



## **FACULTAD DE INGENIERÍA**

### **Maestría en Ingeniería Civil**

#### **Trabajo de Grado**

**Influencia de los procesos constructivos y la temperatura sobre las fuerzas internas (momentos máximos) y deflexiones máximas instantáneas en placas unidireccionales vaciadas en sitio.**

**Presentados por:**

**Sindy Paola Castro Aguirre**

**José Sevel Castro Tovar**

**Director:**

**Yezid Alexander Alvarado Vargas, PhD.**

**Jesús Daniel Villalba, PhD.**

**Bogotá D.C. Mayo de 2016**

## **APROBACIÓN**

**El Trabajo de grado con título “Influencia de los procesos constructivos y la temperatura sobre las fuerzas internas (momentos máximos) y deflexiones máximas instantáneas en placas unidireccionales vaciadas en sitio”, desarrollado por los estudiantes Sindy Paola Castro Aguirre y José Sevel Castro Tovar, en cumplimiento de uno de los requisitos dispuestos por la Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería civil, para optar el Título de Magister en ingeniería Civil, fue aprobado por:**

### **Directores**

**Yezid Alexander Alvarado Vargas, PhD.**

**Jesús Daniel Villalba, PhD.**

### **Jurado 1**

**Orlando Cundumi, PhD.**

### **Jurado 2**

**Daniel Mauricio Ruiz**

Influencia de los procesos constructivos y la temperatura sobre las fuerzas internas (momentos máximos) y deflexiones máximas instantáneas en placas unidireccionales vaciadas en sitio.

Sindy Paola Castro Aguirre  
Jose Sevel Castro Tovar

La Pontificia Universidad Javeriana, no es responsable por los conceptos emitidos por los autores-investigadores del presente trabajo, por lo cual son responsabilidad absoluta de sus autores y no comprometen la idoneidad de la institución ni de sus valores.

## **DEDICATORIA**

**SINDY**

A Dios, por darme la oportunidad de poder culminar los estudios de Maestría.

A mis padres, quienes me enseñaron a trabajar fuerte por las metas que se quieren lograr.

A mi esposo y mi hija, por la gran paciencia que me tuvieron con respecto al tiempo de dedicación, siendo un gran apoyo moral.

**SEVEL**

A Dios, que me fortaleció a lo largo de esta gran travesía.

En memoria a mis padres, que desde donde quiera que estén me han cuidado.

A mis hijos por la paciencia y apoyo incondicional.

A mi esposa por su paciencia y apoyo moral.

## **AGRADECMIENTOS**

A los ingenieros YEZID ALVARADO, JESUS VILLALBA, por su apoyo incondicional en cada etapa de la investigación, por sus grandes consejos y recomendaciones.

Al Doctor Felipe Prada, director de la maestría, por su gran apoyo a lo largo de toda la etapa de desarrollo de los estudios académicos.

A todos los profesores que nos brindaron y compartieron sus conocimientos en cada una de las áreas de la maestría.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación consiste en determinar la influencia que el proceso constructivo ejerce sobre el comportamiento estructural (fuerzas internas y deflexiones máximas instantáneas), de edificios con placas unidireccionales vaciadas en sitio. Para realizar los análisis se elaboró un modelo 3D de un edificio de ocho pisos más sótano, haciendo uso del programa de elementos finitos ETABS. Las vigas y columnas fueron modeladas como elementos tipo "Frame" y las losas como elementos tipo "SHELL". Para lograr este objetivo general se realizaron 4 modelaciones, la primera de forma convencional o lineal, la segunda teniendo en cuenta los tres procesos constructivos cimbrado - descimbrado, descimbrado parcial y reapuntado y por último, utilizando la carga por temperatura. Los resultados obtenidos evidenciaron que las fuerzas internas (momentos máximos) hallados en el modelo 2 son mayores a las fuerzas internas en el modelo 1, con un incremento superior correspondiente al 13% para el proceso de cimbrado- descimbrado, del 18% para el proceso de descimbrado parcial y por último para el proceso de reapuntado con un incremento del 20%. De otro modo, en cuanto a los resultados de las deflexiones máximas instantáneas se comprobó que las deflexiones presentadas en el modelo 2 son superiores al modelo 1, presentado incrementos en el proceso cimbrado- descimbrado superiores al 25%, en el proceso de descimbrado parcial incrementos superiores al 30% y en el proceso de reapuntado superiores al 35%. Para el caso del análisis de la influencia de la temperatura en los incrementos de fuerzas internas y deflexiones máximas instantáneas presentadas en los procesos constructivos se pudo concluir que aunque sus incrementos no superan el 10% tanto en la sollicitación de fuerzas internas como en las deflexiones máximas instantáneas, se ve directamente afectado la transmisión de cargas en el momento que se cuenta con los puntales metálicos instalados, los cuales sufren el fenómeno de acortamiento o alargamiento según sea el caso, afectando su incremento en transmisión de carga. En la vida real esta situación se presenta a diario cuando vemos cómo sin ninguna explicación los puntales instalados se han corrido o desplazado del lugar donde se habían instalado, siendo este caso uno de los posibles causales de siniestros durante la construcción.

## ABSTRACT

This research consists in determining the influence of the construction process has on the structural behavior (internal forces and maximum instantaneous deflections) of buildings with voided unidirectional slabs in site. To make analysis a 3D model of a building of eight floors plus basement was developed, using the finite element program ETABS. The beams and columns were modeled as elements type "Frame" and the slabs as elements type "SHELL". To achieve this overall objective were performed 4 measurements, the first one in a conventional or linear way, the second one taking into account the three construction processes shoring - striking, partial striking and shored and

finally, using the temperature load. The results show that internal forces (maximum moments) found in model 2 are higher than the internal forces in model 1, with an increase of 13% corresponding to the shoring – striking process, 18% for the partial striking process and finally to the shored process with a increase of 20%. Otherwise, as to the results of the instantaneous maximum deflections it was found that the deflections presented in model 2 are superior to model 1, showing increases in the shoring - striking process above 25%, in the partial striking process increases above 30% and in the shored process above 35%. In the case of the analysis of influence of temperatures in the increases in internal forces and maximum deflections instantaneous presented in the construction processes, it can be concluded that although their increases do not exceed 10% in the solicitation of internal forces as in deflections maximum instantaneous, is directly affected the transmission of loads in the moments that have installed metal struts, It is directly affected the transmission of loads in the moments that has metal struts installed, which suffer the phenomenon of shortening or lengthening according to the case, affecting their increased load transmission. In real life this situation happens daily when we see without any explanation the installed struts have run or moved from the place where they had installed before, being this case one of the possible causes of accidents during construction.

### **Palabras clave**

Edificios de pórticos en concreto reforzado, entrepisos sucesivos, cimbrado, descimbrado parcial, descimbrado, fuerzas internas en placas, deflexiones en placas, cargas térmicas en placas, placas unidireccionales.

### **Keywords**

Reinforced concrete buildings, multistory structures, shoring, partial striking, striking, internal forces in slabs, slabs displacement, thermal loads, unidirectional slabs.

## CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS .....	10
LISTA DE TABLAS.....	13
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS Y SÍNTESIS .....	14
1.1 INTRODUCCIÓN .....	14
1.2 OBJETIVOS .....	16
1.3 SÍNTESIS.....	16
CAPÍTULO 2. MARCOS DE REFERENCIA.....	18
2.1 MARCO CONCEPTUAL .....	18
2.2 MARCO DE ANTECEDENTES .....	24
2.3 MARCO TEÓRICO.....	28
2.3.1 Deflexiones en placas de concreto .....	28
2.3.2 Código modelo CEB-FIB 1990 .....	30
2.3.3 Fuerzas internas.....	31
2.3.3 Efectos de la temperatura .....	32
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	35
3.1 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO .....	37
3.1.1 Ubicación y características geométricas del edificio .....	37
3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS.....	39
3.3 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	40
3.4 MODELACIONES .....	41
3.4.1 Modelo 1: diseño convencional .....	41
3.4.2 Modelo 2: diseño considerando las operaciones constructivas .....	42
3.4.2.1 Procedimiento.....	42
3.4.3 MODELO 3: CARGA DE TEMPERATURA.....	43
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
4.1 INTRODUCCIÓN .....	49
4.2 ANÁLISIS DE TRANSMISIÓN DE CARGAS MODELO 2.....	50
4.2.1 Análisis de cargas proceso de cimbrado – descimbrado .....	50
4.2.2 Análisis de cargas proceso de cimbrado – descimbrado parcial- descimbrado .....	55
4.2.3 Análisis de cargas proceso de cimbrado – reapuntalado- descimbrado.....	64



4.3 ANÁLISIS DE FUERZAS INTERNAS (MOMENTOS MÁXIMOS), MODELO 2.....	73
4.3.1 Análisis de fuerzas internas (momentos máximos positivos y negativos) proceso de cimbrado – descimbrado.....	73
4.3.2 Análisis de fuerzas internas (momentos máximos positivos y negativos) proceso de cimbrado – descimbrado parcial- descimbrado. ....	73
4.3.3 Análisis de fuerzas internas (momentos máximos) proceso de cimbrado – reapuntado- descimbrado. ....	74
4.4 ANÁLISIS DE DEFLEXIONES MODELO 2.....	76
4.5 ANÁLISIS DE FUERZAS INTERNAS (MOMENTOS MÁXIMOS) MODELO 3: CARGA POR TEMPERATURA.....	77
4.6 ANÁLISIS DE DEFLEXIONES MÁXIMAS INSTANTÁNEAS, MODELO 3: CARGA POR TEMPERATURA.....	78
4.7 COMPARACIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS MODELO 1 Y MODELO 2 .....	81
4.8 COMPARACIÓN DE FUERZAS INTERNAS (MOMENTOS MÁXIMOS) MODELO 1 Y MODELO 2.....	84
4.9 COMPARACIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS MODELO 2 Y 3 .....	86
4.10 COMPARACIÓN DE FUERZAS INTERNAS (MOMENTOS MÁXIMOS) MODELO 2 Y 3. ....	87
CAPITULO 5. CONCLUSIONES .....	88
5.1 INTRODUCCIÓN .....	88
6. TRABAJOS FUTUROS.....	90
7. BILIOGRAFÍA .....	91

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Sistema aporticado .....	18
<b>Figura 2.</b> Sistema constructivo industrializado .....	20
<b>Figura 3.</b> Sistema manoportable .....	21
<b>Figura 4.</b> Formaleta reutilizable tipo túnel .....	21
<b>Figura 5.</b> Cimbrado- descimbrado.....	22
<b>Figura 6.</b> Descimbrado parcial .....	23
<b>Figura 7.</b> Reapuntalado .....	23
<b>Figura 8.</b> Coeficientes de carga 2 juegos de cimbra proceso CD .....	25
<b>Figura 9.</b> Coeficientes de carga 3 juegos de cimbra proceso CD .....	25
<b>Figura 10.</b> Coeficientes de carga 3 juegos de cimbra proceso CD, considerando el módulo de elasticidad del concreto. ....	26
<b>Figura 11.</b> Alabeo en placas. ....	33
<b>Figura 12.</b> Fases del proyecto.....	35
<b>Figura 13.</b> Planta sótano .....	38
<b>Figura 14.</b> Planta piso 1 .....	38
<b>Figura 15.</b> Planta piso tipo del 2 al 8.....	39
<b>Figura 16.</b> Alzado del edificio Modelo 1.....	42
<b>Figura 17.</b> Secuencia construcción .....	42
<b>Figura 18.</b> Modelo 2. Considerando los procesos constructivos (ETABS).....	43
<b>Figura 19.</b> Distribución de la temperatura interna durante todo el día placa de 0,20m con cimbra. ....	44
<b>Figura 20.</b> Distribución de la temperatura interna durante todo el día, placa de 0,20m sin cimbra. ....	45
<b>Figura 21.</b> Distribución de la temperatura durante todo el día. Placa de 0,32m con cimbra. ....	45
<b>Figura 22.</b> Distribución de la temperatura interna durante todo el día. Placa de 0,32m sin cimbra.....	46
<b>Figura 23.</b> Distribución de la temperatura interna durante todo el día. Placa de 0,40m con cimbra.....	46
<b>Figura 24.</b> Distribución de la temperatura interna durante todo el día. Placa de 0,40m sin cimbra, y con luz solar directa.....	47

<b>Figura 25.</b> Regresión lineal de diferencial de temperaturas en placas sin cimbra.....	48
<b>Figura 26.</b> Proceso CD con 2 juegos de cimbra consecutivos.....	50
<b>Figura 27.</b> Ejemplo transmisión de cargas proceso CD con 2 juegos de cimbra. ....	50
<b>Figura 28.</b> Proceso constructivo CD- transmisión de cargas.....	52
<b>Figura 29.</b> Proceso constructivo CD- Transmisión de cargas. ....	53
<b>Figura 30.</b> Proceso constructivo CD- Transmisión de cargas. ....	54
<b>Figura 31.</b> Proceso CDPD con 2 juegos de cimbra consecutivos.....	55
<b>Figura 32.</b> Transmisión de cargas proceso CDPD.....	56
<b>Figura 33.</b> Proceso constructivo CDPD- Transmisión de cargas. ....	57
<b>Figura 34.</b> Proceso constructivo CDPD- Transmisión de cargas. ....	58
<b>Figura 35.</b> Proceso constructivo CDPD- Transmisión de cargas. ....	59
<b>Figura 36.</b> Proceso constructivo CDPD- Transmisión de cargas. ....	60
<b>Figura 37.</b> Proceso constructivo CDPD- Transmisión de cargas. ....	61
<b>Figura 38.</b> Cargas de puntales operaciones de FCU vs. DPCU.....	63
<b>Figura 39.</b> Proceso CRD con 2 juegos de cimbra consecutivos.....	64
<b>Figura 40.</b> Transmisión de carga proceso CRD.....	65
<b>Figura 41.</b> Proceso constructivo CRD- Transmisión de cargas.....	66
<b>Figura 42.</b> Proceso constructivo CRD- Transmisión de cargas.....	67
<b>Figura 43.</b> Proceso constructivo CRD- Transmisión de cargas.....	68
<b>Figura 44.</b> Proceso constructivo CRD- Transmisión de cargas.....	69
<b>Figura 45.</b> Proceso constructivo CRD- Transmisión de cargas.....	70
<b>Figura 46.</b> Fuerzas internas máximas (Momentos positivos) procesos CD, CDPD, CRD. 75	
<b>Figura 47.</b> Fuerzas internas máximas (Momentos negativos) procesos CD, CDPD, CRD. 76	
<b>Figura 48.</b> Deflexiones máximas por proceso constructivo. ....	77
<b>Figura 49.</b> Deflexiones máximas proceso CDPD- Modelo 3 .....	79
<b>Figura 50.</b> Deflexiones máximas proceso CRD- Modelo 3. ....	79
<b>Figura 51.</b> Planta sótano, día 4 sin carga de temperatura proceso CDPD.....	81
<b>Figura 52.</b> Planta sótano, día 4 con carga de temperatura (+), proceso CDPD.....	81
<b>Figura 53.</b> Deflexiones máximas modelo 1 y 2 .....	83
<b>Figura 54.</b> Deflexión máx. Piso 2-Modelo1 .....	84
<b>Figura 55.</b> Deflexión máx. Piso 2. Modelo 2 CDPD.....	84

<b>Figura 56.</b> Deflexión máx. Piso 2- Modelo 2 CRD .....	85
<b>Figura 57.</b> Fuerzas internas (Momentos máx. positivos) modelo 1 y 2. ....	86
<b>Figura 58.</b> Comparativo de deflexiones máximas en modelo 2 y 3. ....	87
<b>Figura 59.</b> Comparativo de momentos máximos Modelo 2 y 3- CRD.....	88
<b>Figura 60.</b> Comparativo de momentos máximos modelo 2y 3 - CDPD.....	88

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Límite de deflexión según la NSR 10 .Tabla C.9.5 (a). .....	30
Tabla 2. Coeficientes ACI para el diseño de vigas continuas y losas en una dirección.....	33
Tabla 3. Consideraciones de diseño. ....	40
Tabla 4. Características de los elementos de cimbra. ....	41
Tabla 5. Diferencial de temperatura con cimbra y sin cimbra.....	48
Tabla 6. Carga en puntales operación fundida CU-P8. ....	63
Tabla 7. Carga en puntales operación fundida CU-P8. CU-P8 .....	64
Tabla 8. Puntales P7 transmisión de carga operación fundida P8.....	72
Tabla 9. Puntales P7 transmisión de carga operación Reapuntalado P8. ....	73
Tabla 10. Puntales P7 transmisión de carga operación Reapuntalado P7. ....	73
Tabla 11. Momentos máximos positivos y negativos proceso CD.....	74
Tabla 12. Momentos máximos positivos y negativos proceso CDPD. ....	75
Tabla 13. Momentos máximos positivos y negativos proceso CRD. ....	75
Tabla 14. Deflexiones máximas procesos constructivos. ....	77
Tabla 15. Fuerzas internas (momentos máximos positivos) CDPD-Modelo 3 - (kN.m) .....	79
Tabla 16. Fuerzas internas (momentos máximos) CRD- Modelo 3- (kN.m). ....	79
Tabla 17. Deflexiones máximas modelos 1 y 2.....	83
Tabla 18. Fuerzas internas (Momentos máximos positivos) Modelo 1 y 2 (kN.m) .....	85
Tabla 19. Fuerzas internas (Momentos máximos negativos), Modelo 1 y 2. (kN.m) .....	87

# CAPÍTULO 1. INTODUCCIÓN, OBJETIVOS Y SÍNTESIS

## 1.1 INTRODUCCIÓN

En Colombia el sector de la construcción usa el método tradicional para construir las edificaciones, esto se puede evidenciar en los informes de los estudios realizados presentados por la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL, PRINCIPALES FUENTES DE CONSTRUCCION, 2012). Previamente a la construcción se procede con la realización de los diseños estructurales, en los cuales se pre-dimensionan y se verifican que cumplan con lo establecido en la norma, los elementos estructurales de acuerdo a las solicitaciones generadas por las diferentes hipótesis de cargas dígase muerta, viva, sismo, viento, empujes, etc. Además, se realizan los diseños a flexión, cortante, axial, et., con el fin de que la estructura soporte los esfuerzos máximos a los cuales va a estar sometida durante la etapa de construcción y a lo largo de la vida útil del edificio, previniendo de esta forma futuras implicaciones que puedan comprometer la integridad de la estructura. Según un estudio realizado en España por (Bellonch, 2012), las causas de siniestros durante la construcción están alrededor del 74%, relacionando directamente fallos de la cimbra, prematura retirada del apuntalamiento, carga excesiva de construcción y defectos del material.

Teniendo en cuenta lo anterior es necesario revisar la forma en que se realiza los diseños estructurales; de la forma convencional se calculan esfuerzos y deflexiones máximas en las placas de entresijos, ésta forma de realizar el diseño supone una construcción lineal, donde no se tiene en cuenta el proceso constructivo ni las propiedades evolutivas del material, dado que estas propiedades pueden variar según el lugar y el ambiente en que se exponen los materiales. Un procedimiento o metodología adicional para la realización de los diseños estructurales, se basa en tener en cuenta el proceso constructivo y las propiedades del material en función del tiempo; en cuanto a este procedimiento al revisar el Reglamento Colombiano NSR 2010, se evidencia la utilización de los procesos constructivos de forma general, dejando un vacío en cuanto a la forma, metodología y parámetros a tenerse en cuenta en el caso de realizar el diseño involucrando los procesos constructivos.

Durante los últimos años, se han realizado diversas investigaciones sobre los procesos constructivos, los cuales tienen en cuenta los efectos de la transmisión de carga y algunas formas de simplificar u optimizar los tiempos de cada operación constructiva. Otras investigaciones se basan en la realización de modelos numéricos y/o instrumentales, tales como, los adelantados por Grundy y Kabaila (1963), Duan y Chen (1995), Alvarado

(2009), Calderón et al., (2011), Gash( 2012). En cuanto al estudio de la influencia de la temperatura en la transmisión de cargas se destacan las investigaciones de Azkune (2006), Gash (2012) y Huang (2014). Sin embargo estos estudios carecen de un análisis de fuerzas internas y deflexiones máximas instantáneas que puedan poner en peligro la estructura.

Basado en lo anterior se hace necesario realizar un análisis que agrupe o complemente los parámetros de diseño estructural anteriormente mencionados, enfocados directamente con los posibles incrementos de fuerzas internas (momentos máximos), así como también las deflexiones máximas instantáneas producidas durante cada proceso constructivo, agregando además, la carga por temperatura a edades tempranas de fraguado de las placas de entresijos.

En esta investigación se procede a elaborar un modelo 3D de un edificio mediante la ayuda del programa de elementos finitos ETABS. El Edificio se modela de forma integral, utilizando elementos de placa tipo “Shell” y para las vigas y columnas elementos tipo “Frame”. Además, del peso propio de cada uno de los elementos se tiene en cuenta los procesos constructivos: cimbrado- descimbrado, descimbrado parcial y reapuntalado. Adicionalmente, se analiza la influencia de la carga de temperatura a edades tempranas de fraguado, en cuanto a las fuerzas internas y las deflexiones máximas adicionales a la forma de diseño convencional utilizada.

## **1.2 OBJETIVOS**

Determinar la influencia que el proceso constructivo ejerce sobre el comportamiento estructural (fuerzas internas y deflexiones máximas instantáneas), de edificios con placas unidireccionales vaciadas en sitio.

Para lograr el objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Analizar la influencia de las operaciones constructivas de cimbrado, descimbrado parcial, reapuntalado en la sollicitación de fuerzas internas (momentos máximos) y deflexiones máximas instantáneas en placas unidireccionales vaciadas en sitio.
- Cuantificar la influencia producida por la carga de temperatura, en las fuerzas internas y deflexiones producidas durante el proceso constructivo.
- Determinar el porcentaje de fuerzas internas y deflexiones adicionales producidos en los diversos procesos constructivos.

## **1.3 SÍNTESIS**

El presente trabajo de investigación consta de 6 capítulos, siendo el Capítulo 1 la introducción al trabajo de investigación donde se resalta la justificación y se presentan los objetivos a desarrollar.

El Capítulo 2, corresponde a los antecedentes y estado del arte, en cuanto a la transmisión de cargas durante los diferentes procesos constructivos y los efectos de la temperatura en la transmisión de cargas, con el objetivo de resaltar la presente investigación enfocada a las fuerzas internas y deflexiones máximas ocurridas durante los procesos constructivos que puedan llegar a comprometer la integridad de la estructura.

