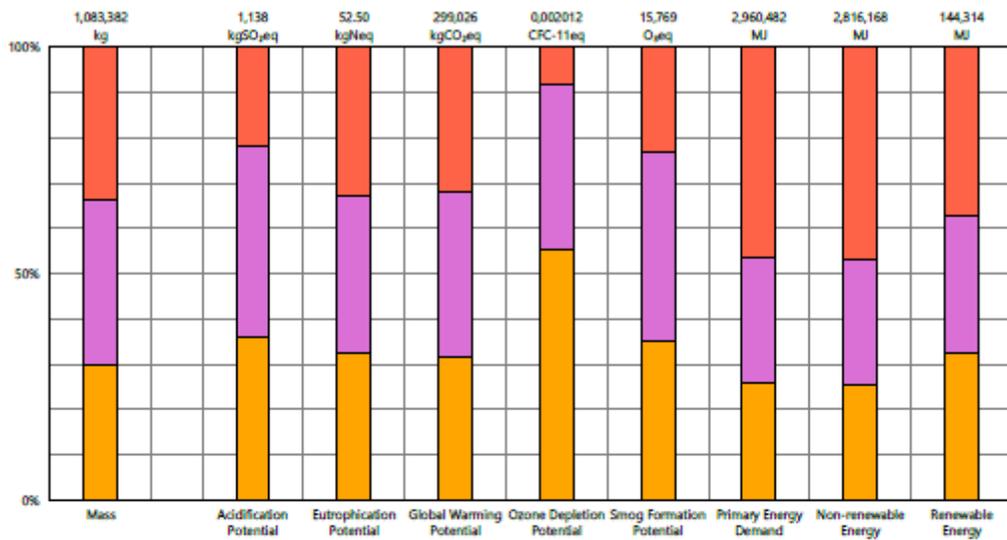
03 - Concrete

- Steel, reinforcing rod
- Steel, welded wire mesh
- Structural concrete, 3000 psi, generic

04 - Masonry

- Brick, generic
- Mortar type N
- Steel, reinforcing rod

### Results per Revit Category

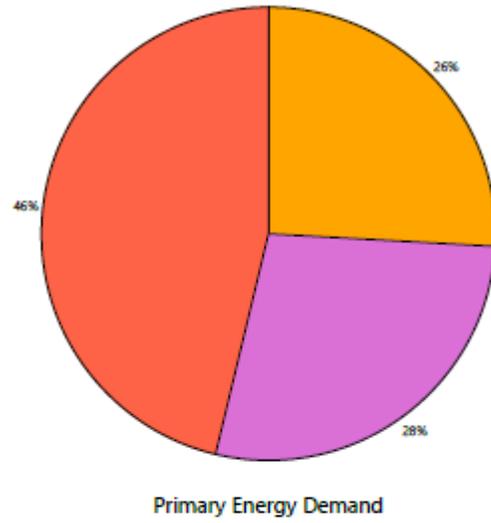
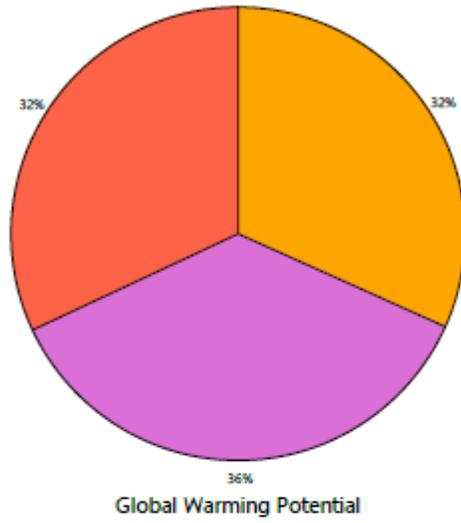