El Capítulo 3, presenta la metodología empleada llevada a cabo con el fin de cumplir con cada uno de los objetivos planteados en la investigación.

El capítulo 4, resalta los resultados obtenidos en cuanto a la transmisión de carga en cada uno de los procesos constructivos, deflexiones máximas instantáneas producidas en cada uno de los entresijos, así como también, los momentos máximos, estableciendo un comparativo entre el modelo 1 modelo convencional, el modelo 2 donde se utilizan los procesos constructivos y el modelo 3 donde se adiciona la carga por temperatura.



El Capítulo 5, muestra las conclusiones de acuerdo a los objetivos planteados al inicio del presente trabajo.

El capítulo 6, presenta las diferentes líneas de interés para futuros trabajos de investigación y por último el Capítulo 7 contiene las referencias bibliográficas utilizadas durante la elaboración de la investigación.

## CAPÍTULO 2. MARCOS DE REFERENCIA

El Capítulo presenta los conceptos manejados en el desarrollo del presente trabajo de investigación en cuanto a sistemas y procesos constructivos, presenta el estado del arte existente en la literatura relacionada con las investigaciones realizadas para la transmisión de cargas durante los diferentes procesos constructivos, la influencia de la temperatura en la transmisión de cargas y la teoría del incremento de carga por temperatura en placas de concreto.

### 2.1 MARCO CONCEPTUAL

Los Sistemas Aportricados, son los que utilizan pórticos en el mismo sentido, un pórtico es la unión de nudos entre vigas y columnas. En este sistema la mampostería es totalmente independiente de los pórticos, las cargas son soportadas por las vigas y los pórticos, las columnas se encargan de transmitir las solicitaciones generadas por las cargas a la cimentación. La Figura 1 muestra una configuración típica de un sistema de pórticos (Perles, 2007).



**Figura 1.** Sistema aportricado (<http://estructuras.eia.edu.co/estructurasI/indest1.html>, s.f.)

Dentro de los diversos sistemas de construcción, existe el sistema constructivo tradicional que es el más empleado en Colombia, de acuerdo con un estudio adelantado por (CAMACOL, Evolución de las normas técnicas y la inclusión de nuevos sistemas constructivos, 2012). Este sistema no emplea ningún grado de industrialización, su

prioridad es la utilización de la mano de obra, es un proceso lento, costoso y húmedo en relación con el mortero de pega, concreto, mampostería y pañetes, (CONSTRUMATICA, 2016). Existe otra gran variedad de sistemas constructivos entre ellos tenemos el SISTEMA INDUSTRIALIZADO ver figura 2, la optimización que se logra con la industrialización se traduce en una buena planeación en la realización de tareas orientadas a la elaboración del proceso constructivo, permitiendo mejorar los rendimientos en tiempo de ejecución, sin dejar de lado un minucioso control en cada una de sus actividades. Este sistema tiene ventajas técnicas y económicas. (CONSTRUDATA, 2010).

Ventajas técnicas Sistema industrializado:

- ✓ Mayor rigidez de la estructura, con la consiguiente disminución de la deriva, minimizando los posibles daños en caso de sismos mayores.
- ✓ Empotramiento de los elementos no estructurales (sillares, dinteles, áticos, cornisas y remates de cubiertas), los cuales pueden quedar integrados a la estructura).
- ✓ Menos espesor de muros y placas, que repercute en menor peso de la estructura y, por ende, en menos carga sobre los cimientos y el terreno portante.
- ✓ Manejo de diversos tipo de formaleta, reutilizable.

Ventajas económicas Sistema industrializado:

- ✓ Menor consumo de materiales por la eficiencia de usar los muros divisorios como portantes.
- ✓ Menor cantidad de refuerzo requerido por ser más liviana la estructura y menor las luces de las placas, al emplear todos los muros como apoyos.
- ✓ Disminución de los gastos generales de la obra porque se reduce el tiempo de construcción.
- ✓ Disminución de los costos financieros porque se reduce el tiempo de entrega de los proyectos.



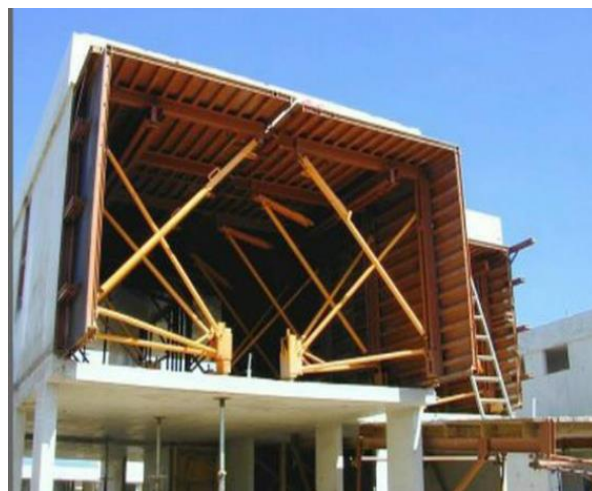
**Figura 2.** Sistema constructivo industrializado  
<http://www.100milviviendasgratis.gov.co/publico/Micrositio.aspx?Id=33>

Cabe destacar que el éxito de este sistema industrializado, radica en la reutilización de formaleta. Dentro de los tipos de formaleta utilizados para este sistema constructivo encontramos la formaleta permanente o de moldes aislantes, sus elementos pueden ser prefabricados de PVC, poli-estireno y policarbonato, de fácil ensamblaje. (CONSTRUDATA, 2010). Otro tipo de formaleta está compuesta por paneles de madera, plástico o metal que unidos forman una estructura temporal autoportante, capaz de soportar cargas sin deformarse. Este tipo de formaleta permite su reutilización. La duración de los paneles varía según el material, el manejo en obra y el tipo de concreto. Los sistemas de formaletas mano portables permiten construir monolíticamente los muros interiores, exteriores y la placa de cada unidad habitacional simultáneamente, con la consiguiente ventaja estructural y sismo resistente. El sistema está compuesto por paneles, accesorios y herramientas de montaje. Los paneles estándar son modulables en múltiplos de 5 cm obteniendo medidas versátiles que abarcan las exigencias arquitectónicas y formando un conjunto de soluciones concretas para el proceso de diseño y producción de la obra. (CONSTRUDATA, 2010). Además, permiten la construcción de todo tipo de espacios, integrando los elementos monolíticamente con la estructura, tal como se muestra en la Figura 3.



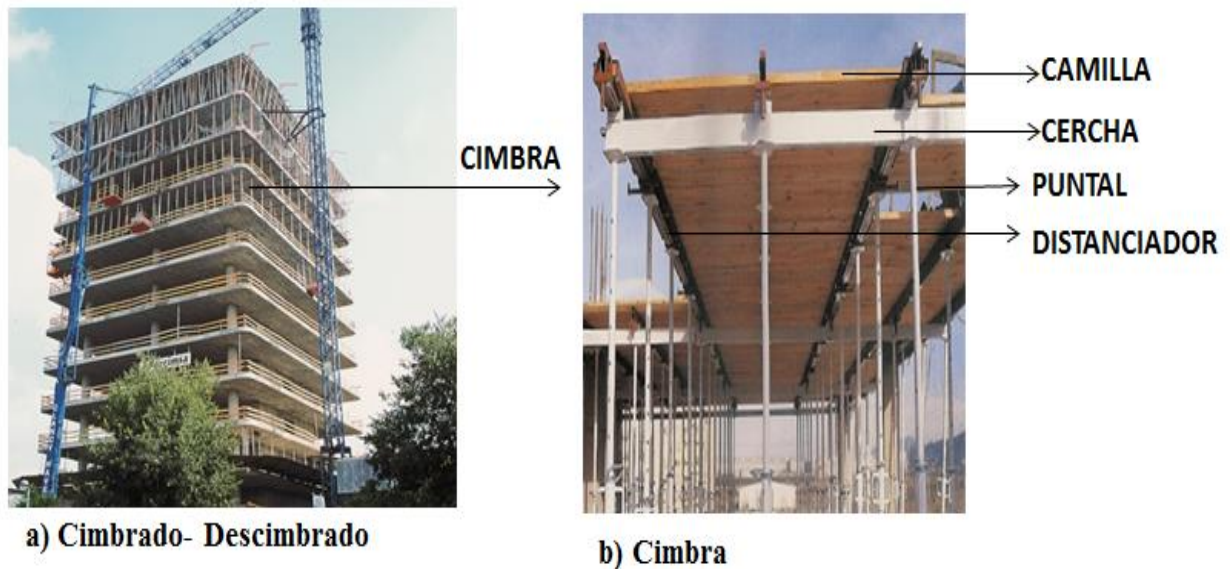
**Figura 3.** Sistema manoportable (<http://blog.360gradosenconcreto.com/formaletas-para-la-construccion-con-sistemas-industrializados/>)

Para encofrar los muros no es necesario la utilización de equipos de apoyo, dado que las secciones son variables permitiendo la construcción simultánea de muros en todas las direcciones. Dentro de este sistema también se utilizan la formaleta tipo túnel la cual es presentada en la Figura 4, su particularidad es su figura en L, las cuales se fabrican con láminas y perfiles en acero. Este sistema tipo túnel al contrario que el sistema industrializado con formaleta mano portable, si requiere la utilización de maquinaria de apoyo, el caso de una torre grúa, empleada tanto para la movilización de formaleta como para el transporte del concreto. Convencionalmente en Colombia la formaleta tipo túnel que se utiliza proviene de fabricantes franceses, los cuales se caracterizan por su gran optimización al reutilizar la formaleta aproximadamente entre 800 a 1000 veces. (CONSTRUDATA, 2010).



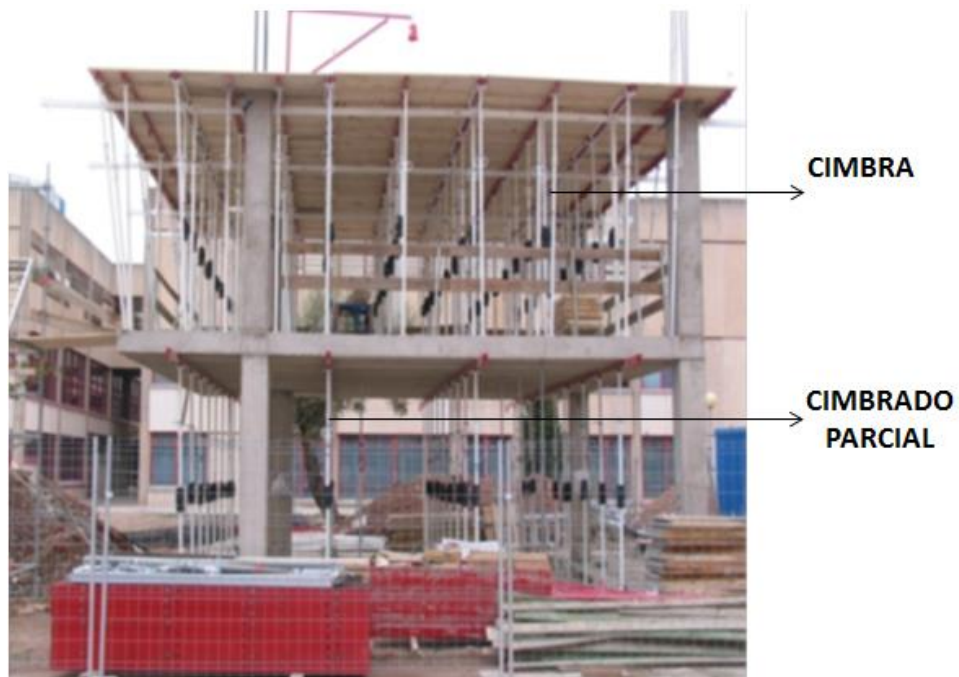
**Figura 4.** Formaleta reutilizable tipo túnel. (CONSTRUDATA, 2010)

Estos sistemas constructivos, se puede emplear para realizar cualquier proceso constructivo. Dentro de los procesos constructivos tenemos el cimbrado y descimbrado que consiste en colocar el equipo auxiliar denominado cimbra para fundir la placa de entrepiso en concreto, y su posterior retiro; en este proceso, se utilizan los juegos de cimbra que sean planeados para darle celeridad al proceso (Alvarado, 2009). Otro tipo de operación constructiva es el descimbrado parcial que consiste en la retirada de aproximadamente el 50% de la cimbra que soportan la placa a los pocos días después de su vaciado (Alvarado, 2009). Por último, el reapuntalado consiste en descimbrar determinadas plantas, del edificio, luego vuelven y se instalan los puntales directamente a la placa, en ese instante los puntales no transmiten carga siendo la placa de entrepiso la encargada de asumir su propio peso y los puntales que están recién instalados colaboren con los futuros incrementos de carga. (Alvarado, 2009). En las Figura 5, 6 y 7, se observa una imagen de cada uno de los procesos constructivos descritos anteriormente.



*Figura 5. Cimbrado- descimbrado*





*Figura 6. Descimbrado parcial (Alvarado, 2009)*



*Figura 7. Reapuntalado (Alvarado, 2009)*

## 2.2 MARCO DE ANTECEDENTES

A mediados del siglo XX, aparecieron los primeros estudios sobre la transmisión de cargas durante los procesos constructivos. Precisamente, (Nielsen, 1952), fue el primer autor en adelantar un gran análisis teórico acerca de la interacción entre la transmisión de cargas entre cimbra y placas. Asumió que las placas y puntales tienen un comportamiento elástico, los efectos de la retracción y la fluencia del concreto son despreciables, y los momentos de torsión y las fuerzas de cortante sobre el encofrado son despreciables, este estudio se consideró de alta complejidad. Hacia el año de 1963, Grundy y Kabaila desarrollaron el llamado método simplificado con el cual se determinó que las cargas de un proceso evolutivo de construcción podrían provocar efectos en la estructura, a partir de las siguientes hipótesis (Grundy y Kabaila, 1963):

- “Las placas inferiores conectadas con puntales, a los cuales se transmite la carga de las nuevas placas, tienen la misma rigidez. Aunque el valor de la rigidez de estas placas sea distinto, con el tiempo, la variación del módulo de elasticidad presenta un crecimiento rápido a edades cortas, lo cual permite considerar que las placas tienen un valor similar al módulo de elasticidad.
- La rigidez de los puntales se considera infinita con respecto de la flexibilidad de las placas.
- Los puntales de la planta baja descansan sobre un suelo infinitamente rígido.
- Los efectos de retracción y de fluencia pueden ser despreciados.
- Las cargas de los puntales se asumen a cargas uniformemente repartidas sobre las placas”.

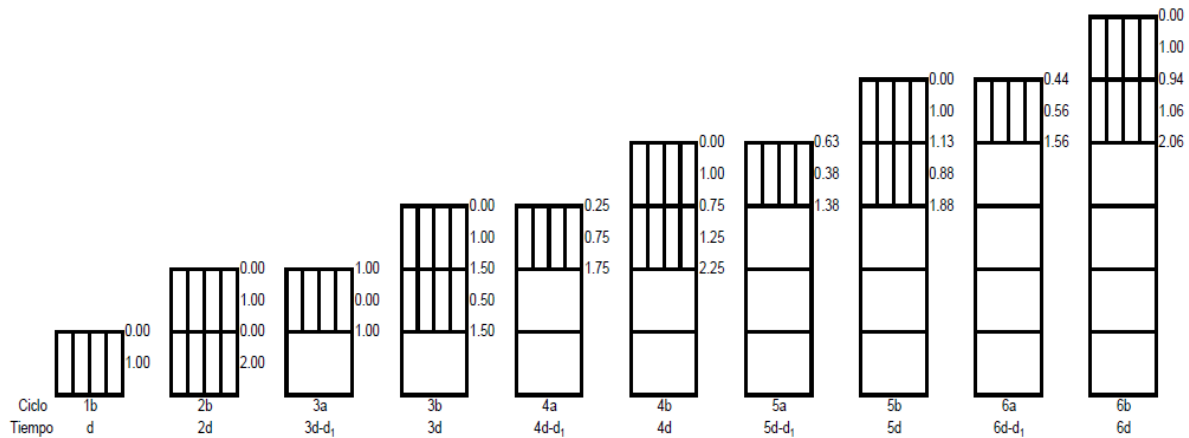
En el proceso cimbrado - descimbrado, al instante en que se realiza la fundida del último entrepiso se reparten su carga  $q$  (kN/m) en los demás entrepisos inferiores. Una vez se descimbra la planta inferior, la diferencia entre la carga total  $q_1$  (kN/m<sup>2</sup>), y su peso propio  $q$  (kN/m<sup>2</sup>), se reparte entre los entrepisos superiores correspondiendo a cada uno de ellos, tal como se muestra en la ecuación 1.

$$\frac{q_1 - q}{n} \quad \text{kN} / \text{m}^2 \quad \text{Ec.1}$$

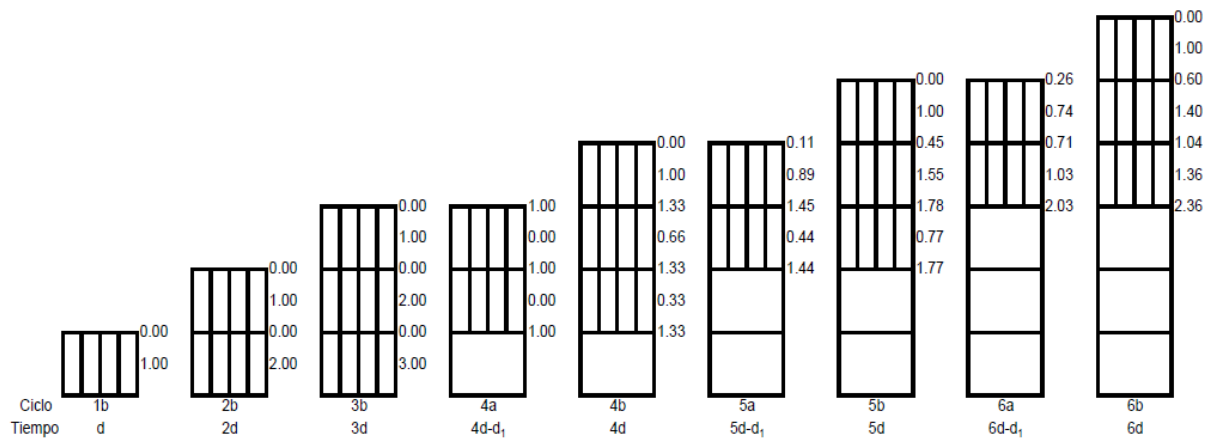
Basados en la ecuación 1, se hallan los coeficientes de carga, estos se calculan de la relación entre cargas de construcción y el peso propio del entrepiso. Por medio de la utilización de estos coeficientes se logran calcular las cargas actuantes en los entrepisos y puntales en las operaciones de cimbrado y descimbrado (Alvarado, 2009). A continuación se presenta un



ejemplo de los coeficientes de carga bajo dos parámetros, el primero considerando dos juegos de cimbra y el segundo considerando tres juegos de cimbra (ver Figuras 8 y 9). En estos ejemplos se considera  $d$  como el número de días que lleva fundido el entrepiso y  $d_1$  como el tiempo de descimbrado del entrepiso.

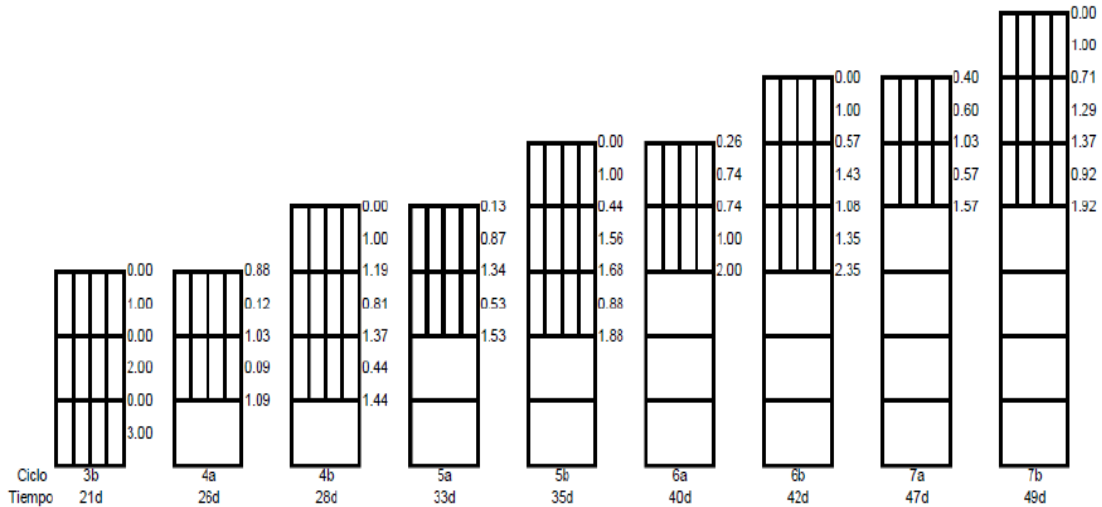


**Figura 8.** Coeficientes de carga 2 juegos de cimbra proceso CD (Alvarado, 2009)



**Figura 9.** Coeficientes de carga 3 juegos de cimbra proceso CD (Alvarado, 2009)

Grundy y Kabaila (1963), consideran que la carga no se reparte por igual entre los entrepisos, al contrario suponen que la distribución de estas cargas depende de la rigidez, consideran además, un ciclo de construcción de una semana por planta ( $d=7$  y  $d_1=2$  días). También, suponen que la distribución de las cargas se relaciona de acuerdo al módulo de elasticidad del concreto ya que este se encuentra en función del tiempo (ver figura 10).



**Figura 10.** Coeficientes de carga 3 juegos de cimbra proceso CD, considerando el módulo de elasticidad del concreto. (Alvarado, 2009)

Al comparar las Figuras 9 y 10, se puede evidenciar que al considerar el módulo de elasticidad para los coeficientes de carga entre puntales y entrepisos en función de la edad de fraguado, este no resulta ser relevante.