#### Legend

- Revit Categories
- Floors
  - Structure
  - Walls

### Results per Revit Category

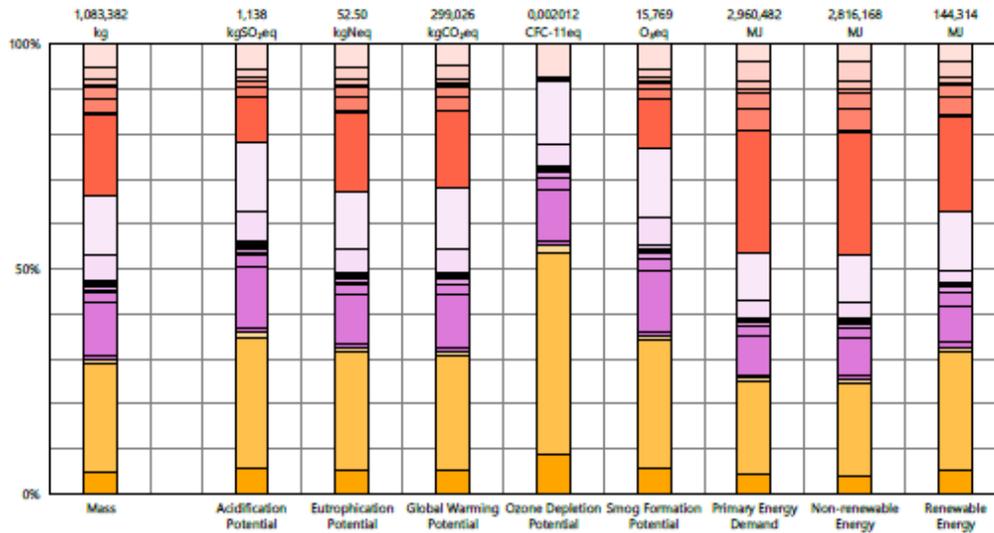
---



#### Legend

- Revit Categories
- Floors
  - Structure
  - Walls

Results per Revit Category, itemized by Family



Legend

Floors

- Contrapiso en concreto 100 mm
- Losa maciza en concreto 100 mm
- Losa maciza en concreto 150 mm

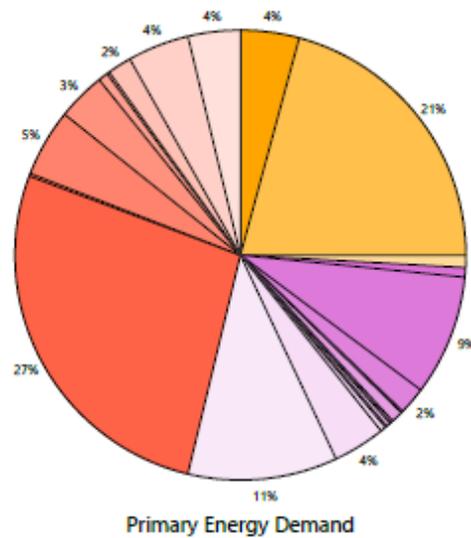
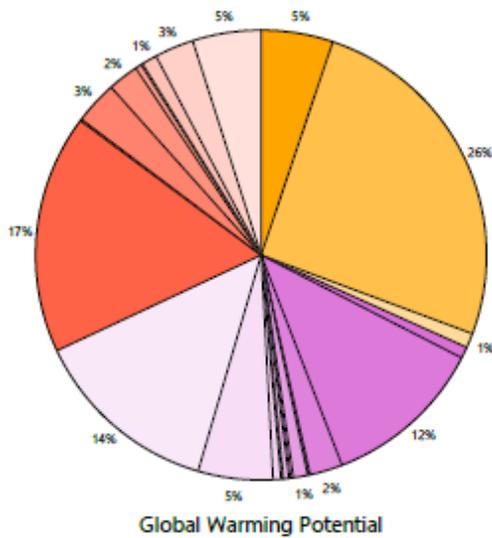
Structure

- Losa de cimentación 30 mm
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga 0,30x0,30
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga cimentación 0,30x0,30
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,10x0,10
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,12x0,10
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga Cubierta 0,20x0,25
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga V1 0,15x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga V2 0,25x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga V3 0,25x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga VE 0,15x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga VF 0,15x0,35
- M\_Footing-Rectangular: 1200 x 1200 x 350 mm
- M\_Footing-Rectangular: 1400 x 1400 x 350 mm
- M\_Homigón-Rectangular-Pilar: Columna 0,30x0,30