En 1985, Liu et al., desarrollaron el método llamado refinado en el cual se asume la hipótesis que las placas de concreto reforzado tienen un comportamiento elástico. Al considerar la variación de rigidez con respecto al tiempo, los puntales en los procesos de cimbrado y recimbrado, se asimilan como soportes elásticos con igual rigidez axial que es la rigidez real de los puntales. Existen cuatro tipos de condiciones de contorno a la placa: la primera considera la placa continua en todas sus direcciones; la segunda y la tercera la consideran continua en una dirección, y un extremo en la otra dirección, y la cuarta considera una placa aislada. Por último, asume que la cimentación es infinitamente rígida e indeformable. Como conclusión de este trabajo de investigación se tiene que la influencia de la rigidez del cimiento en los puntales es mínima, la influencia de la deformación de las columnas es despreciable en el momento de determinar la distribución de cargas en los puntales, la relación largo-ancho del entrepiso no influye sobre la carga máxima en puntales.

Poco después, en 1988 Gardner y Fu realizaron estudios sobre la influencia de la contracción y el agrietamiento del concreto en placas. En 1990 Stivaros y Halvorsen, desarrollan el EFM (Equivalent Frame Method (EFM) – en dos dimensiones), considerando como hipótesis que los puntales actúan como apoyos elásticos con un valor de rigidez igual a la rigidez total de los puntales correspondientes. Además, se asume que el nudo entre la placa y el puntal es una articulación. Se considera la cimentación como infinitamente rígida y tienen en cuenta dos tipos de condiciones de contorno, la primera correspondiente a un vano aislado y la segunda a un conjunto de tres vanos, como conclusión de la investigación se tiene que la carga máxima fluctúa dependiendo del esquema constructivo utilizado, se refleja la

importancia de emplear modelos que consideren varios vanos y no modelos de un único vano que puedan llevar a inducir menos precisión en los cálculos.

Para el año de 1995, Duan y Chen, desarrollaron el Método Simplificado Mejorado en el cual su principal hipótesis considera a los puntales como elementos con rigidez finita a diferencia de Grundy y Kabaila (1963), quienes consideraron rigidez infinita de los puntales en su modelo, asumen además que las cargas transmitidas a los puntales se distribuyen uniformemente, de esta manera calcularon que la deformación de los puntales ubicados en la parte central, es igual a la deformación media de los puntales ubicados en el mismo nivel. Se tiene como conclusión que el método simplificado propuesto por Grundy y Kabaila subestima las solicitaciones de los entrepisos, teniendo en cuenta su hipótesis de considerar a los puntales como elementos con rigidez infinita, el método de Grundy y kabaila (1963), se recomienda utilizarlo en los casos que relación de rigidez entrepiso- puntal sea menor de 0.40. Para los demás casos, es más ajustado Duan y Chen (1995). Grundy y Kabaila (1963), se recomienda para una relación de rigideces de entrepiso-puntal menores que 0.20, para los demás casos se recomienda el método simplificado de Duan y Chen (1985).

En 1997, Rosowsky et al., estudiaron la evolución de cargas en puntales a edades tempranas en el fraguado de las placas, controlando que las sobrecargas de ejecución aplicadas sobre las placas fueran relativamente bajas. Las variaciones registradas durante este período, fueron diferentes según la zona instrumentada, y se presentaron mayores variaciones en la zona con una mayor área. En ambas zonas, las variaciones de carga en los puntales fueron de carácter cíclico (diario), pero con una tendencia decreciente con el tiempo. Se llegó a la conclusión de que estas variaciones ocurrían por cambios medioambientales en la obra, asociados a efectos de fluencia y ganancia de rigidez del concreto. Azkune, M.I., Puente, A., e Insuasti, B. (2007), estudiaron la influencia de las variaciones de temperatura en la distribución de la carga entre puntales y placas, los cuales llegaron a la conclusión que la temperatura ambiente es la base para entender las fluctuaciones de distribución de la carga en una estructura durante las etapas de construcción.

En el 2009, Alvarado Y. A, en su tesis doctoral, desarrolla un estudio experimental y de modelación con elementos finitos (EF). El desarrollo del modelo de EF simuló la transmisión de cargas entre puntales y entrepisos, en un proceso de cimbrado, clareado y descimbrado. En este modelo no se consideraron los efectos de los cambios de temperatura, aunque, si la variación de las propiedades del concreto. De esta forma, la validación se realiza con las medidas instantáneas de las operaciones constructivas. Como principal conclusión se tiene que para el proceso de clareado una fracción importante de la carga es asumida por los entrepisos, es decir que a una edad muy temprana los entrepisos empiezan a cargarse con dicho proceso constructivo. En 2012, Gasch, Isabel; Alvarado, Yezid A.; y Calderón, Pedro A., evaluaron el efecto de la temperatura en la trasmisión de cargas de placas y puntales, establecieron que la temperatura es un factor influyente dependiendo del gradiente térmico

de la placa. Por último, en el 2014, Huang Ke- Feng & Liu Xi- La estudiaron el efecto de la variación de la temperatura ambiental sobre la seguridad de estructuras de concreto armado durante la construcción, dando como resultado que los efectos de las variaciones de temperatura son significativas y no puede ser ignorada.

Todos estos autores han estudiado por separado, las variables que se tendrán en cuenta en el desarrollo de la presente investigación, y dejan un gran interrogatorio en cuanto al estudio de las fuerzas internas y deflexiones instantáneas que se producen durante la construcción de edificaciones de plantas sucesivas. En este caso, para edificios aporticados con placas unidireccionales vaciadas en sitio.

## 2.3 MARCO TEÓRICO

### 2.3.1 Deflexiones en placas de concreto

De acuerdo con la ACI-435R, 1995, para el cálculo de las deflexiones máximas instantáneas, se definen tres metodologías para calcularla, la llamada solución clásica, método de los pórticos virtuales y el método por elementos finitos.

- Solución clásica

$$\Delta = \frac{\alpha w l^4}{D} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde

$\Delta$ : Deflexión en un punto (x,y)

w: Carga transversal uniforme

D: Rigidez de flexión por unidad de ancho,  $Eh^3/12(1-\nu^2)$

$\alpha$ : Coeficiente que depende de las condiciones de borde y de la relación de aspecto

l: Mayor luz de la placa

- Método de los pórticos virtuales

La hipótesis consiste en la no interacción entre pórticos virtuales (Carreteros, 2016). Dichas iteraciones se pueden presentaren dadas las siguientes situaciones:

- ✓ Asimetrías notables en planta o en alzado (de geometría y rigidez).
  - ✓ Existencia de brochales. Un brochal es una Viga transversal que soporta los extremos de un conjunto de viguetas dispuestas paralelamente entre sí, transmitiendo sus cargas a otras dos paralelas a éstas.
  - ✓ Estructuras sensiblemente traslacionales.
  - ✓ Existencia de elementos de rigidización transversal (pantallas, núcleos).
  - ✓ Acciones no gravitatorias en estructuras no uniformes.
  - ✓ Fuerte descompensación de cargas o de luces”.
- Método de los elementos finitos

El método de elementos finitos permite realizar un análisis más detallado de cada uno de los elementos estructurales por estudiar, ya que en él se pueden incluir diferentes condiciones de carga, diferentes condiciones de apoyo o soporte y además tiene en cuenta las propiedades mecánicas de los materiales en función del tiempo.

Al discretizar cualquier elemento, este se subdivide en varias partes, en una estructura discreta su deformación está definida por deformaciones y /o giros que en conjunto forman el vector de deformación. (Celigueta, 2008) . Una vez se conforma la matriz elemental de rigidez se deriva. La matriz de rigidez de toda la placa es entonces ensamblada. La solución para desplazamientos y momentos internos se procede usando la matriz estándar usando técnicas de análisis aplicables para la solución de ecuaciones de equilibrio.

Ahora bien, utilizando el reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR 2010, en su numeral C.9.5.2.3, las deflexiones inmediatas se deberán calcular teniendo en cuenta dos escenarios, el primero considerando las ecuaciones y métodos comunes específicas para deflexiones elásticas y el segundo escenario partiendo del hecho que el elemento está fisurado en una o varias partes o si su altura presenta variación se considera necesario realizar un cálculo más detallado. Tal como se muestra en la ecuación 3, considerando el módulo de elasticidad del concreto, el momento de inercia efectivo  $I_e$  y el de inercia de la sección bruta del elemento  $I_g$ , teniendo en cuenta que el  $I_e$  no deber ser mayor que  $I_g$ .

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde,

$$M_{cr} = \frac{Fr I_g}{y_t}, Fr = 0,62\lambda \sqrt{f'}c$$

En la Tabla 1, se muestra los valores máximos tolerables de deflexión en placa de acuerdo a diversas situaciones.

*Tabla 1. Límite de deflexión según la NSR 10 .Tabla C.9.5 (a).*

TIPO DE ELEMENTO	DEFLEXIÓN CONSIDERADA	LÍMITE DE FLEXIÓN
Cubiertas planas que no soporten ni estén ligadas a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	Deflexión inmediata debida a la carga viva, L	$\ell/180$
Entrepisos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes	Deflexión inmediata debida a la carga viva, L	$\ell/360$
Sistema de entepiso o cubierta que soporte o esté ligado a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	La parte de la deflexión total que ocurre después de la unión de los elementos no estructurales (la suma de la deflexión a largo plazo debida a todas las cargas permanentes, y la deflexión	$\ell/480$
Sistema de entepiso o cubierta que soporte o esté ligado a elementos no estructurales no susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	inmediata debida a cualquier carga viva adicional)†	$\ell/240$

### **2.3.2 Código modelo CEB-FIB 1990**

Según el Código modelo CEB-FIB 1990, utilizado en el programa ETABS 2013, tiene en cuenta los efectos del tiempo, por ejemplo la evolución del módulo de elasticidad, para el cálculo del módulo de elasticidad a edad diferente a los 28 días se tendrá en cuenta la ecuación 4, y para concretos cuya densidad sea normal puede calcularse como:  $4700\sqrt{f'}c$ .

$$E_{ci(t)} = \beta_E(t) E_{ci} \tag{Ec. 4}$$

Donde,

$$\beta_E(t) = [\beta_{cc}(t)]^{0,5} \quad \text{Ec. 5}$$

$E_{ci}(t)$ : Módulo de elasticidad a una edad de  $t$  días

$E_{ci}$ : Módulo de elasticidad a una edad de 28 días

$\beta_E(t)$ : Coeficiente que depende en la edad  $t$  del concreto (días)

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s \left[ 1 - \left( \frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\} \quad \text{Ec. 6}$$

$\beta_{cc}(t)$ : Coeficiente que depende de la edad del concreto  $t$

$t$ : 1 día

$s$ : Coeficiente que depende del tipo de cemento  $s = 0,20$  para cementos de alta resistencia y rápido endurecimiento,  $0,25$  para concretos normales y de rápido endurecimiento y  $0,38$  para cementos de lento endurecimiento.

Nota: Para trabajos futuros se recomienda realizar un Análisis Paramétrico que involucre la variación en la Resistencia del Concreto.

### 2.3.3 Fuerzas internas

Las fuerzas internas se dividen en fuerzas cortantes y momentos flexionantes. Los momentos flexionantes se generan al aplicar una fuerza externa, dicha fuerza genera una deflexión y por consiguiente un momento interno que puede ser positivo o negativo. Un momento positivo significa que en su sección transversal, la fibra inferior al eje neutro está sometida a esfuerzos normales de tensión y la fibra superior al eje neutro estará sometida a esfuerzos normales de compresión.

Según la ACI se deben tener en cuenta los siguientes coeficientes para el diseño de vigas continuas y losas en una dirección. Ver tabla 2.

Tabla 2. Coeficientes ACI para el diseño de vigas continuas y losas en una dirección

<b>Momento positivo</b>	
Luces de borde	
Si el borde es discontinuo sin restricción	$\frac{q_u \times l_n^2}{11}$
Si el borde es discontinuo e integral con el apoyo	$\frac{q_u \times l_n^2}{14}$
Luces interiores	$\frac{q_u \times l_n^2}{16}$
<b>Momento negativo en la cara exterior del primer apoyo interior</b>	
Cuando se tienen dos luces	$\frac{q_u \times l_n^2}{9}$
Para más de dos luces	$\frac{q_u \times l_n^2}{10}$
<b>Momento negativo en las otras caras de los apoyos interiores</b>	
	$\frac{q_u \times l_n^2}{11}$
<b>Momento negativo en la cara de todos los apoyos para</b> a) losas con luces que no excedan de 3.0 m y b) Vigas en donde la relación de suma de las rigideces de columnas a suma de rigideces de vigas no exceda de ocho en cada extremo de la luz.	
	$\frac{q_u \times l_n^2}{11}$
<b>Momento negativo en la cara interior de los apoyos exteriores para aquellos elementos vaciados monolíticamente con sus apoyos</b>	
Cuando el apoyo es una viga de borde o de respaldo	$\frac{q_u \times l_n^2}{24}$
Cuando el apoyo es una columna	$\frac{q_u \times l_n^2}{16}$
<b>Cortante en la cara interna del primer apoyo interior</b>	
	$1.15 \times \frac{q_u \times l_n}{2}$
<b>Cortante en las otras caras de los apoyos</b>	
	$\frac{q_u \times l_n}{2}$

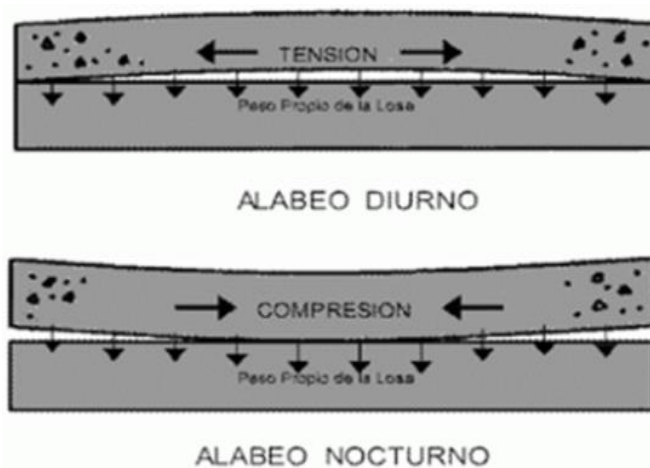
### 2.3.3 Efectos de la temperatura

Los cambios de volumen debidos a la temperatura ya sea por su aumento o disminución, se convierten en un potencial de generación de agrietamiento en las placas de concreto durante su estado fresco. Las placas de piso fundidas en clima frío, son menos susceptibles al agrietamiento en comparación con las placas que se funden en clima cálido, teniendo en cuenta que la línea base se ve afectada por las variaciones de temperatura durante las primeras horas de fundida del elemento, la expansión producida no resulta ser tan peligrosa como la contracción. (M. Sofi, 2004).

En un elemento recién fundido, la presencia de la temperatura se determina por el equilibrio entre el desarrollo de calor debido a la hidratación y el intercambio de calor con el entorno. Cuando se analiza este fenómeno en elementos finitos, el coeficiente de transferencia de calor representa la transferencia de calor entre una superficie y el medio ambiente. Además, depende del tipo de encofrado que se vaya a utilizar y que a su vez, puede actuar como aislante térmico. Según estudios de Van Breugel (1991), en su tesis doctoral afirma que en las simulaciones numéricas, se debe tener en cuenta los efectos de la radiación solar que provocan un diferencial de temperaturas en todos los elementos que en conjunto, hacen parte de la placa en concreto, sobre todo a edades tempranas de fraguado.



El efecto de la temperatura se evidencia especialmente durante el ciclo total de 24 horas, es decir, durante el día, cuando la temperatura en la parte superior de la placa es más alta que en la inferior, y la superficie superior tiende a expandirse con respecto del eje neutro, mientras que la inferior tiende a contraerse. Sin embargo, el peso de la placa restringe al mismo tiempo, la expansión y la contracción. Entonces, se inducen esfuerzos de compresión en la parte superior y de tracción en la inferior. En la noche, cuando la temperatura en la parte superior de la losa es más baja que la de la inferior, se inducen esfuerzos de tensión en la parte inferior y de compresión en la superior (Huerta, 2012), tal y como se muestra en la Figura 11. Todo esto se traduce en la influencia de un gran diferencial de temperatura que su vez se acompaña de un bajo contenido de agua, lo cual puede generar un mayor calentamiento, porque la existencia de pocos vacíos resulta muy difícil para transportar el calor sobre la masa del cemento debido a las cargas térmicas producidas, y presenta micro grietas en su interior.



**Figura 11.** Alabeo en placas. <http://www.elconstructorcivil.com>

Un cambio en la temperatura, produce deformaciones en los materiales, al variar la longitud de los mismos. Si se considera un elemento de longitud  $L$ , cuando se produce un cambio en la temperatura de  $\Delta T$  se produce un cambio en la longitud  $\Delta L$ . de acuerdo con la ecuación 7, la dilatación térmica lineal será:

$$\alpha_L = \frac{1}{L} \left( \frac{dL}{dT} \right) = \left( \frac{d \ln L}{dT} \right) \approx \frac{1}{L} \quad \text{Ec.7}$$

Dónde,

$$\Delta L = L_0 \times \alpha_L \times \Delta T$$

$L_0$ : Longitud inicial del elemento

$\alpha_L$ : Coeficiente de dilatación térmica lineal

$\Delta T$ : Diferencial de temperatura °F, °C, °K

La dilatación térmica en un material produce además una deformación de acuerdo con la ecuación 10:

$$\delta_T = \alpha \Delta T L$$

Ec.9

$\alpha$  Es el coeficiente de dilatación térmica, para este caso, la dilatación térmica del concreto está entre los siguientes valor dependiendo del tipo de agregado:

$$\alpha = 0,8 \times 10^{-5} \frac{1}{c}$$
$$\alpha = 1,5 \times 10^{-5} \frac{1}{c}$$

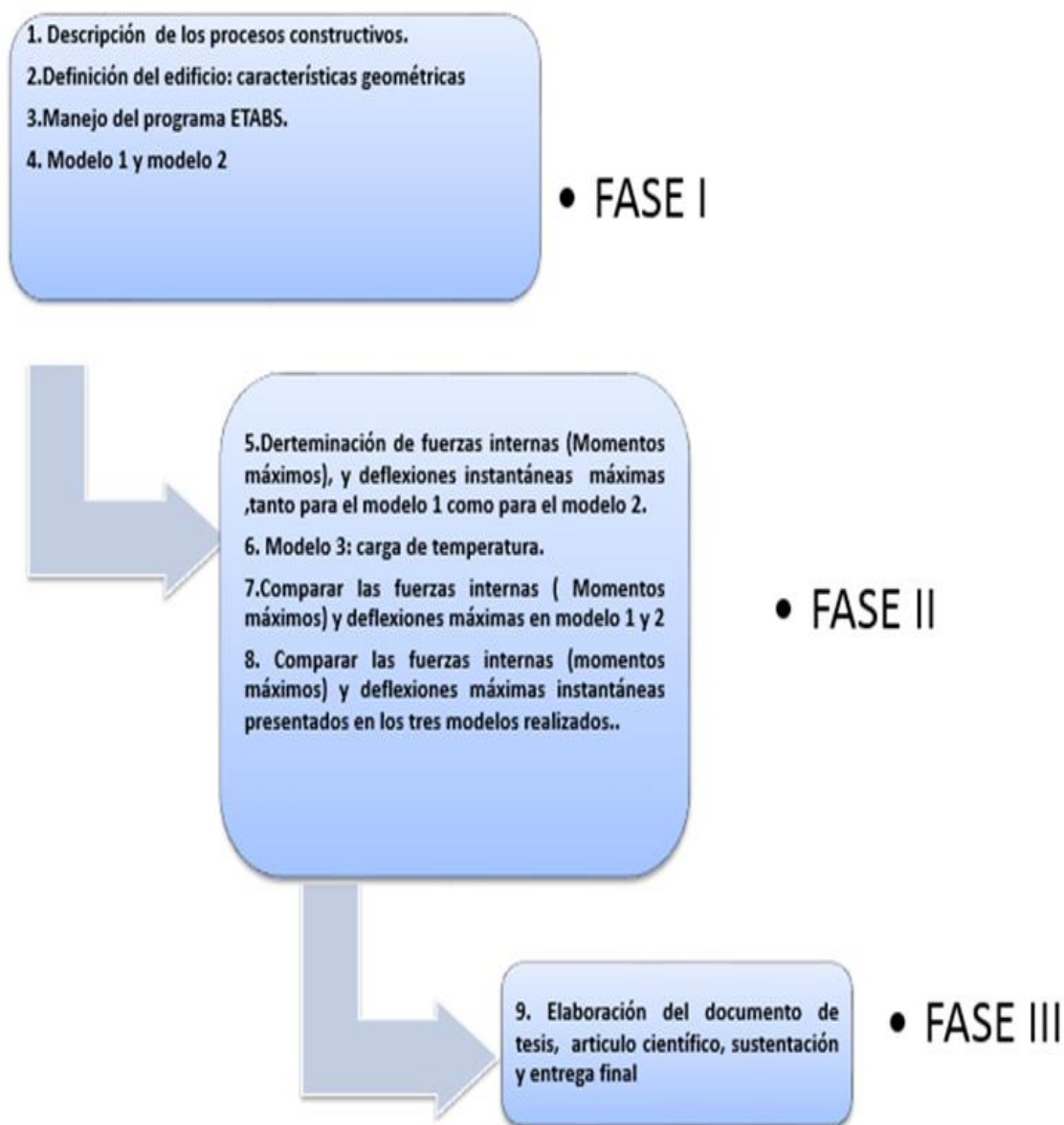
$\alpha$

De acuerdo con el Council on Tall Buildings and Urban Habitat, en edificios de hasta diez pisos y que no excedan los 60 m de dimensiones en planta, la acción térmica puede ser despreciada. Las tensiones y las deformaciones en la estructura, que afecten elementos no estructurales, serán despreciables. Los edificios que tengan entre 10 y 30 pisos, requieren que se evalúe el efecto térmico, lo mismo que la retracción y la fluencia lenta. Edificios con más de 30 pisos, requieren un análisis extensivo de los movimientos verticales ocasionados por temperaturas, para evitar que afecten la estructura o los elementos no estructurales (Victorio, 2005).

## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

Este capítulo, presenta de manera general las diferentes fases llevadas a cabo en desarrollo del presente trabajo de investigación.

La Figura 12, muestra cada una de las fases del proyecto, las cuales sirvieron de guía para el cumplimiento de los objetivos específicos planteados.