Walls

- Genérico - Albalilería 100 mm
- Genérico - Albalilería 110 mm
- Genérico - Albalilería 120 mm
- Genérico - Albalilería 150 mm
- Genérico - Albalilería 80 mm
- Genérico - Albalilería 90 mm
- Mamp a la vista 100 mm
- Mamp a la vista 120 mm
- Muro en concreto - 150 mm

Results per Revit Category, itemized by Family



Legend

Floors

- Contrapiso en concreto 100 mm
- Losa maciza en concreto 100 mm
- Losa maciza en concreto 150 mm

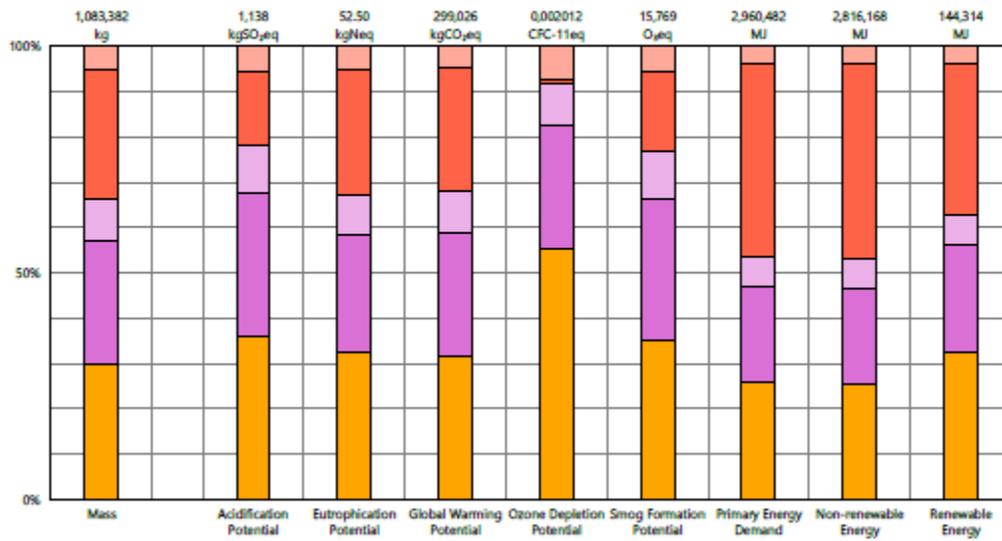
Structure

- Losa de cimentación 30 mm
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga 0,30x0,30
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga cimentación 0,30x0,30
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,10x0,10
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,12x0,10
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga Cubierta 0,20x0,25
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga V1 0,15x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga V2 0,25x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga V3 0,25x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga VE 0,15x0,35
- M\_Concrete-Rectangular Beam: Viga VF 0,15x0,35
- M\_Footing-Rectangular: 1200 x 1200 x 350 mm
- M\_Footing-Rectangular: 1400 x 1400 x 350 mm
- M\_Hormigón-Rectangular-Pilar: Columna 0,30x0,30

Walls

- Genérico - Albalilería 100 mm
- Genérico - Albalilería 110 mm
- Genérico - Albalilería 120 mm
- Genérico - Albalilería 150 mm
- Genérico - Albalilería 80 mm
- Genérico - Albalilería 90 mm
- Mamp a la vista 100 mm
- Mamp a la vista 120 mm
- Muro en concreto - 150 mm

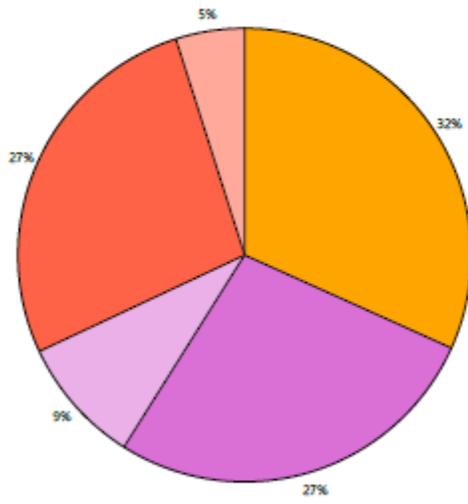
Results per Revit Category, itemized by Tally Entry