*Figura 12. Fases del proyecto*

**Fase 1:** Para esta etapa inicial, lo primero que se realizó fue una ficha técnica de los procesos constructivos con el fin de tener claro cada uno de los conceptos asociados, después se seleccionó el edificio a modelar, el cual ya estaba diseñado, con el fin de ahorrar tiempo en cuanto a los cálculos y distribución refuerzos de toda la edificación. En este caso particular, se seleccionó un edificio ubicado en la ciudad de Bogotá que tiene ocho pisos, este parámetro de selección fue con la intención que al momento de realizar la operación de descimbrado del cuarto piso, ya estuviera fundida la placa del piso ocho.

Con la ayuda del programa ETABS se elaboraron los Modelo 1 y 2. El Modelo 1 considera las características geométricas de la estructura bajo un modelo elástico, sin considerar el proceso evolutivo de construcción. El Modelo 2 utiliza las mismas características del Modelo 1, pero considerando el proceso evolutivo de construcción, es decir, considerando las operaciones constructivas: cimbrado- descimbrado, descimbrado parcial, reapuntalado-descimbrado.

**Fase 2:** Una vez que se realizaron dichas modelaciones, se determinaron las fuerzas internas (momentos máximos) y desplazamientos máximos ocurridos en la placa para ambos modelos. Los resultados se condensaron en cuadros comparativos entre los dos modelos, se elaboraron gráficas que muestran con claridad, la diferencia entre los dos modelos. Adicionalmente, en esta fase se contempló cumplir el segundo objetivo específico, para estos se consultaron los aportes realizados de otros autores en cuanto a la aplicación de cargas por temperatura para placas y la cimbra, con el fin de escoger el diferencial de temperatura más acertado dado las condiciones del edificio. Después se procedió con la tercera modelación en ETABS, considerando el diferencial de temperatura seleccionado, simulando 2 etapas del día, es decir, un diferencial en horas del día y otro diferencial en horas de la madrugada. Con los resultados obtenidos sobre las fuerzas internas y desplazamientos instantáneos máximos en la placa, se estableció un comparativo entre las modelaciones 2 y 3, para determinar la influencia de la temperatura en la producción del incremento de fuerzas internas (momentos máximos), y deflexiones máximas instantáneas.

En esta fase también se ejecutó el objetivo específico 3 de la investigación, por lo cual una vez obtenidos los resultados de la fuerza interna y deflexiones máximas en las placas en los tres modelos elaborados en ETABS, se realizó un comparativo entre las modelaciones

hechas, determinando el porcentaje de incremento en las fuerzas internas (momentos máximos) y deflexiones máximas instantáneas adicionales, considerando el proceso evolutivo de la construcción y por la temperatura, comparado con el modelo 1, en el cual se hizo la modelación convencional elástica, sin tener en cuenta algún proceso evolutivo de construcción. De esta forma, se verificó la hipótesis, considerando que las fuerzas internas (momentos máximos) y deflexiones máximas instantáneas que se producen durante el proceso constructivo de edificaciones aperticadas con placas unidireccionales en concreto reforzado, pueden ser mayores a las fuerzas internas y deflexiones máximas instantáneas calculadas en un diseño convencional.

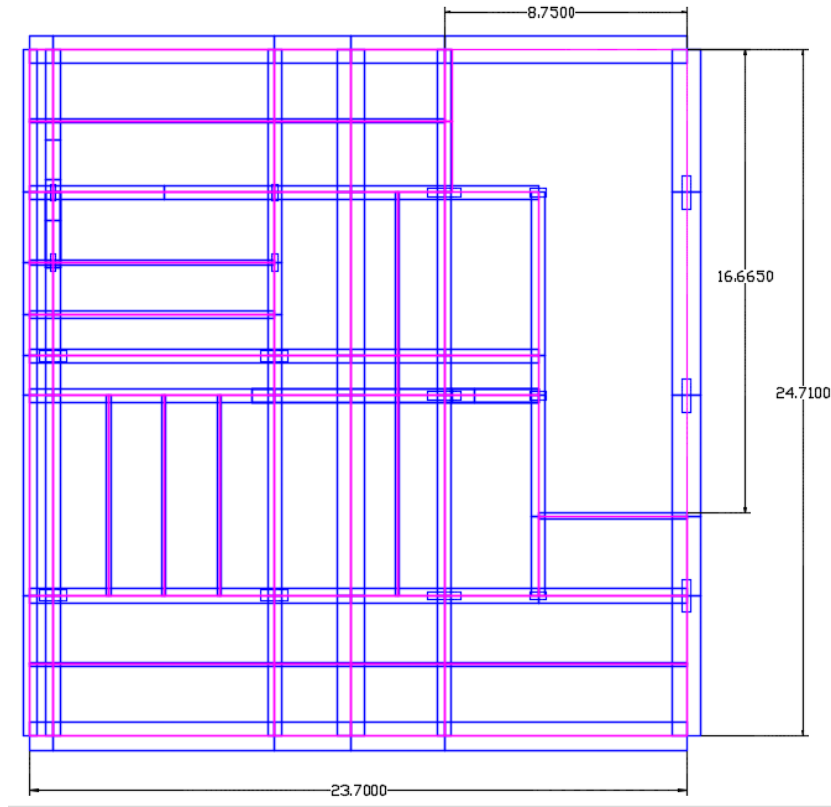
**Fase 3:** completadas las fases 1 y 2, se procedió con el ajuste y elaboración del documento escrito de la tesis, donde se condensó todos los resultados obtenidos. La Fase 1 ocupó el mayor tiempo contemplado en la ejecución del proyecto, teniendo en cuenta que en ella, se ejecutó el aprendizaje del programa ETABS y las modelaciones 1 y 2.

### **3.1 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO**

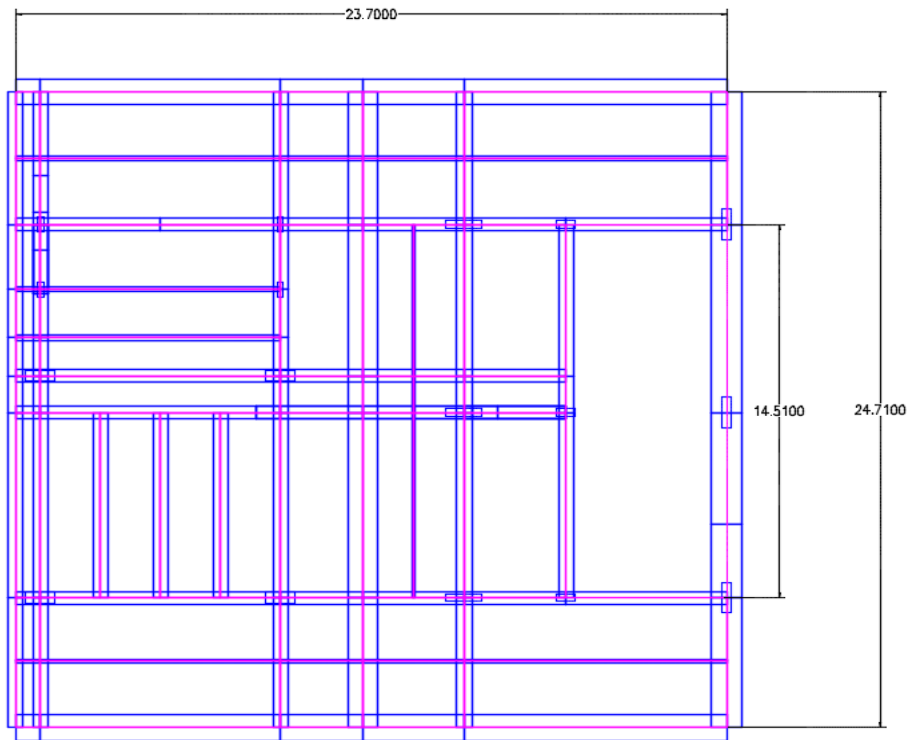
Como se indicó anteriormente la fase 1 incluyó la definición del edificio, con el fin de contar con un proyecto que ya estuviera diseñado, y de esta forma iniciar con el primer modelo utilizando la forma convencional de diseño.

#### ***3.1.1 Ubicación y características geométricas del edificio***

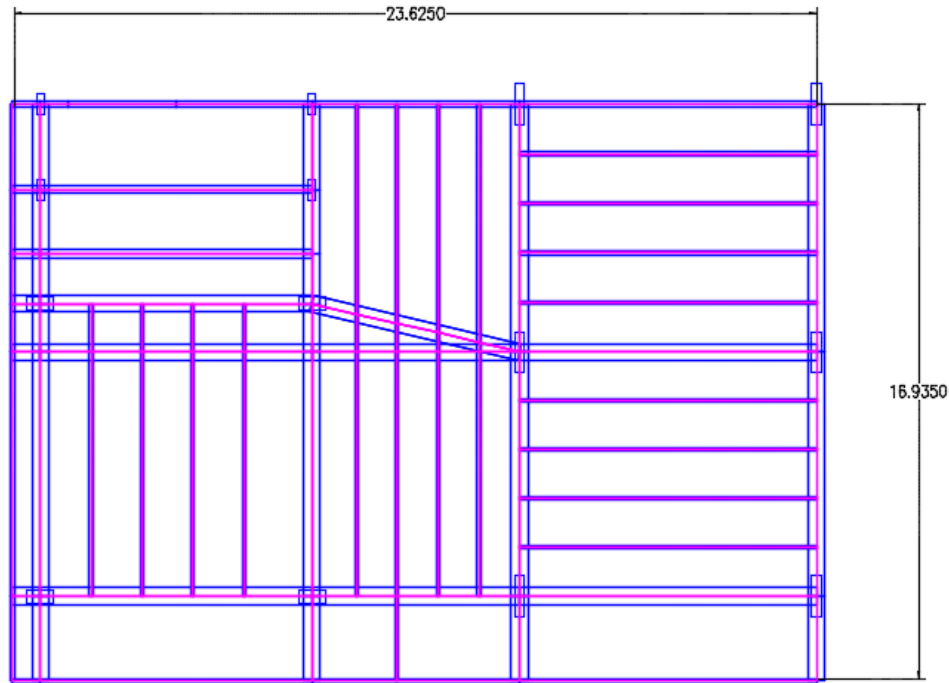
El edificio Villamora, consta de un sótano, ocho pisos adicionales, la distribución en planta del sótano y del piso 1, son diferentes al resto de los pisos (del 2 al 8). La distribución en planta del sótano, piso 1 y la típica del piso 2 al 8, son presentadas en las Figuras 13, 14 y 15, respectivamente. El espesor de las placas es de 0.10m. Las consideraciones de diseño convencional se presentan en la Tabla 3.



*Figura 13. Planta sótano*



*Figura 14. Planta piso 1*



**Figura 15.** Planta piso tipo del 2 al 8

*Tabla 3. Consideraciones de diseño.*

CARGA VIVA		RESISTENCIA DE CONCRETO	FLUENCIA DEL ACERO
PISOS 2-8	180 Kg/m <sup>2</sup>	PLACA DE CIMENTACIÓN: f'c 210 Kg/cm <sup>2</sup>	COLUMNAS, VIGAS Y PLACA: fy 420 Mpa y 239 Mpa
SÓTANO	250 Kg/m <sup>2</sup>	COLUMNAS, VIGAS Y PLACAS: f'c 280 Kg/cm <sup>2</sup>	

El proceso de diseño se realizó con base en la NSR-10. El edificio tiene configuración estructural de sistema aporticado con vigas, columnas y viguetas de diferentes secciones. La altura del sótano es de 2.6m, la altura del piso 1 es de 3.3m, la altura de los pisos 2 al 8 es de 3.45m. Con el ánimo de mantener equivalencia entre los diferentes modelos, al modelo lineal sólo se le aplican las cargas gravitatorias viva y muerta.

### 3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS

Los procesos utilizados son: cimbrado- descimbrado de ahora en adelante denominado (CD), cimbrado- descimbrado parcial- descimbrado, denominado como (CDPD), y el proceso cimbrado- reapuntalado- descimbrado (CRD). Para todos los procesos se tomaron las siguientes consideraciones: se utilizaron dos juegos de cimbra, los tiempos de duración para la fundida de la placa son 7 días, el cual incluye la fundida de columnas y muros, el tiempo

estimado para el descimbrado total es de 2 días, esto incluye la retirada total del equipo auxiliar, para el descimbrado parcial se estima 3 días, para el reapuntado se estimaron 4 días corresponde a dos días de retiro de toda la cimbra más dos días de la instalación de los puntales directos a la placa.

### 3.3 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

El software utilizado para la elaboración de los modelos es el ETABS 2013, el cual tiene licencia vigente en la Pontificia Universidad Javeriana – Bogotá D.C. Dicho programa cuenta con los parámetros incluidos en el Euro Código CEB-FIP 1990, el cual trae incluido herramientas para la modelación de procesos constructivos.

Se definió previamente los elementos a involucrar dentro de los procesos constructivos, como el caso de los elementos que conforman la cimbra: puntales, camilla, distanciadores y cerchas (ver Tabla 4).

*Tabla 4. Características de los elementos de cimbra.*

Grupo	Elemento	Propiedad del elemento	Dimensión/Longitud
Cimbra	Puntales	Frame	Según distancia entre pisos
	Camilla	Shell	1,4m x 0,70m
	Cercha	Frame	3m
	Distanciador	Frame	1,4m

Las placas fueron modeladas con elementos tipo “Shell”, cada una de las losas fueron discretizadas, siguiendo el principio de los elementos finitos. Los elementos se definen por un número discreto de puntos, llamados nodos, que se conectan entre sí. El programa ETABS por medio de los “Stage Construction”, permite ingresar todas las operaciones constructivas en función del tiempo, al igual que la evolución del material. Los elementos de camilla y muros fueron creados con elementos tipo “Shell-Thin”. Este elemento está formado por 4 nodos, con 6 grados de libertad por nodo (traslaciones y giros en  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ).

Las consideraciones manejadas para la modelación de los procesos constructivos se asumieron las siguientes hipótesis:



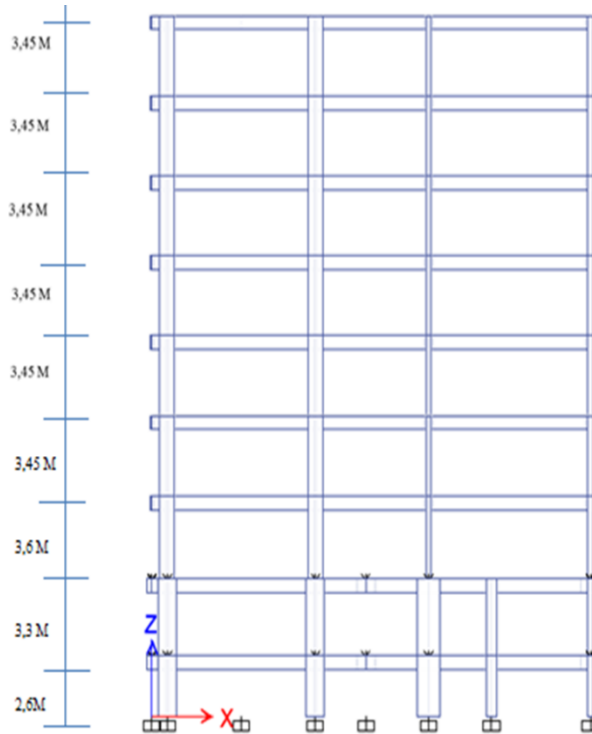
- Los puntales de acero son considerados como soportes elásticos con una rigidez finita, apoyados en sus extremos.
- El tablero de encofrado es considerado como elemento con un comportamiento elástico y lineal de rigidez finita.
- La cimentación se considera infinitamente rígida. Esto se deriva a partir de establecer que los puntales del sótano están apoyados directamente sobre la placa de cimentación.
- Las cargas aplicadas corresponden a las cargas de servicio, las demás cargas son despreciables en la modelación.

### **3.4 MODELACIONES**

A continuación se describe el proceso seguido en la elaboración de cada uno de los modelos.

#### ***3.4.1 Modelo 1: diseño convencional***

Las consideraciones tomadas para este diseño fueron la geometría y el dimensionamiento de los elementos que conforman el edificio, cumpliendo con los requisitos estipulados en la NSR10 y cuyos parámetros se mostraron en la tabla 4. Donde se realizó el montaje del edificio de forma lineal, es decir sobreponiendo los entresijos sin tener en cuenta tiempos de construcción, ni evoluciones del material (ver Figura 16).



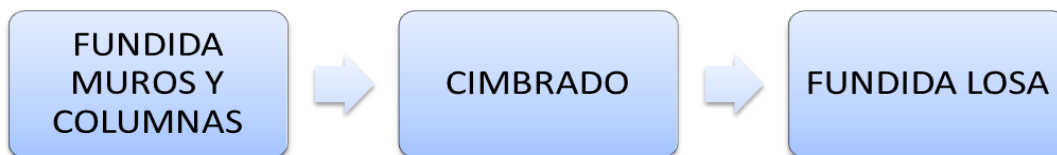
**Figura 16.** Alzado del edificio Modelo 1

**3.4.2 Modelo 2: diseño considerando las operaciones constructivas**

Para el modelo 2, además, de las condiciones y parámetros geométricos del edificio se tuvo en cuenta cada uno de los procesos constructivos: (CD), (CDPD), (CRD), así como cada una de sus respectivas operaciones constructivas utilizando los tiempos mencionados anteriormente.

**3.4.2.1 Procedimiento**

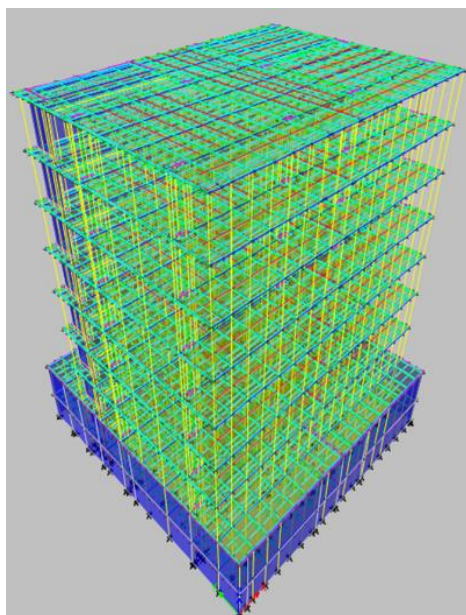
Para la planeación de las operaciones constructivas de cada proceso constructivo se debe seleccionar los grupos de elementos que conformaran dichas operaciones, de acuerdo a una secuencia lógica de construcción, tal como se muestra en la Figura 17.



**Figura 17.** Secuencia construcción

De acuerdo a la secuencia de construcción, lo primero que se realiza es la fundida de muros y columnas. El cimbrado implica elementos como camilla, puntales, y para el grupo de fundida de losa será la placa de cada uno de los entrepisos. De esta forma, se logra agrupar los elementos de cada nivel con el fin de poder realizar la secuencia de construcción. En el programa se crean dichos grupos a través de la instrucción “Define- Group Definition”.

Después de crear los grupos se asignan los elementos a cada uno, luego se crea cada una de las secuencias de construcción por la instrucción “Define- Load Case”, y se selecciona como sistema no lineal, en cada secuencia se ingresa el número de días predeterminado para su ejecución, así como, cada operación constructiva con su tiempo asignado, en la Figura 18, se puede observar una imagen del modelo 3D del edificio una vez se han creado todos los elementos que interactúan en los procesos constructivos.