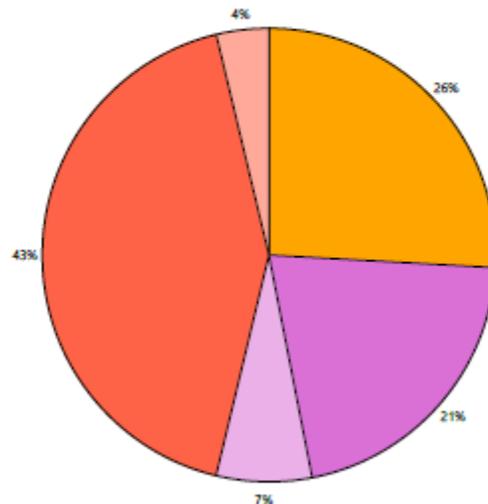
Legend

- Floors**
  - Reinforced slab, exclusive of deck
- Structure**
  - Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)
  - Reinforced concrete footing
- Walls**
  - Brick, ungrouted
  - Reinforced slab, exclusive of deck

Results per Revit Category, itemized by Tally Entry



Global Warming Potential



Primary Energy Demand

Legend

Floors

Reinforced slab, exclusive of deck

Structure

Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)

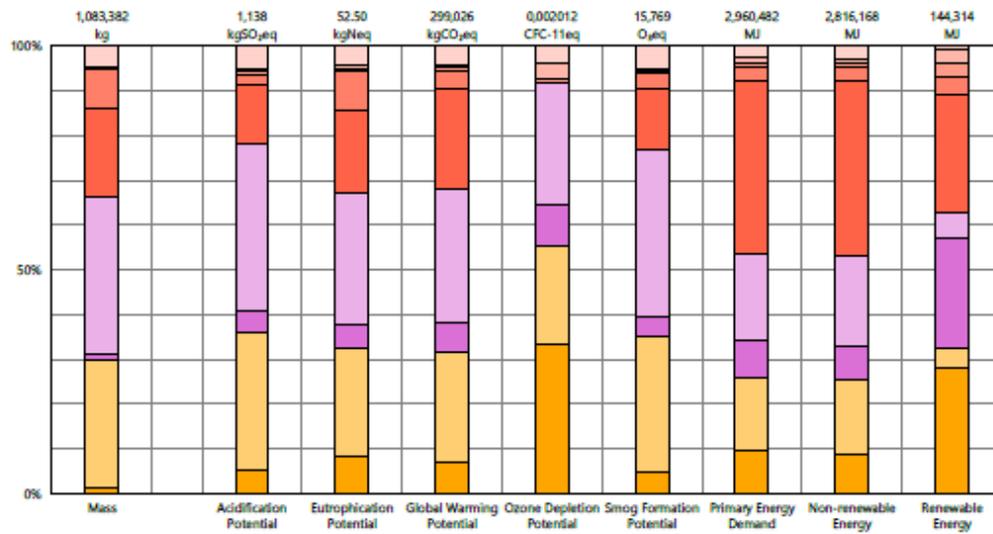
Reinforced concrete footing

Walls

Brick, ungrouted

Reinforced slab, exclusive of deck

Results per Revit Category, itemized by Material



Legend

Floors

- Steel, welded wire mesh
- Structural concrete, 3000 psi, generic

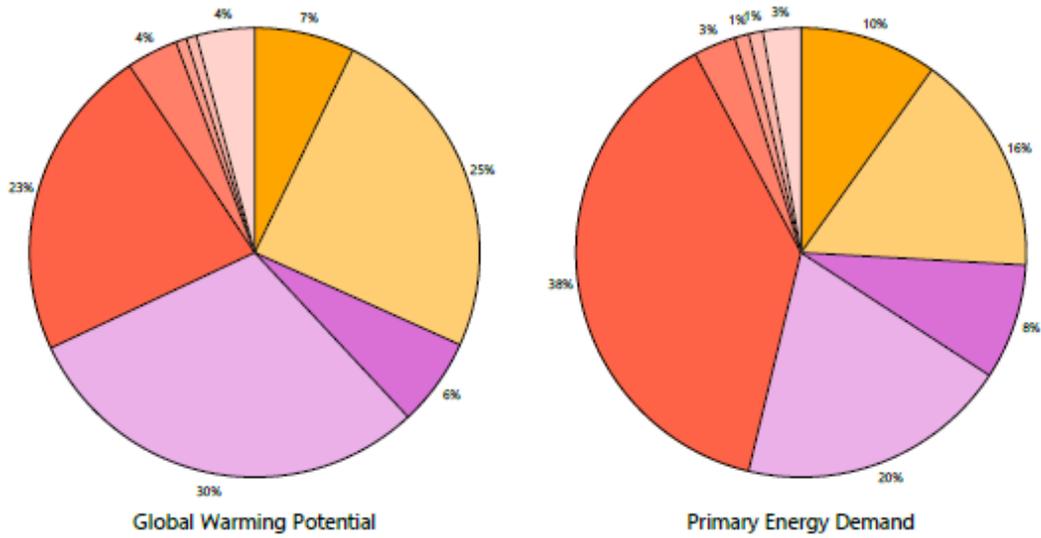
Structure

- Steel, reinforcing rod
- Structural concrete, 3000 psi, generic

Walls

- Brick, generic
- Mortar type N
- Steel, reinforcing rod
- Steel, welded wire mesh
- Structural concrete, 3000 psi, generic

Results per Revit Category, itemized by Material



Legend

Floors

- Steel, welded wire mesh
- Structural concrete, 3000 psi, generic

Structure

- Steel, reinforcing rod
- Structural concrete, 3000 psi, generic

Walls

- Brick, generic
- Mortar type N
- Steel, reinforcing rod
- Steel, welded wire mesh
- Structural concrete, 3000 psi, generic

## Calculation Methodology

### Studied objects

The LCA results in the report represent either an analysis of a single building, or a comparative analysis of two or more building design options. The single building may represent the complete architectural, structural, and finish systems of a building or a subset of those systems, and it may be used to compare the relative contributions of building systems to environmental impacts and for comparative study with one or more reference buildings. The comparison of design options may represent a full building in various stages of the design process, or they may represent multiple schemes of a full or partial building that are being compared to one another across a range of evaluation criteria.

### Functional unit and reference flow

The functional unit of the analysis is the usable floor space of the building under study. For a design option comparison of a partial building, the functional unit is the complete set of building systems that performs a given function. The reference flow is the amount of material required to produce a building, or portion thereof, designed according to the given goal and scope of the assessment, over the full life of the building. If operational energy is included in the assessment the reference flow also includes the electrical and thermal energy consumed on site over the life of the building. It is the responsibility of the modeler to assure that reference buildings or design options are functionally equivalent in terms of scope, size, and relevant performance. The expected life of the building has a default value of 60 years and can be modified by the model author.

### System boundaries and delimitations

The analysis accounts for the full cradle-to-grave life cycle of the design options studied, including material manufacturing, maintenance and replacement, and eventual end-of-life (disposal, incineration, and/or recycling), including the materials and energy used across all life cycle stages. Optionally, the operational energy of the building can be included within the scope.

Architectural materials and assemblies include all materials required for the product's manufacturing and use (including hardware, sealants, adhesives, coatings, and finishing, etc.) up to a 1% cut-off factor by mass with the exception of known materials that have high environmental impacts at low levels. In these cases, a 1% cut-off was implemented by impact.

Manufacturing includes cradle-to-gate manufacturing wherever possible. This includes raw material extraction and processing, intermediate transportation, and final manufacturing and assembly. Due to data limitations, however, some manufacturing steps have been excluded, such as the material and energy requirements for assembling doors and windows. The manufacturing scope is listed for each entry, detailing any specific inclusions or exclusions that fall outside of the cradle-to-gate scope.

Transportation of upstream raw materials or intermediate products to final manufacturing is generally included in the GaBi datasets utilized within this tool. Transportation requirements between the manufacturer and installation of the product, and at the end-of-life of the product, are excluded from this study.