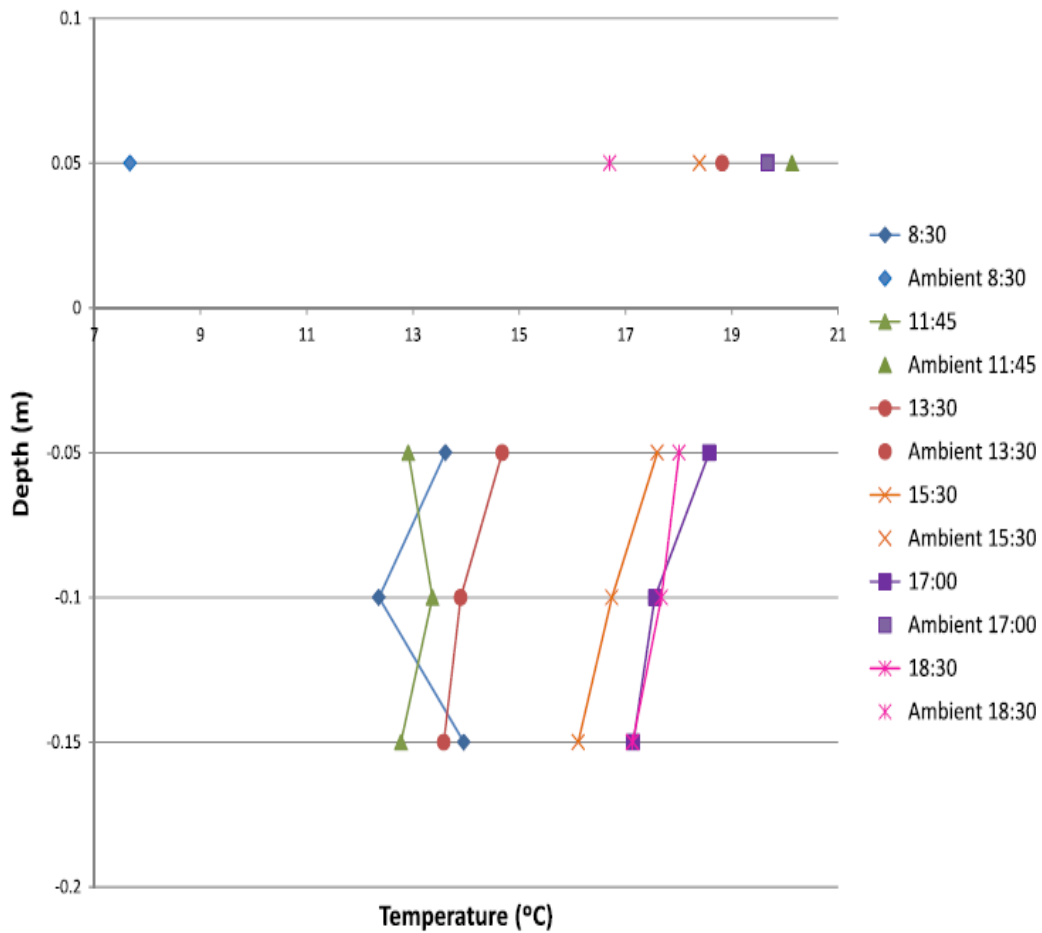


*Figura 18. Modelo 2. Considerando los procesos constructivos (ETABS)*

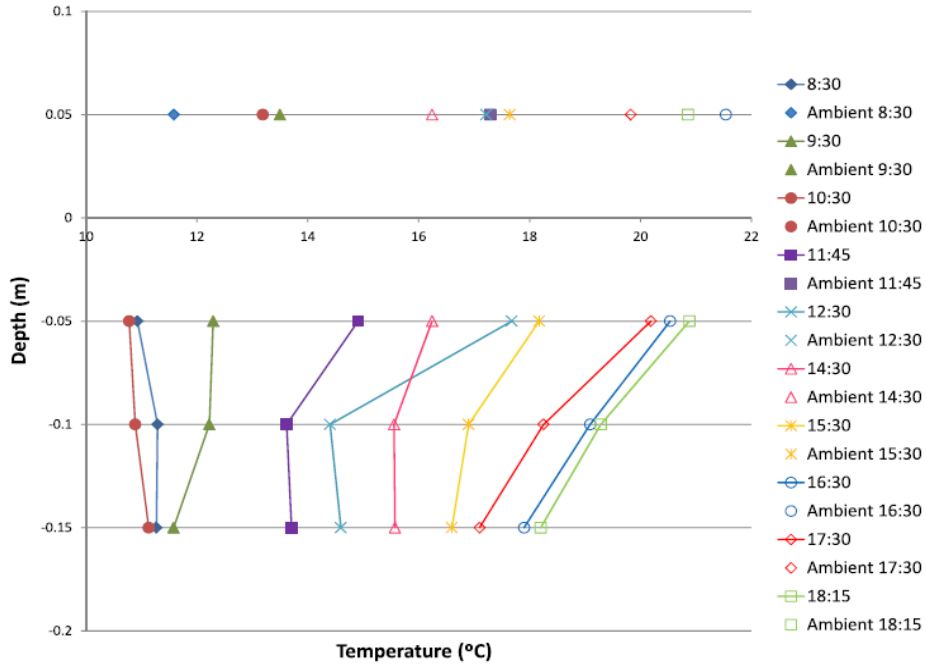
### **3.4.3 MODELO 3: CARGA DE TEMPERATURA**

Este modelo consiste en adicionar al Modelo 2, la carga de temperatura, aplicada directamente sobre las placas de cada entrepiso. Para dicho modelo se creó un caso de carga (“Load Case”) adicional llamado temperatura. Se aplicaron dos diferenciales de temperatura, simulando dos situaciones durante el día. El valor del diferencial de temperatura seleccionado, se tomó con base a lo expuesto por la investigación realizada por (Gash. I, 2012), donde realizaron un estudio experimental y de elementos infinitos para determinar la

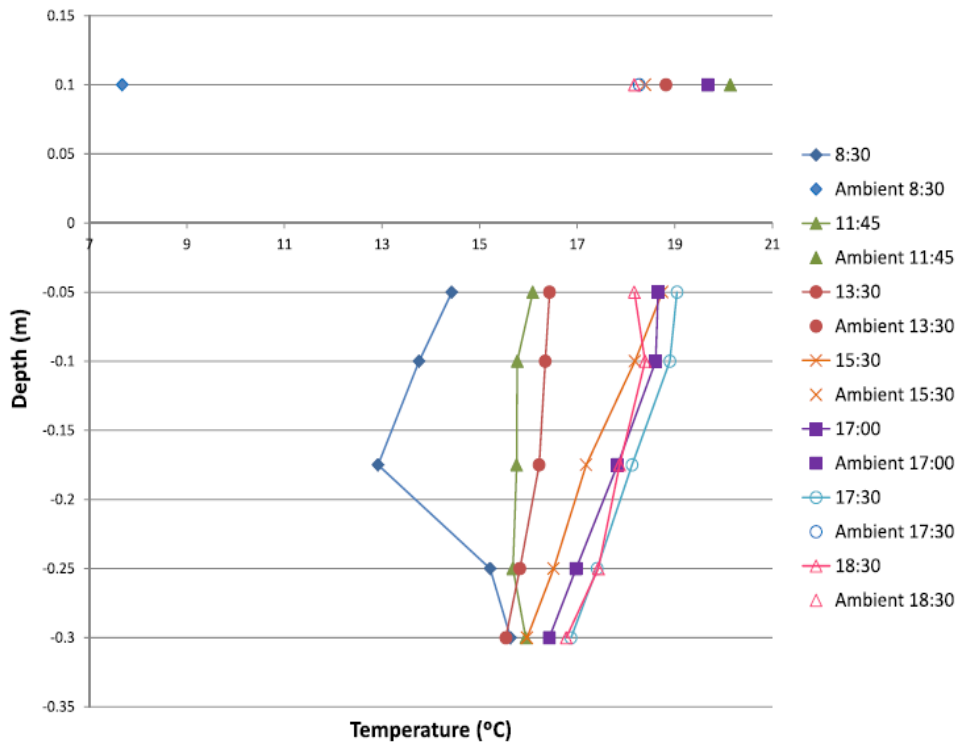
influencia de la temperatura en la transmisión de cargas. Este estudio se realizó para tres espesores de placas diferentes correspondientes a los espesores: 0.30m, 0.32 m y 0.40m. En cada caso se examinó la influencia con la cimbra y sin la cimbra, obteniendo los resultados presentados en la Figuras 19 a la Figura 24.



**Figura 19.** Distribución de la temperatura interna durante todo el día placa de 0,20m con cimbra. (Gash. I, 2012)



**Figura 20.** Distribución de la temperatura interna durante todo el día, placa de 0,20m sin cimbra. (Gash. I, 2012)



**Figura 21.** Distribución de la temperatura durante todo el día. Placa de 0,32m con cimbra. (Gash. I, 2012)

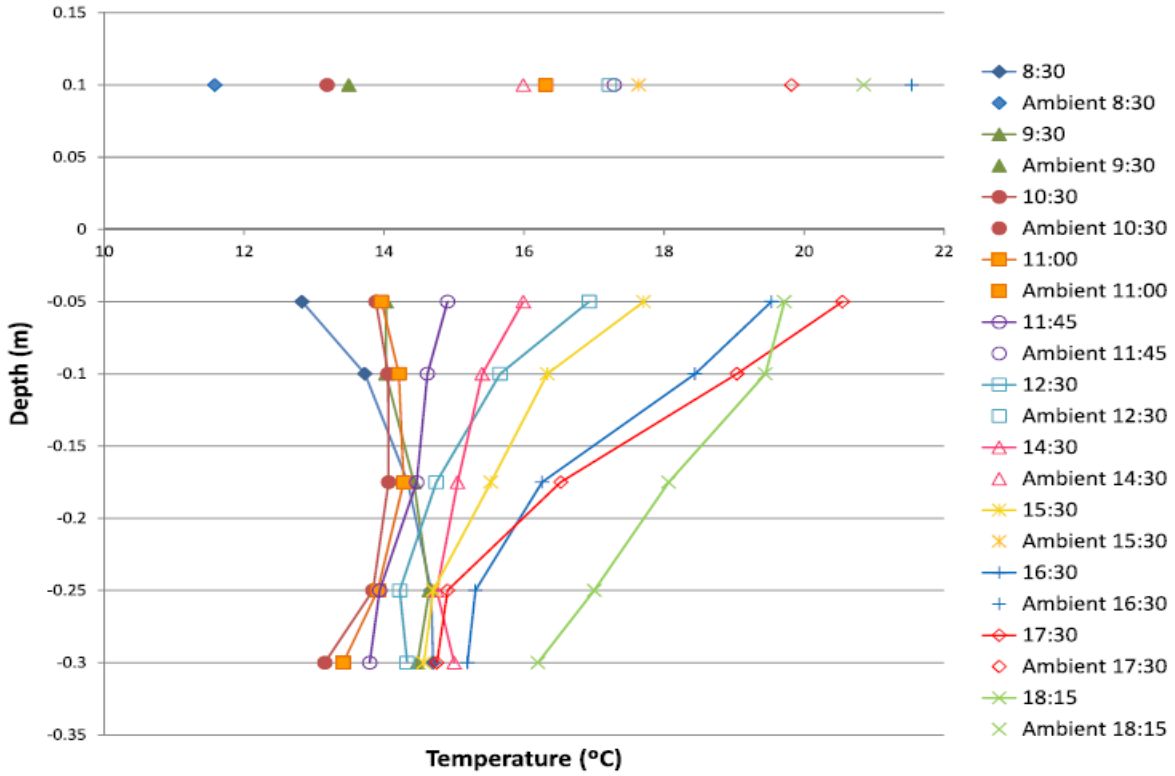


Figura 22. Distribución de la temperatura interna durante todo el día. Placa de 0,32m sin cimbra. (Gash. I, 2012)

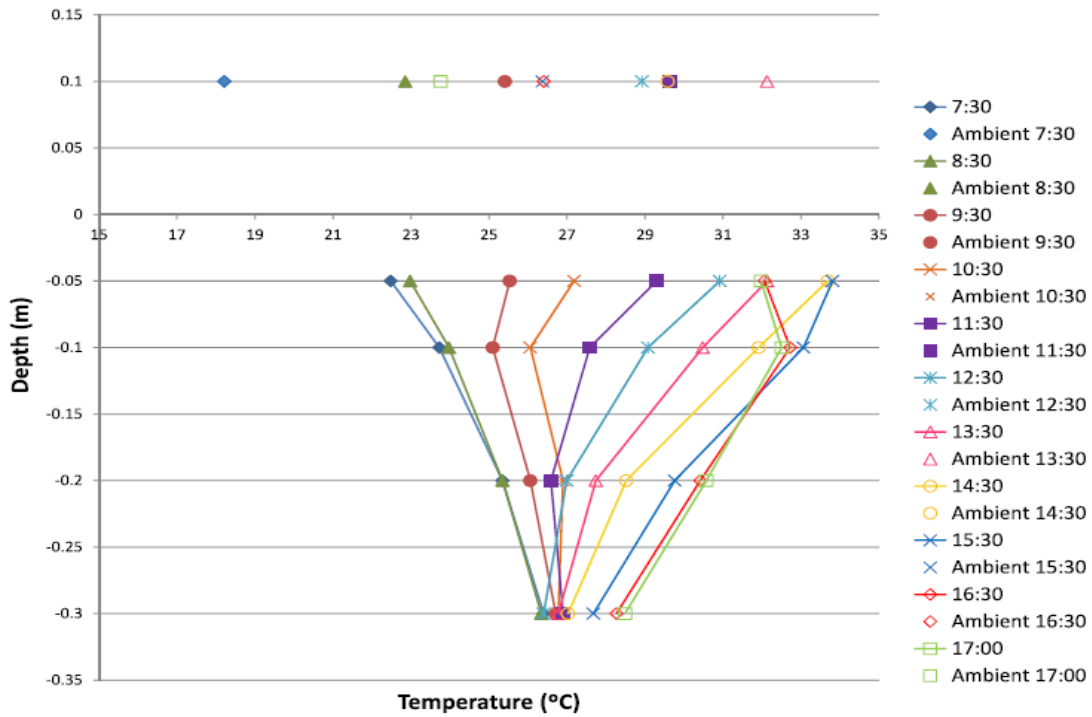
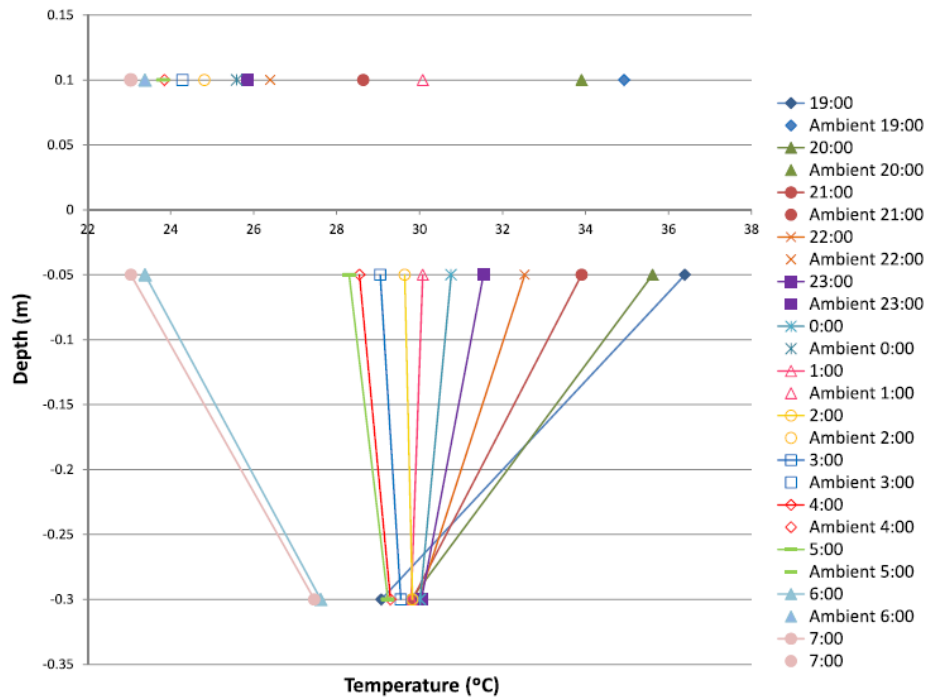


Figura 23. Distribución de la temperatura interna durante todo el día. Placa de 0,40m con cimbra. (Gash. I, 2012)



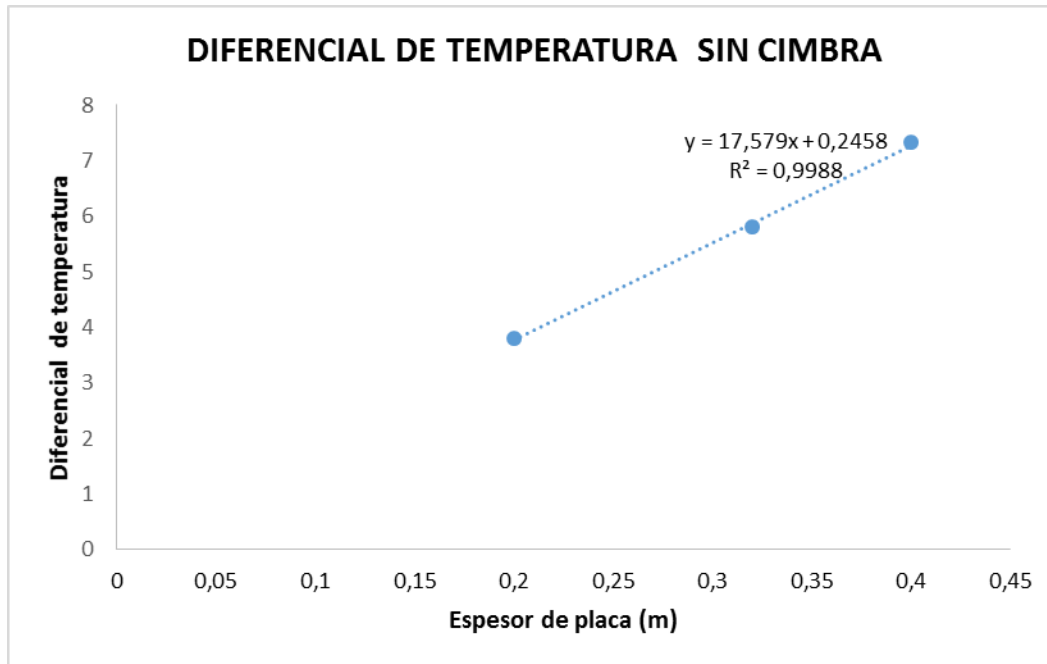
**Figura 24.** Distribución de la temperatura interna durante todo el día. Placa de 0,40m sin cimbra, y con luz solar directa. (Gash. I, 2012)

Los resultados obtenidos por (Gash. I, 2012), se agrupan en la Tabla 5.

*Tabla 5. Diferencial de temperatura con cimbra y sin cimbra.*

ESPESOR PLACA (m)	DIFERENCIAL TEMPERATURA CON CIMBRA	DIFERENCIAL TEMPERATURA SIN CIMBRA
0,4	6,94	7,32
0,32	2,77	5,8
0,2	1,49	3,79

Realizando un ajuste a través de una regresión lineal a los datos obtenidos por Gash, es presentada en la Figura 25.



**Figura 25.** Regresión lineal de diferencial de temperaturas en placas sin cimbra

Dado el comportamiento de los resultados en forma lineal se aplica la ecuación obtenida con el fin de hallar el gradiente de temperatura que puede llegar a ser influyente en nuestra placa de acuerdo al espesor de 0,60m.

$$y = 17,579 x + 0,2458 \qquad \text{Ec. 12}$$

Reemplazando en la ecuación 12, se obtiene como resultado  $y = 10,79$ , siendo éste el gradiente a utilizar para la carga de temperatura en las placas del edificio con espesor de 0,60m. Para hacerlo con números enteros se determina ingresar diferencial de temperatura positivo de  $10^{\circ}\text{C}$  y negativo de  $-10^{\circ}\text{C}$ .



## **CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 INTRODUCCIÓN**

Con el fin de determinar la influencia de los procesos constructivos sobre el comportamiento estructural del edificio, en cuanto a las fuerzas internas y las deflexiones máximas instantáneas en las placas, se procedió a elaborar 7 modelos 3D del edificio. En el primer modelo, el análisis se realizó de forma convencional, de forma lineal, los modelos fueron elaborados con la ayuda del programa ETABS 2013. Para modelar las losas se usaron elementos tipo “Shell”, mientras que para las vigas y columnas se recurrió al uso de elementos tipo “Frame”. Los siguientes 3 modelos, se elaboraron teniendo en cuenta los procesos CD, CDPD, CRD y operaciones constructivas. Por último, se elaboraron 3 modelos, en los cuales además de tener en cuenta los procesos constructivos se incrementó la carga por temperatura a la placa, puntales, muros y columnas.

Los análisis y procedimiento de los resultados se dividen en tres partes, la primera corresponde a los obtenidos en la transmisión de cargas de puntales y entrepisos, en estos modelos se utilizaron dos juegos de cimbra para la realización de las operaciones constructivas, teniendo en cuenta todo lo descrito en la metodología en cuanto a las consideraciones empleadas en cada caso de los procesos.

La segunda parte de los resultados está orientada en la determinación de los desplazamientos máximos y fuerzas internas en cada una de las placas del edificio, estos resultados provienen del modelo 1 y de los tres modelos siguientes (2, 3 y 4), considerando los procesos constructivos. La tercera parte, abarca los resultados de la modelación con el incremento de carga de temperatura en los últimos 3 modelos de los procesos constructivos, para estos 3 modelos se consideró dos escenarios: 1) un primer diferencial de temperatura en horas del mediodía y 2) un segundo diferencial de temperatura en horas de la madrugada, en estos tres modelos se analizó también los desplazamientos máximos y las fuerzas internas, así como, la influencia del incremento de la carga de temperatura en cuanto a la transmisión de cargas a edades tempranas de fraguado del concreto.

## 4.2 ANÁLISIS DE TRANSMISIÓN DE CARGAS MODELO 2

### 4.2.1 Análisis de cargas proceso de cimbrado – descimbrado

En este análisis los tiempos estimados para las operaciones del proceso constructivo CD fueron los siguientes:

Tiempo de fundida entrepiso: 7 días

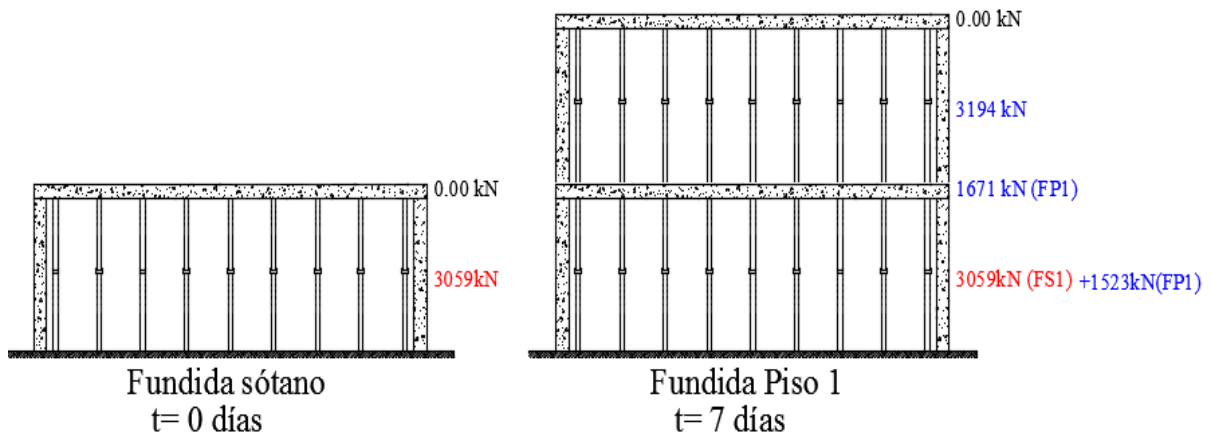
Tiempo de descimbrado: 3 días

La Figura 26, se muestra un esquema donde se indica el proceso CD con dos juegos de cimbra



*Figura 26. Proceso CD con 2 juegos de cimbra consecutivos.*

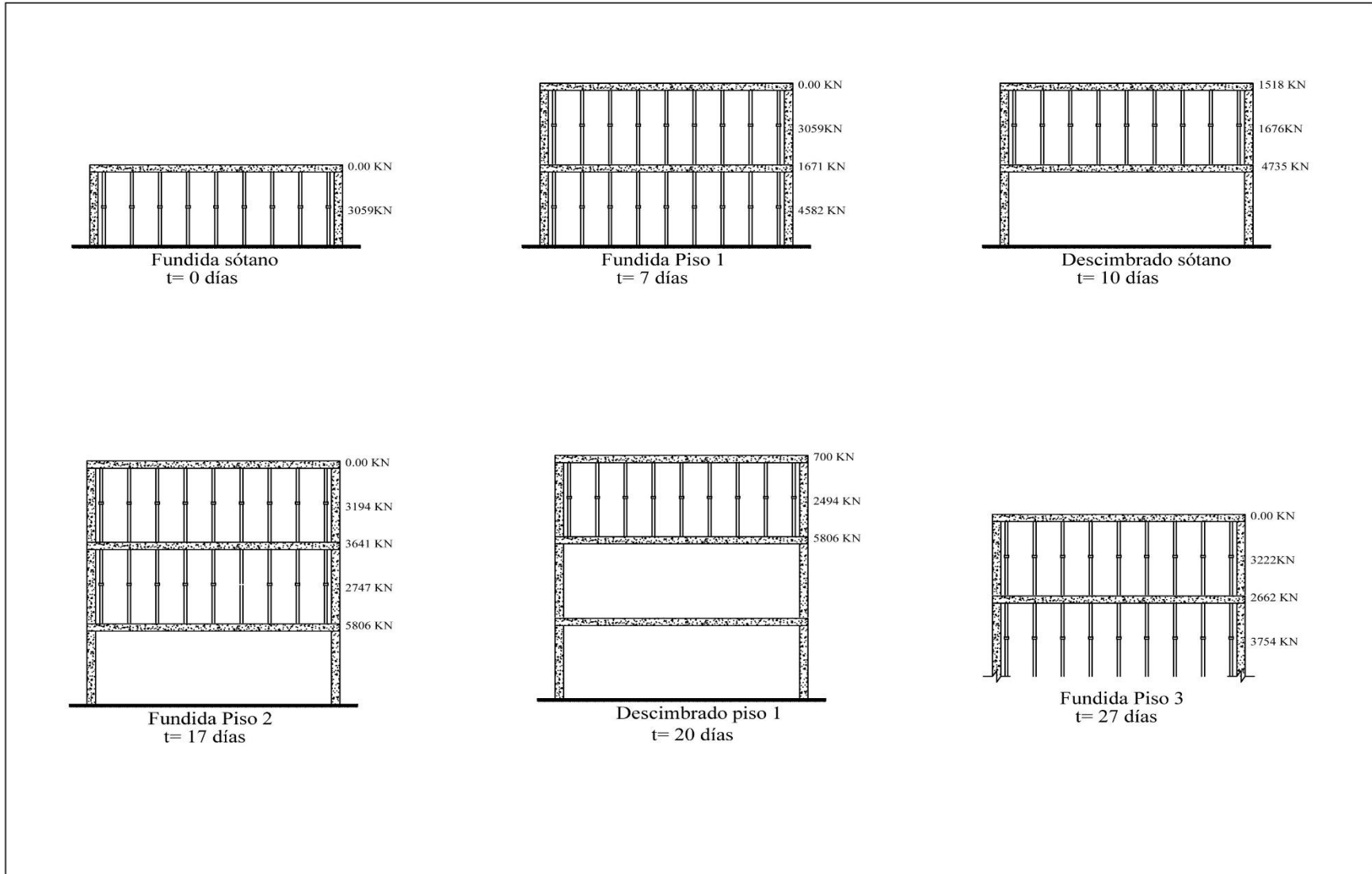
Los esquemas presentados en la Figura 27, reflejan el procedimiento de la transmisión de cargas para el proceso CD



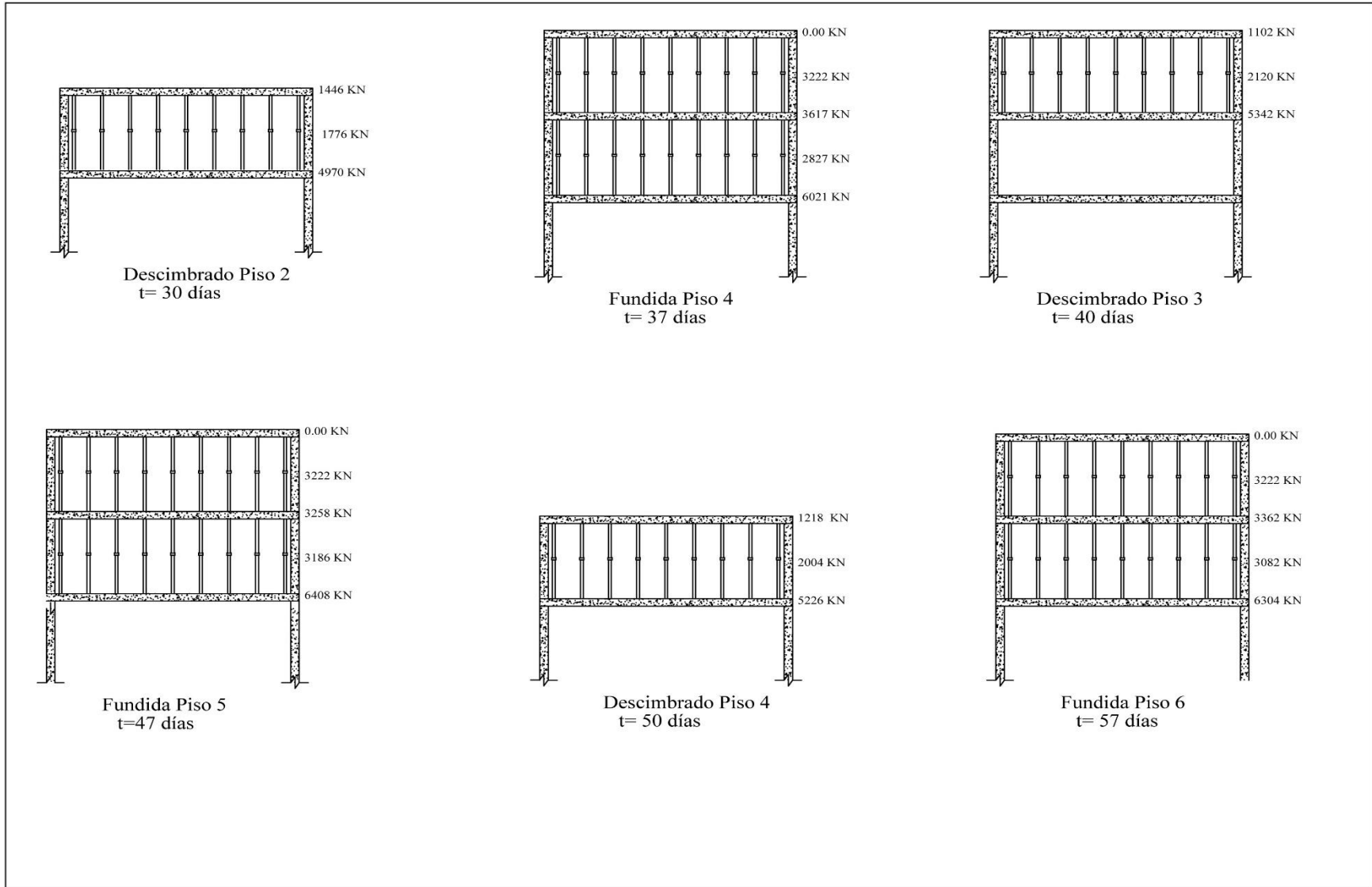
*Figura 27. Ejemplo transmisión de cargas proceso CD con 2 juegos de cimbra.*

La imagen del lado izquierdo mostrada en la Figura 27, indica la operación constructiva de la fundida del sótano, en donde los puntales asumen el 100% del peso de la placa y el entrepiso no transmite carga. Caso contrario, ocurre en la imagen del lado derecho donde se muestra la operación constructiva fundida del piso 1, al transcurrir siete días el entrepiso del sótano asume el 27% de la sumatoria del peso de los dos pisos, es decir 1671kN, entretanto los puntales que aún se encuentran instalados en el sótano transmiten una carga acumulada, es decir los 3059 kN que traía de la operación fundida sótano, más el incremento de carga que se transmitió al fundir el entrepiso 1 de 1523 kN para un total de carga transmitida en puntales sótano de 4582kN, correspondientes al 73% del peso total del edificio en ese instante..

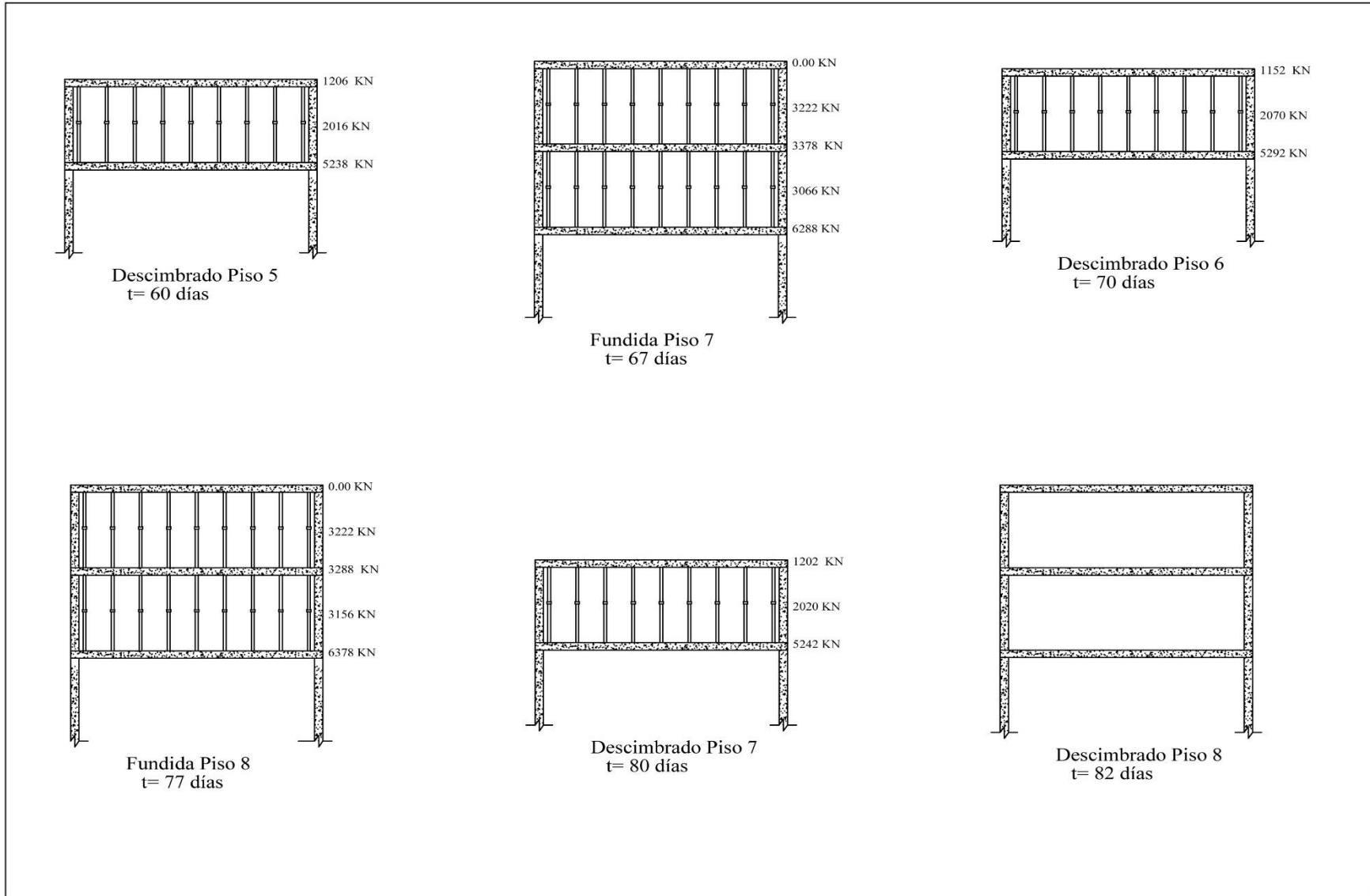
En las Figuras 28 a la 30 se muestra la transmisión de cargas utilizando dos juegos de cimbra para el proceso CD, desde el sótano hasta el piso 8, donde se refleja similitud en cuanto a la transmisión de cargas al realizar la operación de fundida de cada uno de los entrepisos, siendo los puntales los encargados en transmitir el 100% de la totalidad del peso de cada entrepiso. Para el caso en que se encuentren dos plantas sucesivas con cimbra, la carga que se transmiten en la fundida del piso 1, se subdivide a su vez repartiendo un porcentaje de carga aproximado del 52 % al entrepiso inferior y el resto de la carga es decir aproximadamente el 48 % a los puntales que van directos a la cimentación.



*Figura 28. Proceso constructivo CD- transmisión de cargas.*



**Figura 29.** Proceso constructivo CD- Transmisión de cargas.



**Figura 30.** Proceso constructivo CD- Transmisión de cargas.

#### 4.2.2 Análisis de cargas proceso de cimbrado – descimbrado parcial- descimbrado

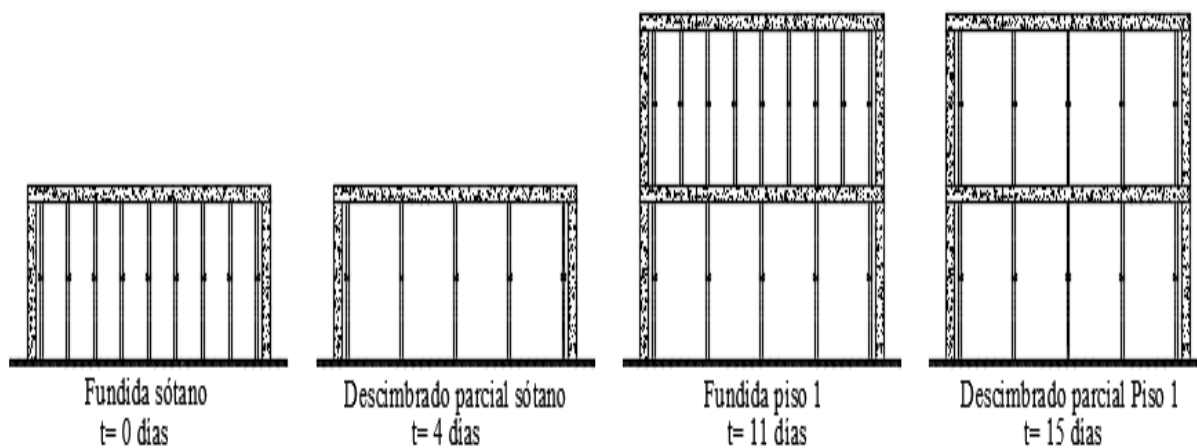
En este análisis se tuvieron en cuenta los siguientes tiempos para las operaciones del proceso constructivo CDPD:

Tiempo de fundida entrepiso: 7 días

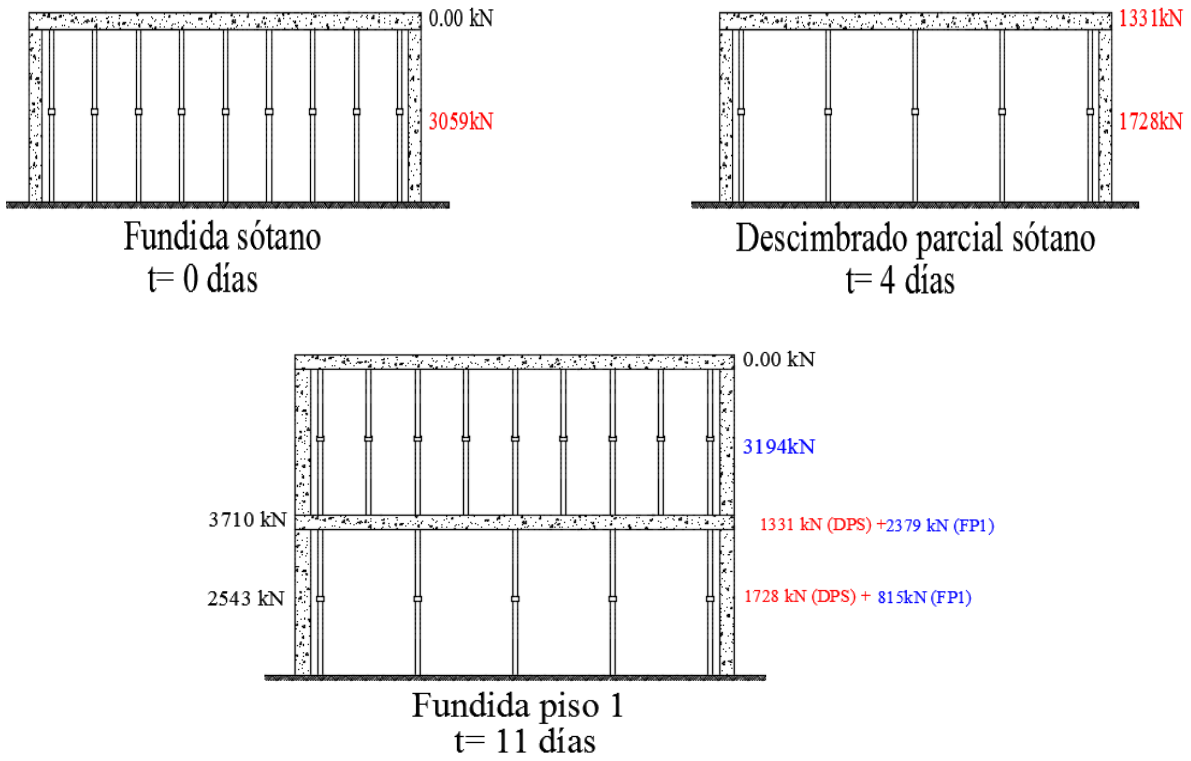
Tiempo de descimbrado parcial: 4 días

Tiempo de descimbrado total: 2 días

La Figura 31, representa un esquema de las operaciones para el proceso CDPD con dos juegos de cimbra. En la figura 32 se muestra una explicación de la transmisión de cargas con el proceso CDPD, se puede observar que durante la operación fundida del sótano son los puntales los que transmiten el 100% del peso total del entrepiso, luego al realizar la operación de descimbrado parcial del sótano, los puntales transmiten el 56% del total del entrepiso, el resto de la carga es asumida por la placa del sótano con un porcentaje aproximado del 44%. Al realizar la siguiente operación, es decir la fundida del piso 1, se encuentra el sótano con la cimbra parcial, transmitiendo estos puntales alrededor del 40% de la sumatoria del peso de los dos pisos que en ese momento se encuentran fundidos y el entrepiso del sótano incrementa su carga transmitiendo el 60% del peso total de la edificación.



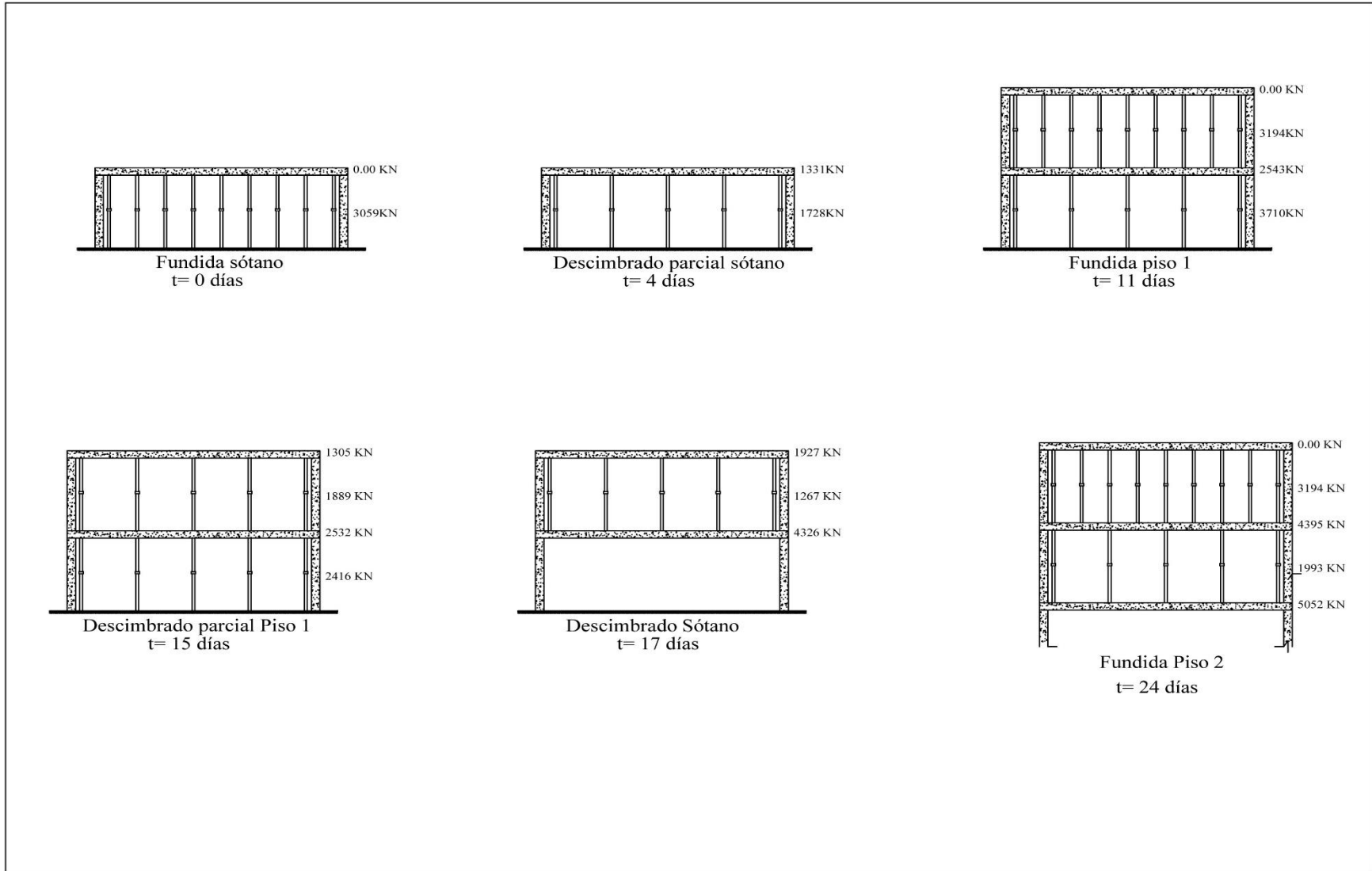
*Figura 31. Proceso CDPD con 2 juegos de cimbra consecutivos.*