Infrastructure (buildings and machinery) required for the manufacturing and assembly of building materials, as well as packaging materials, are not included and are considered outside the scope of assessment.

Maintenance and replacement encompasses the replacement of materials in accordance with the expected service life. This includes the end-of-life treatment of the existing products and cradle-to-gate manufacturing of the replacement products. The service life is specified separately for each product.

Operational energy treatment is based on the anticipated energy consumed at the building site over the lifetime of the building. Each energy dataset includes relevant upstream impacts associated with extraction of energy resources (e.g., coal, crude oil), refining, combustion, transmission, losses, and other associated factors. US electricity generation datasets are based on subregions from US EPA's eGRID2012 database v1.0, but adapted to account for imports and exports into these regions. These consumption mixes - unique to the GaBi databases - provide a more accurate reflection of impacts associated with electricity consumption.

End-of-life treatment is based on average US construction and demolition waste treatment methods and rates. This includes the relevant material collection rates for recycling, processing requirements for recycled materials, incineration rates, and landfilling rates. Along with processing requirements, the recycling of materials is modeled using an avoided burden approach, where the burden of primary material production is allocated to the subsequent life cycle based on the quantity of recovered secondary material. Incineration of materials includes credit for average US energy recovery rates. The impacts associated with landfilling are based on average material properties, such as plastic waste, biodegradable waste, or inert material. Specific end-of-life scenarios are detailed for each entry.

### Data source and quality

Tally utilizes a custom designed LCA database that combines material attributes, assembly details, and engineering and architectural specifications with environmental impact data resulting from the collaboration between KieranTimberlake and thinkstep. LCA modeling was conducted in GaBi 6 using GaBi databases and in accordance with [GaBi database and modeling principles](#).

Geography and date: The data used are intended to represent the US and the year 2013. Where representative data were unavailable, proxy data were used. The datasets used, their geographic region, and year of reference are listed for each entry. An effort was made to choose proxy datasets that are technologically consistent with the relevant entry.

Uncertainty in results can stem from both the data used and the application of the data. Data quality is judged by its precision (measured, calculated, or estimated), completeness (e.g., unreported emissions), consistency (degree of uniformity of the methodology applied on a study serving as a data source), and representativeness (geographical, temporal, and technological). The LCI data sets from the [GaBi LCI databases](#) have been used in LCA models worldwide in industrial and scientific applications, both as internal and critically reviewed and published studies. The uncertainty introduced by the use of any proxy data is reduced by using technologically, geographically, and/or temporally similar data. It is the responsibility of the modeler to apply the predefined material entries appropriately to the building under study.

Tally methodology is consistent with LCA standards ISO 14040-14044.

## Glossary of LCA Terminology

---

### Environmental Impact Categories

The following list provides a description of environmental impact categories reported according to the TRACI 2.1 characterization scheme. References: [Bare 2010, EPA 2012, Guinée 2001]

**Acidification Potential (AP)** kg SO<sub>2</sub> eq

A measure of emissions that cause acidifying effects to the environment. The acidification potential is a measure of a molecule's capacity to increase the hydrogen ion (H<sup>+</sup>) concentration in the presence of water, thus decreasing the pH value. Potential effects include fish mortality, forest decline, and the deterioration of building materials.

**Eutrophication Potential (EP)** kg N eq

Eutrophication covers potential impacts of excessively high levels of macronutrients, the most important of which are nitrogen (N) and phosphorus (P). Nutrient enrichment may cause an undesirable shift in species composition and elevated biomass production in both aquatic and terrestrial ecosystems. In aquatic ecosystems increased biomass production may lead to depressed oxygen levels, because of the additional consumption of oxygen in biomass decomposition.

**Global Warming Potential (GWP)** kg CO<sub>2</sub> eq

A measure of greenhouse gas emissions, such as carbon dioxide and methane. These emissions are causing an increase in the absorption of radiation emitted by the earth, increasing the natural greenhouse effect. This may in turn have adverse impacts on ecosystem health, human health, and material welfare.

**Ozone Depletion Potential (ODP)** kg CFC-11 eq

A measure of air emissions that contribute to the depletion of the stratospheric ozone layer. Depletion of the ozone leads to higher levels of UVB ultraviolet rays reaching the earth's surface with detrimental effects on humans and plants.