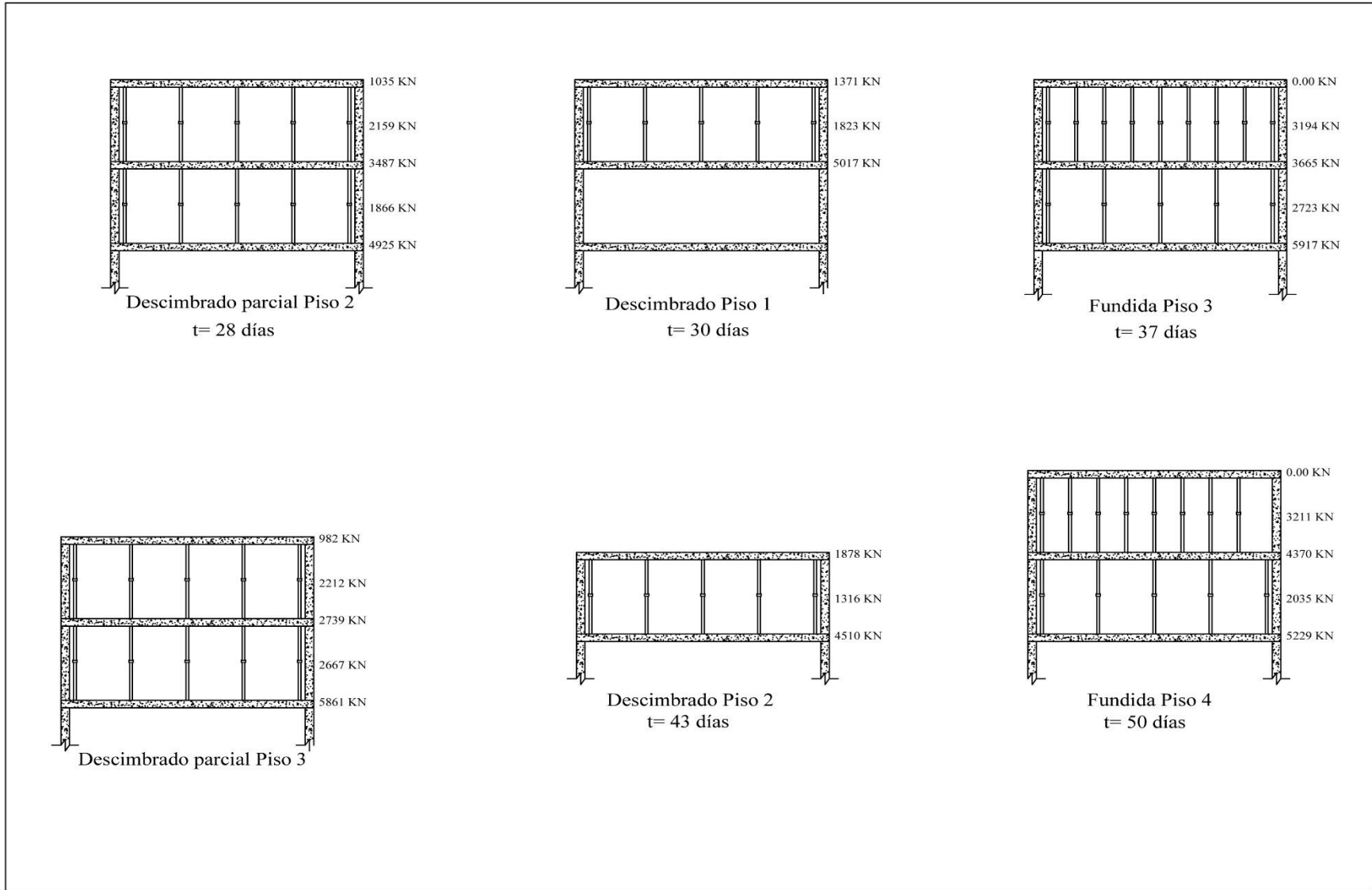
**Figura 32.** Transmisión de cargas proceso CDPD.

Los resultados de todos los entrepisos se representan desde la figura 33 hasta la figura 37, con dos juegos de cimbra.

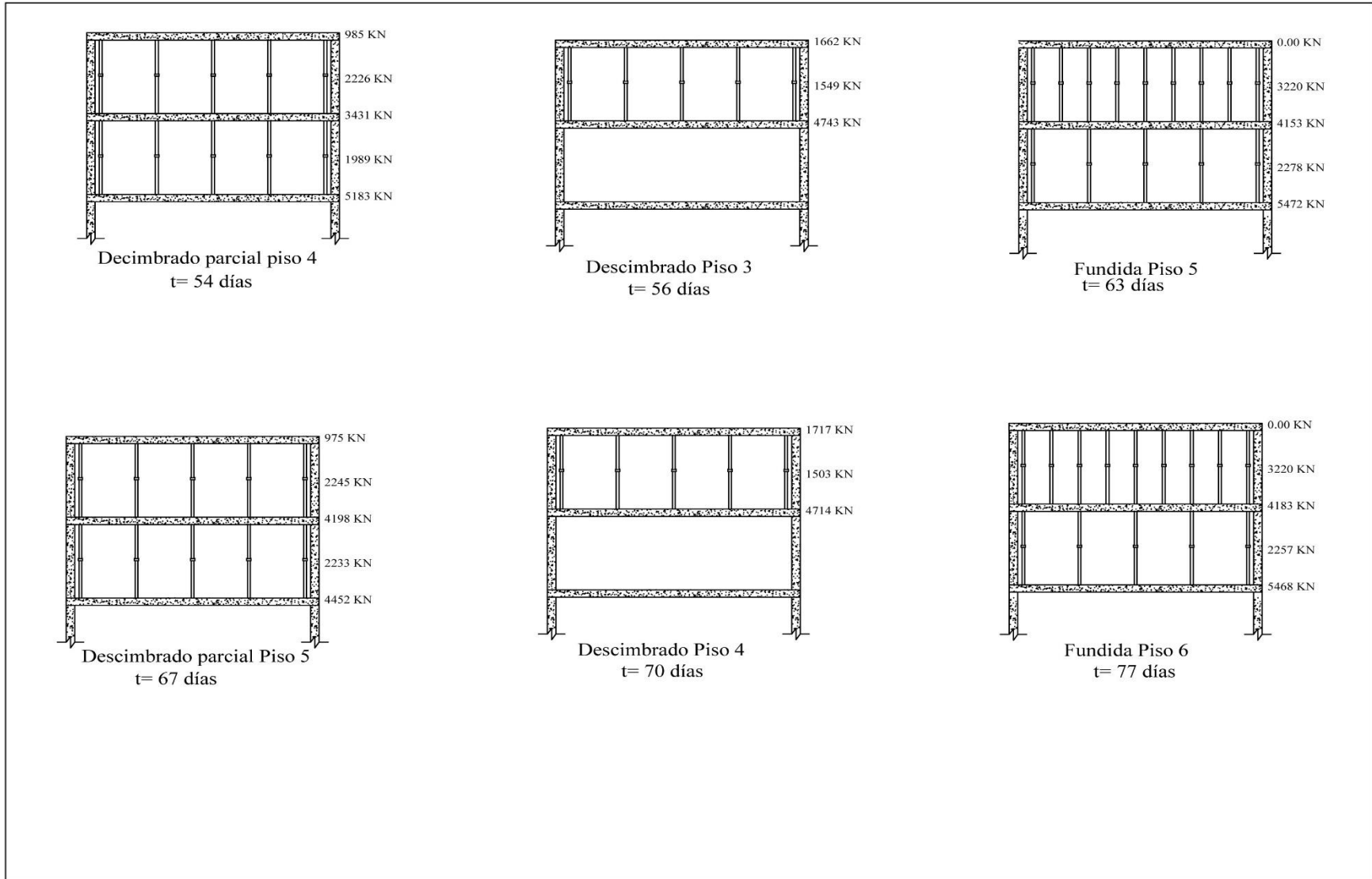




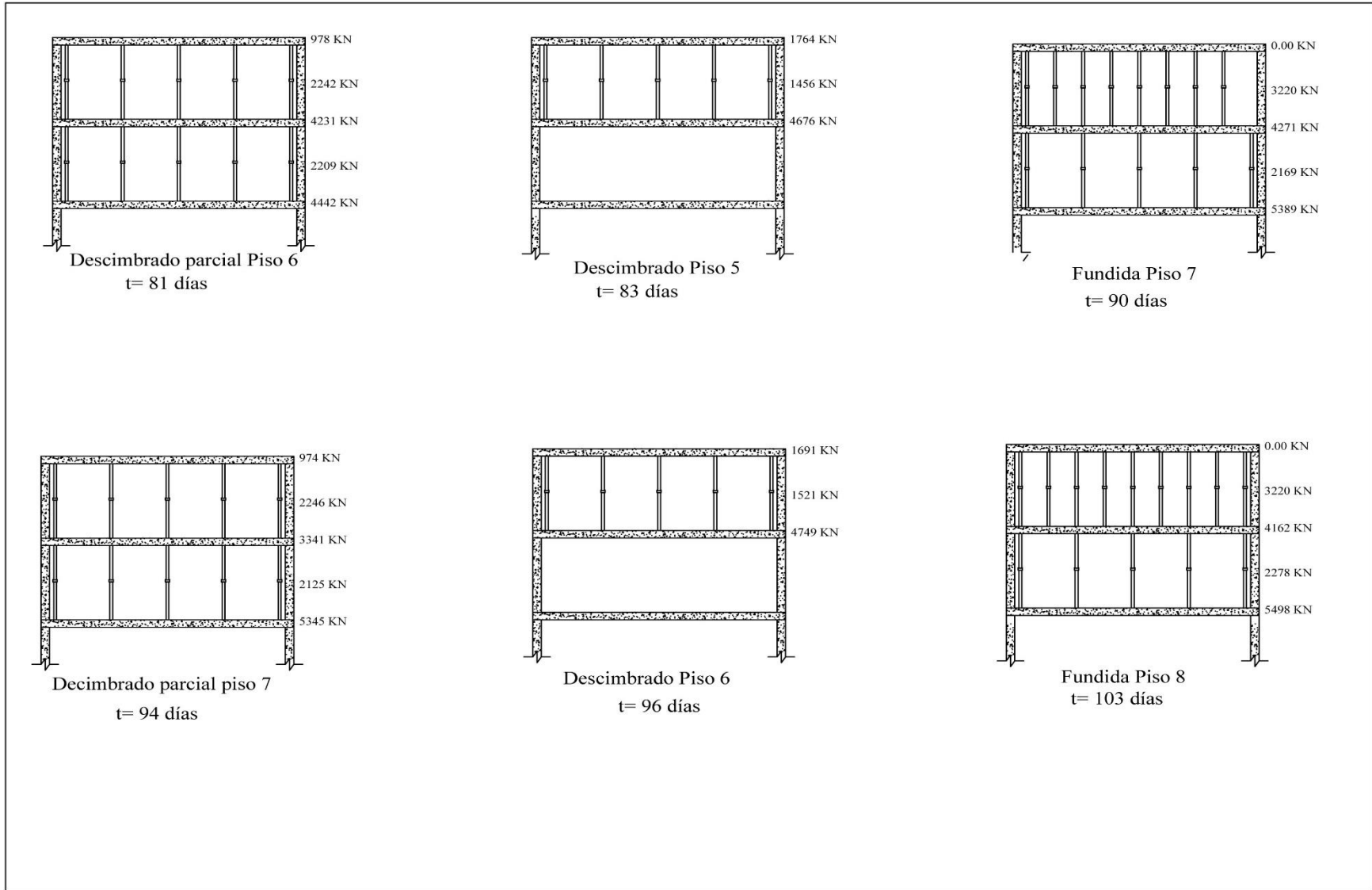
**Figura 33.** Proceso constructivo CDPD- Transmisión de cargas.



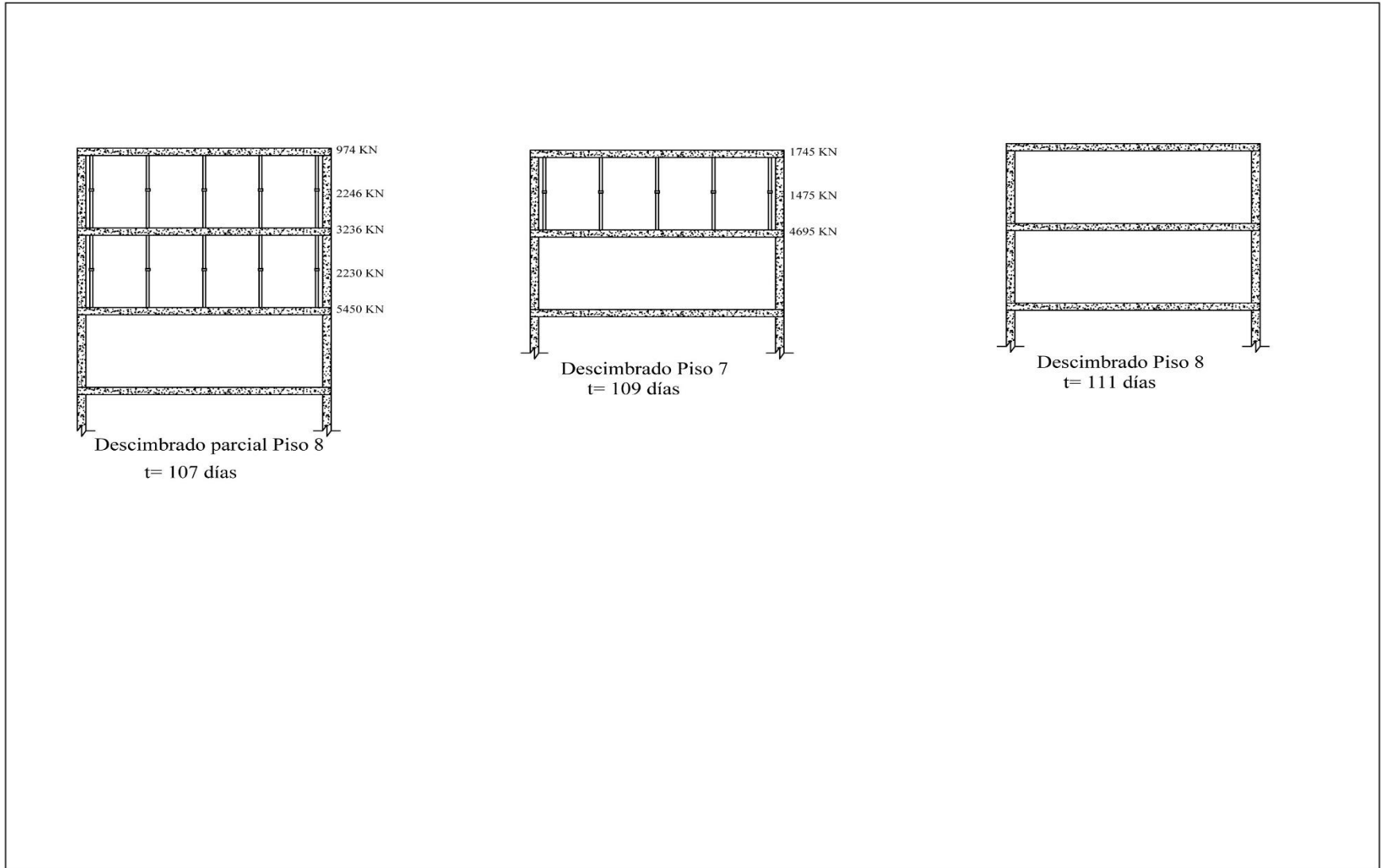
**Figura 34.** Proceso constructivo CDPD- Transmisión de cargas.



**Figura 35.** Proceso constructivo CDPD- Transmisión de cargas.



**Figura 36.** Proceso constructivo CDPD- Transmisión de cargas.



**Figura 37.** Proceso constructivo CDPD- Transmisión de cargas.

Para el proceso CDPD se realizó una verificación de la transmisión de cargas en los puntales, para esto se seleccionaron en planta tres filas de puntales, donde se chequeó la carga que transmitía en el momento de realizar las operaciones de fundida, luego la operación de descimbrado parcial. Los puntales seleccionados se encuentran en la tabla 6 y en la tabla 7, estos puntales corresponden a los del piso 8. De este análisis se puede deducir que al momento de realizar la operación de descimbrado parcial la carga de los puntales se incrementa aproximadamente en un 30%, con respecto a la carga que transmiten individualmente al realizar la operación de fundida

*Tabla 6. Carga en puntales operación fundida CU-P8.*

PISO	ELEMENTO	OPERACIÓN	CARGA(KN)
CU	C73-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-5,66
<b>CU</b>	<b>C74-1</b>	<b>FUNDIDA 2E PISO 8 Max</b>	<b>-23,24</b>
CU	C75-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-20,14
CU	C76-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-22,19
CU	C77-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-21,48
CU	C78-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-10,18
CU	C79-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-17,78
<b>CU</b>	<b>C80-1</b>	<b>FUNDIDA 2E PISO 8 Max</b>	<b>-24,52</b>
CU	C81-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-25,10
CU	C82-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-28,77
CU	C83-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-33,54
<b>CU</b>	<b>C84-1</b>	<b>FUNDIDA 2E PISO 8 Max</b>	<b>-36,67</b>
CU	C85-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-24,99
CU	C86-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-28,29
<b>CU</b>	<b>C87-1</b>	<b>FUNDIDA 2E PISO 8 Max</b>	<b>-29,38</b>
CU	C88-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-25,66
CU	C89-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-27,16
CU	C90-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-9,48
CU	C17	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-4,11

Tabla 7. Carga en puntales operación fundida CU-P8. CU-P8

PISO	ELEMENTO	OPERACIÓN	CARGA(KN)
P8	C73-1	DESCIM PAR P8 Max	4,23
<b>P8</b>	<b>C74-1</b>	<b>DESCIM PAR P8 Max</b>	<b>-35,33</b>
P8	C79-1	DESCIM PAR P8 Max	-24,27
<b>P8</b>	<b>C80-1</b>	<b>DESCIM PAR P8 Max</b>	<b>-25,06</b>
P8	C83-1	DESCIM PAR P8 Max	-37,76
<b>P8</b>	<b>C84-1</b>	<b>DESCIM PAR P8 Max</b>	<b>-45,22</b>
P8	C86-1	DESCIM PAR P8 Max	-43,61
<b>P8</b>	<b>C87-1</b>	<b>DESCIM PAR P8 Max</b>	<b>-42,87</b>
P8	C89-1	DESCIM PAR P8 Max	-35,27
P8	C90-1	DESCIM PAR P8 Max	-11,21
P8	C17	DESCIM PAR P8 Max	7,75

En la figura 38, se puede ver los incrementos representativos, comparando las operaciones de fundida CU contra descimbrado parcial de CU.

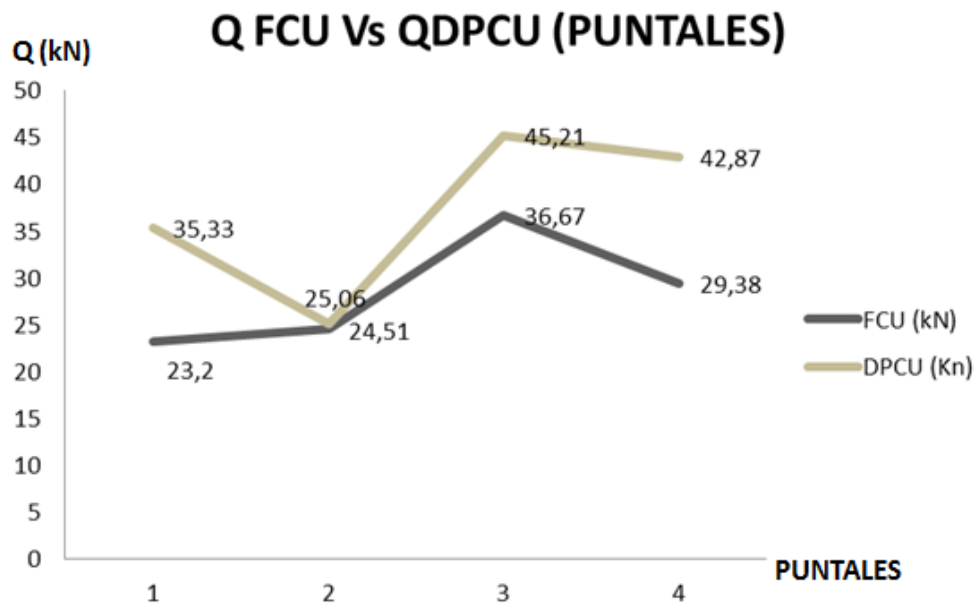


Figura 38. Cargas de puntales operaciones de FCU vs. DPCU

### 4.2.3 Análisis de cargas proceso de cimbrado – reapuntalado- descimbrado

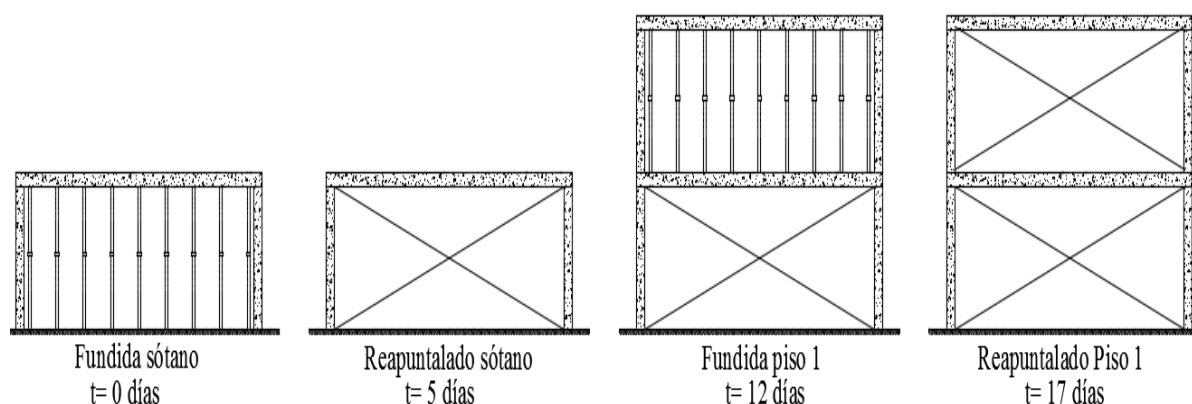
De igual manera que en los procesos presentados anteriormente, se obtuvo en cuenta los siguientes tiempos estimados para las operaciones del proceso constructivo CDPD:

Tiempo de fundida entrepiso: 7 días

Tiempo de reapuntalado: 5 días

Tiempo de descimbrado total: 2 días

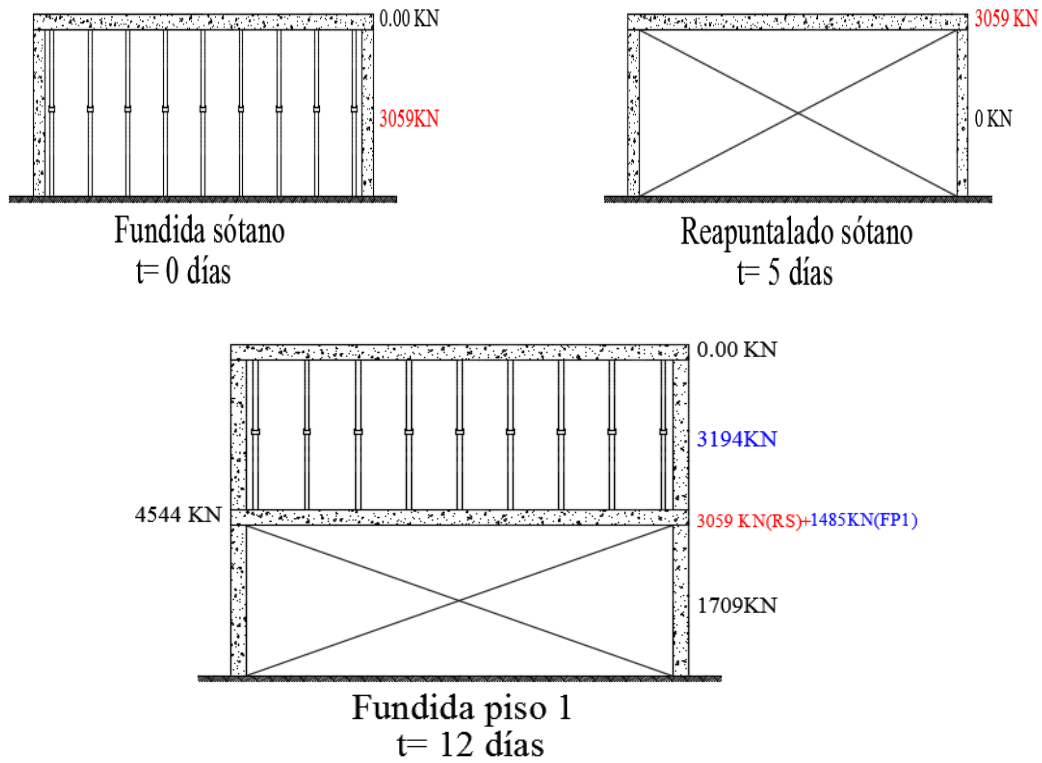
La Figura 39 muestra los esquemas donde se indica las operaciones para el proceso CRD con dos juegos de cimbra.