**Smog Formation Potential (SFP)** kg O<sub>3</sub> eq

Ground level ozone is created by various chemical reactions, which occur between nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) and volatile organic compounds (VOCs) in sunlight. Human health effects can result in a variety of respiratory issues including increasing symptoms of bronchitis, asthma, and emphysema. Permanent lung damage may result from prolonged exposure to ozone. Ecological impacts include damage to various ecosystems and crop damage. The primary sources of ozone precursors are motor vehicles, electric power utilities, and industrial facilities.

**Primary Energy Demand (PED)** MJ (lower heating value)

A measure of the total amount of primary energy extracted from the earth. PED is expressed in energy demand from non-renewable resources (e.g. petroleum, natural gas, etc.) and energy demand from renewable resources (e.g. hydropower, wind energy, solar, etc.). Efficiencies in energy conversion (e.g. power, heat, steam, etc.) are taken into account.

## LCA Metadata

### NOTES

The following list provides a summary of all materials and energy inputs present in the selected study. Materials are listed in alphabetical order along with a list of all Revit families and Tally entries in which they occur and any notes and system boundaries accompanying their database entries. The mass given here refers to the full life-cycle mass of material, including manufacturing and replacement.

#### Brick, generic

214,792.6 kg

Used in the following Revit families:

Genérico - Albañilería 100 mm	136,043.6 kg
Genérico - Albañilería 110 mm	986.4 kg
Genérico - Albañilería 120 mm	24,592.2 kg
Genérico - Albañilería 150 mm	17,586.6 kg
Genérico - Albañilería 80 mm	3,532.9 kg
Genérico - Albañilería 90 mm	951.7 kg
Mamp a la vista 100 mm	8,711.4 kg
Mamp a la vista 120 mm	22,387.8 kg

Used in the following Tally entries:  
Brick, ungrouted

Description:  
Generic brick, 3.675 x 2.25 x 8

Life Cycle Inventory:  
2000 kg/m<sup>3</sup> fired brick

Manufacturing Scope:  
Cradle to gate  
excludes mortar  
anchors, ties, and metal accessories outside of scope (<1% mass)

End of Life Scope:  
50% recycled into coarse aggregate (includes grinding energy and avoided burden credit)  
50% landfilled (inert material)

Entry Source:  
DE: Stoneware tiles, unglazed (EN15804 A1-A3) PE (2012)

#### Mortar type N

93,293.8 kg

Used in the following Revit families:

Genérico - Albañilería 100 mm	59,089.6 kg
Genérico - Albañilería 110 mm	428.5 kg
Genérico - Albañilería 120 mm	10,681.4 kg
Genérico - Albañilería 150 mm	7,638.6 kg
Genérico - Albañilería 80 mm	1,534.5 kg
Genérico - Albañilería 90 mm	413.4 kg
Mamp a la vista 100 mm	3,783.7 kg
Mamp a la vista 120 mm	9,724.0 kg

Used in the following Tally entries:  
Brick, ungrouted

Description:  
Mortar Type N (moderate strength mortar for use in masonry walls and flooring)

Life Cycle Inventory:  
77% aggregate  
12% cement  
11% water

Manufacturing Scope:  
Cradle to gate

End of Life Scope:  
50% recycled into coarse aggregate (includes grinding energy and avoided burden credit)  
50% landfilled (inert material)

Entry Source:  
DE: Masonry mortar (MG II a) PE (2012)

#### Steel, reinforcing rod

16,649.3 kg

Used in the following Revit families:

Genérico - Albañilería 100 mm	1,232.5 kg
Genérico - Albañilería 110 mm	8.1 kg
Genérico - Albañilería 120 mm	185.7 kg
Genérico - Albañilería 150 mm	106.2 kg
Genérico - Albañilería 80 mm	40.0 kg
Genérico - Albañilería 90 mm	9.6 kg
Los de cimentación 30 mm	517.6 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga 0,30x0,30	3,874.7 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga cimentacion 0,30x0,30	1,574.8 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,10x0,10	31.2 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,12x0,10	28.5 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga Cubierta 0,20x0,25	633.8 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga V1 0,15x0,35	82.8 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga V2 0,25x0,35	68.8 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga V3 0,25x0,35	173.5 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga VE 0,15x0,35	34.7 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga VF 0,15x0,35	45.3 kg
M_Footing-Rectangular: 1200 x 1200 x 350 mm	96.8 kg
M_Footing-Rectangular: 1400 x 1400 x 350 mm	922.0 kg
M_Homigón-Rectangular-Pilar: Columna 0,30x0,30	6,734.7 kg
Mamp a la vista 100 mm	78.9 kg
Mamp a la vista 120 mm	169.0 kg

Used in the following Tally entries:

Brick, ungrouted  
Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)  
Reinforced concrete footing

Description:  
Steel rod suitable for structural reinforcement (rebar), common unfinished tempered steel

Life Cycle Inventory:  
Steel rebar

Manufacturing Scope:  
Cradle to gate

End of Life Scope:  
70% recovered (product has 69.8% scrap input while remainder is processed and credited as avoided burden)  
30% landfilled (inert material)

Entry Source:  
GLO: Steel rebar worldsteel (2007)

#### Steel, welded wire mesh

15,259.8 kg

Used in the following Revit families:

Contrapiso en concreto 100 mm	2,245.7 kg
Los madza en concreto 100 mm	11,129.0 kg
Los madza en concreto 150 mm	456.6 kg
Muro en concreto - 150 mm	1,428.5 kg

Used in the following Tally entries:  
Reinforced slab, exclusive of deck

Description:  
Steel rods further processed into wires

Life Cycle Inventory:  
Steel wire (same as Steel, cable)

Manufacturing Scope:  
Cradle to gate

End of Life Scope:  
98% recovered (product has 27.6% scrap input while remainder is processed and credited as avoided burden)  
2% landfilled (inert material)

Entry Source:  
GLO: Steel wire rod worldsteel (2007)  
DE: Copper wire (0.6 mm) PE (2011)  
US: Electricity grid mix PE (2010)  
US: Thermal energy from natural gas PE (2010)

## LCA Metadata (continued)

<b>Structural concrete, 3000 psi, generic</b>	<b>743,386.9 kg</b>
Used in the following Revit families:	
Contrapiso en concreto 100 mm	50,492.9 kg
Losa de cimentación 30 mm	7,627.8 kg
Losa maciza en concreto 100 mm	250,231.2 kg
Losa maciza en concreto 150 mm	10,266.1 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga 0,30x0,30	126,131.4 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga cimentacion 0,30x0,30	21,201.3 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,10x0,10	1,040.0 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga cinta 0,12x0,10	950.9 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga Cubierta 0,20x0,25	9,403.6 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga V1 0,15x0,35	1,862.8 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga V2 0,25x0,35	1,546.0 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga V3 0,25x0,35	3,900.2 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga VE 0,15x0,35	781.1 kg
M_Concrete-Rectangular Beam: Viga VF 0,15x0,35	1,018.3 kg
M_Footing-Rectangular: 1200 x 1200 x 350 mm	6,595.3 kg
M_Footing-Rectangular: 1400 x 1400 x 350 mm	62,839.0 kg
M_Hormigón-Rectangular-Pilar: Columna 0,30x0,30	134,694.2 kg
Muro en concreto - 150 mm	52,804.9 kg
Used in the following Tally entries:	
Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)	
Reinforced concrete footing	
Reinforced slab, exclusive of deck	
Description:	
Structural concrete, generic, 3000 psi	
Life Cycle Inventory:	
13% cement	
40% gravel	
39% sand	
7% water	
Manufacturing Scope:	
Cradle to gate	
excludes mixing and pouring impacts	
End of Life Scope:	
50% recycled into coarse aggregate (includes grinding energy and avoided burden credit)	
50% landfilled (inert material)	
Entry Source:	
US: Portland cement, at plant USLCI/PE (2009)	
US: Tap water from groundwater PE (2012)	
EU-27: Gravel 2/32 PE (2012)	
US: Silica sand (Excavation and processing) PE (2012)	