**Figura 39.** Proceso CRD con 2 juegos de cimbra consecutivos.

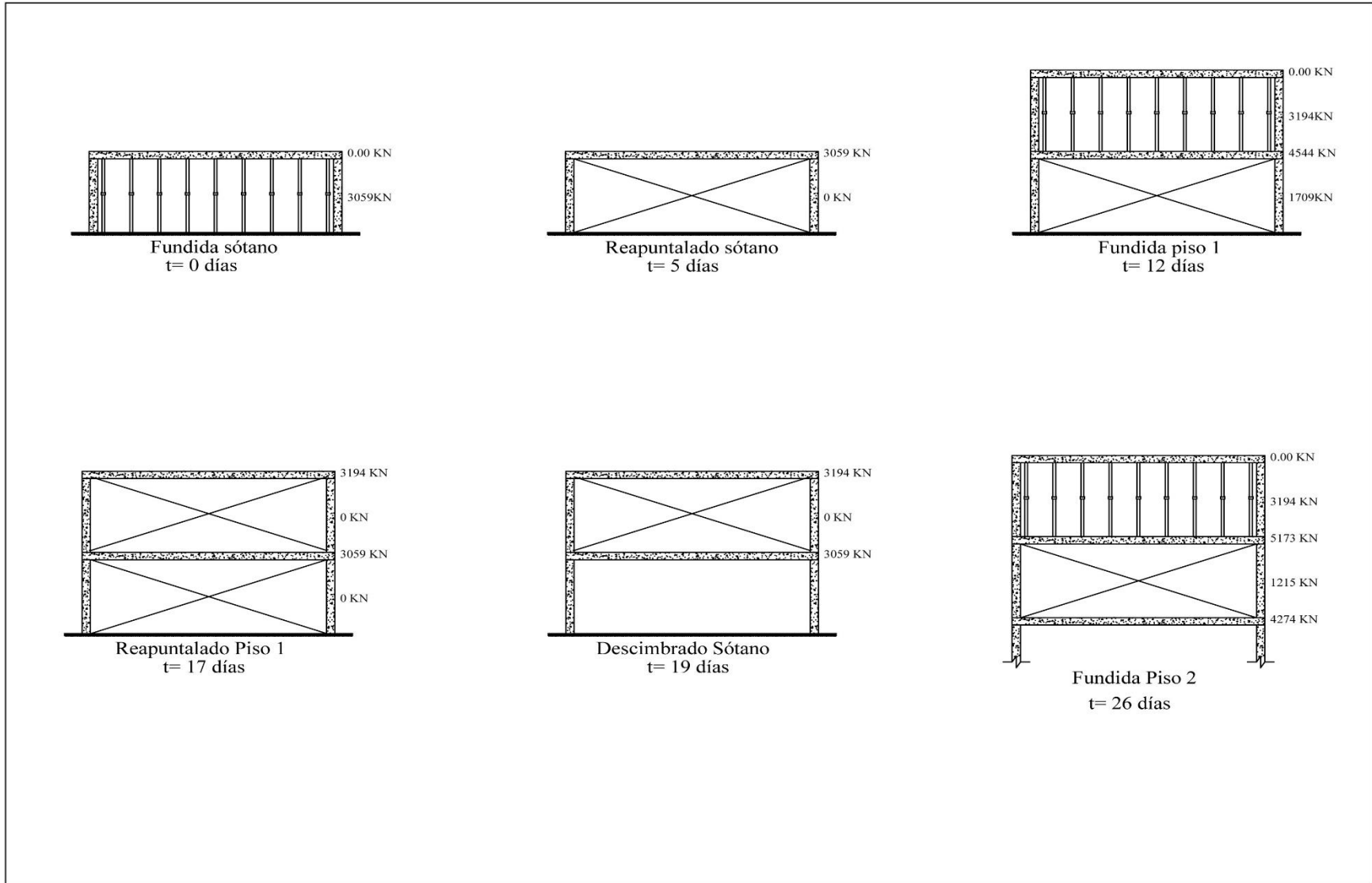
La Figura 40 presenta una secuencia en cuanto a la transmisión de carga para el proceso CRD. Tal como se muestra, una vez se realiza la primera operación constructiva fundida del sótano, ocurre el mismo fenómeno que se ha presentado en los anteriores procesos presentados de CD y CDPD, donde los puntales asumen alrededor del 100% del peso del entrepiso. Al realizar la operación de reapuntalado, los puntales que están recién instalados no transmiten carga. Para el caso de la operación fundida del piso 1, donde el entrepiso del sótano se encuentra aún reapuntalado, transmitiendo una carga de puntales, correspondiente aproximadamente al 27% del peso total de la sumatoria de los pisos sótano y piso 1. Entre tanto la placa del sótano asume el 73% del total de peso del edificio en ese momento.



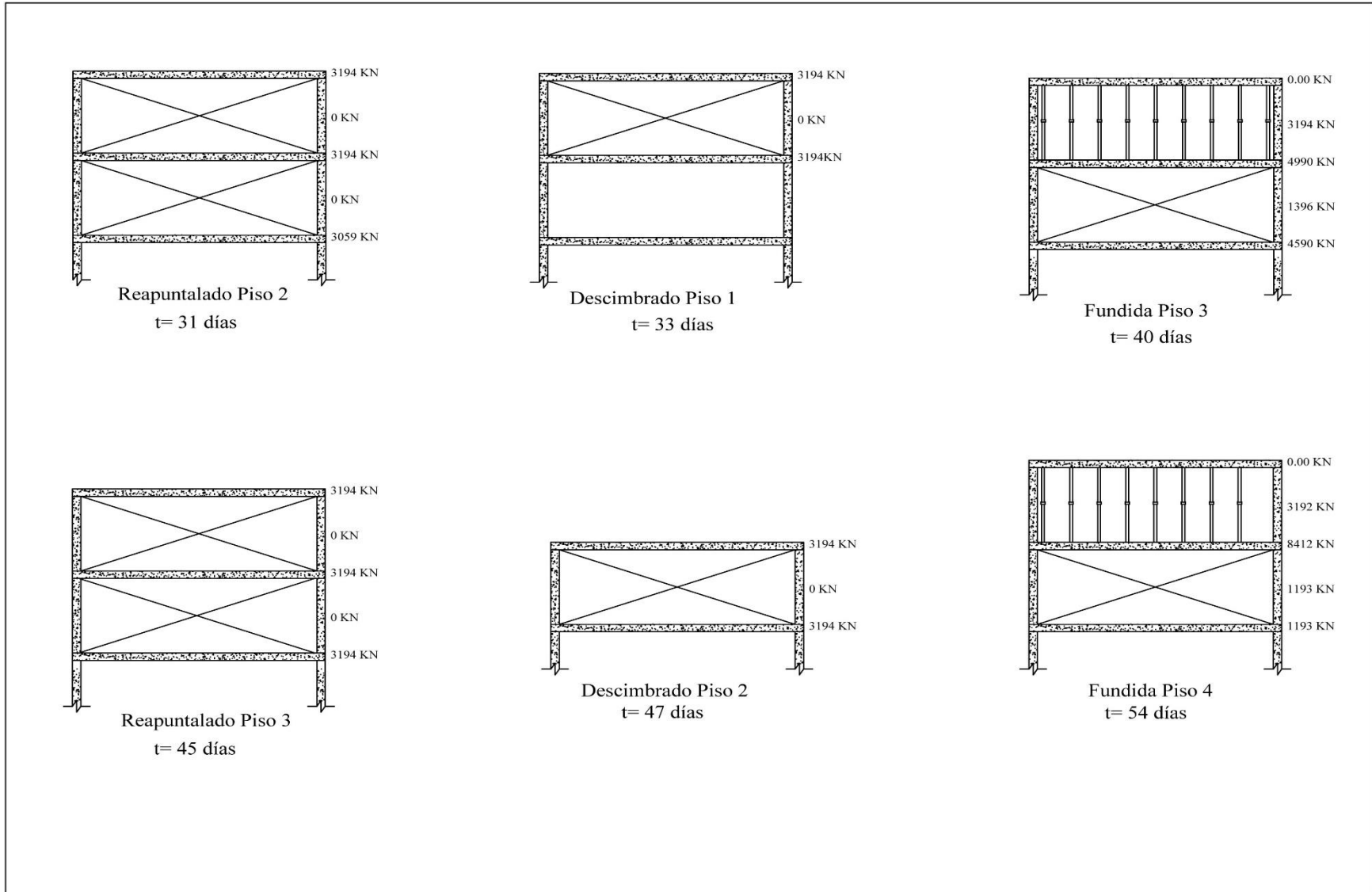


**Figura 40.** Transmisión de carga proceso CRD

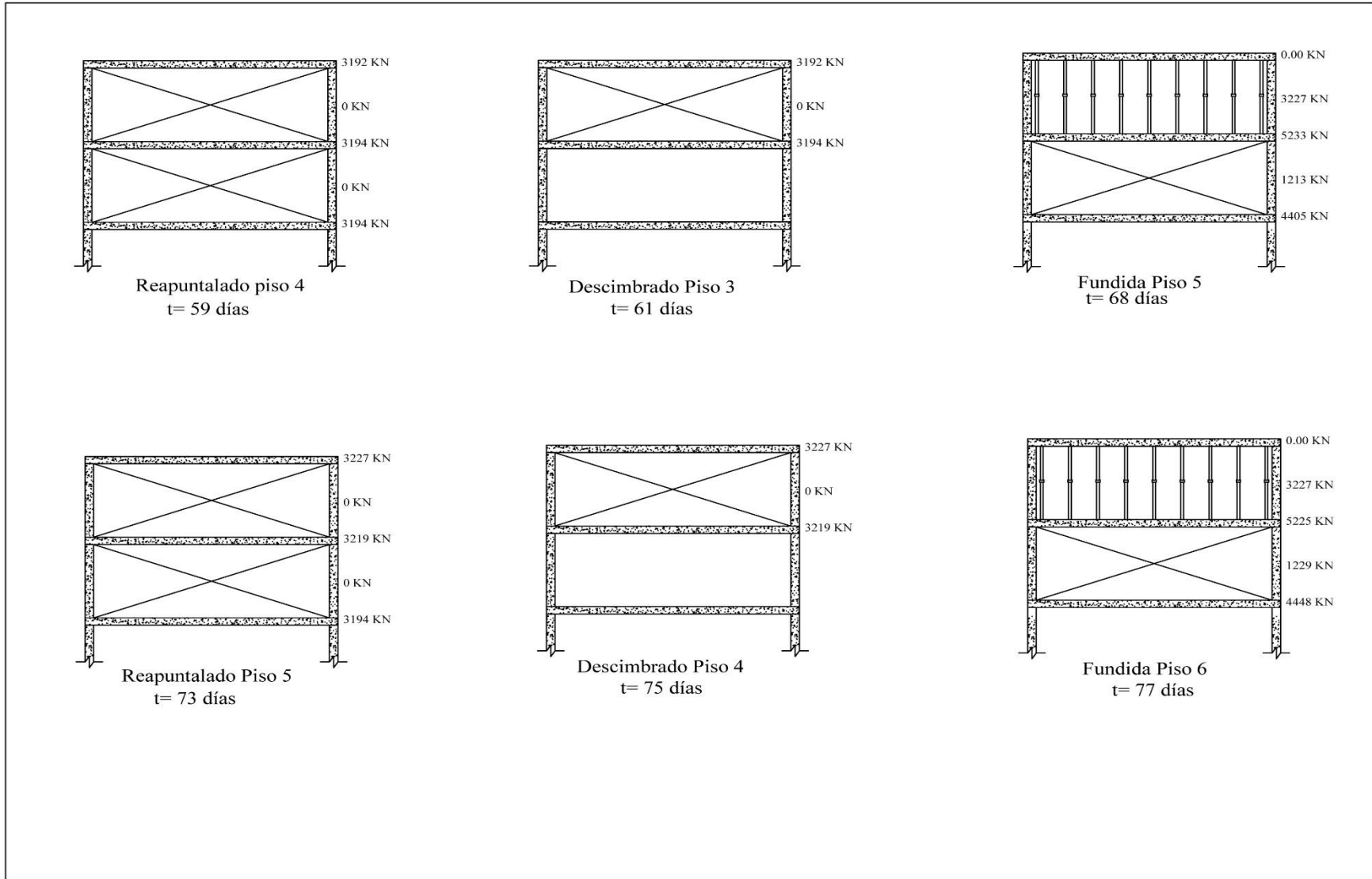
En las figuras 41 a la figura 45, se recopila la transmisión de cargas entre puntales y entrepisos del edificio para el proceso CRD.



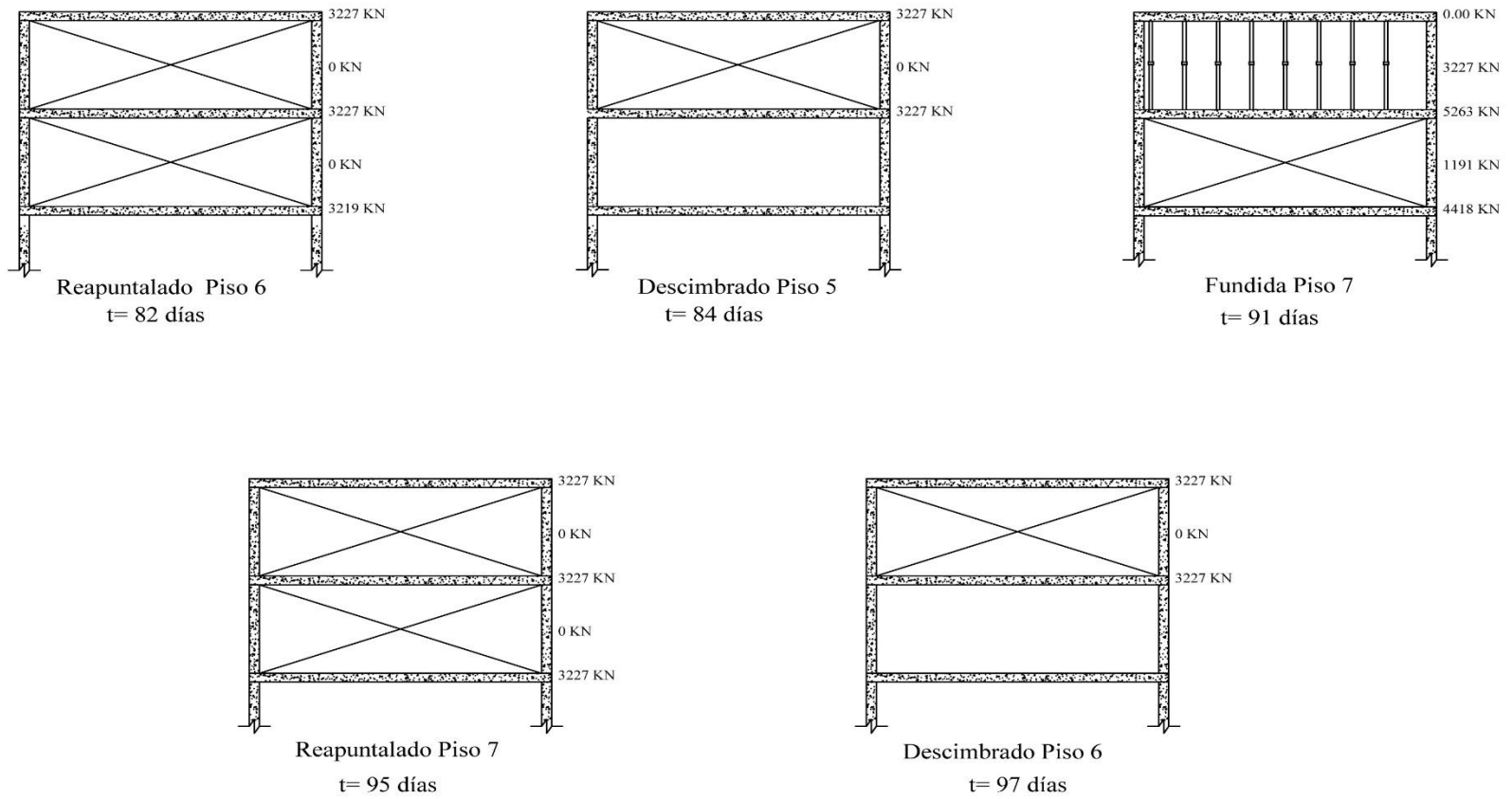
**Figura 41.** Proceso constructivo CRD- Transmisión de cargas.



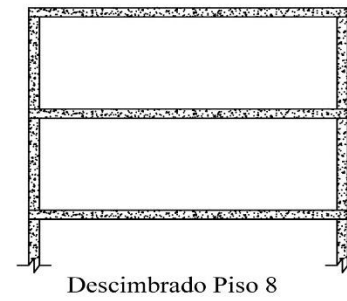
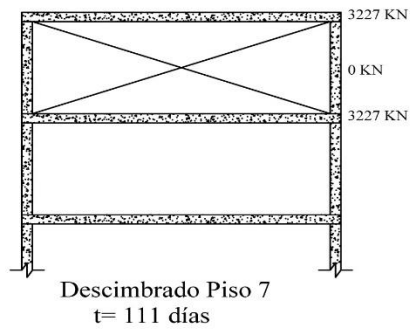
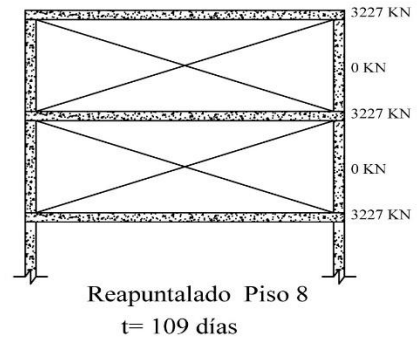
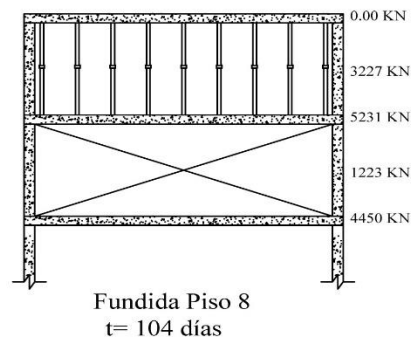
**Figura 42.** Proceso constructivo CRD- Transmisión de cargas.



**Figura 43.** Proceso constructivo CRD- Transmisión de cargas.



**Figura 44.**Proceso constructivo CRD- Transmisión de cargas.



**Figura 45.** *Proceso constructivo CRD- Transmisión de cargas.*

De la misma forma que se realizó en el chequeo en el proceso CDPD, para el proceso CRD, se seleccionaron 3 filas de puntales, en este caso, correspondientes al piso 7 para la operación fundida piso 7, tal como se muestra en la tabla 8. Estos mismos puntales fueron seleccionados para la operación reapuntalado piso 7, tal como se evidencia en la tabla 9. Como resultado del chequeo se verificó que los puntales seleccionados al realizar la operación de reapuntalado no transmiten carga alguna, en cuanto a la operación de fundida del piso 8, donde se encuentra reapuntalado un piso y el otro con la totalidad de la cimbra, se observa que dichos puntales que se encuentran apuntalados transmiten carga. Tal como se puede ver en la tabla 10.

*Tabla 8. Puntales P7 transmisión de carga operación fundida P8.*

PISO	ELEMENTO	OPERACIÓN	CARGA (KN)
P7	C109-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-3,67
P7	C110-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-11,36
P7	C111-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-13,54
<b>P7</b>	<b>C112-1</b>	<b>FUNDIDA 2E PISO 8 Max</b>	<b>-14,15</b>
P7	C113-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-15,41
P7	C114-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-10,16
<b>P7</b>	<b>C115-1</b>	<b>FUNDIDA 2E PISO 8 Max</b>	<b>-13,75</b>
P7	C116-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-12,58
P7	C117-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-11,81
P7	C118-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-10,65
<b>P7</b>	<b>C119-1</b>	<b>FUNDIDA 2E PISO 8 Max</b>	<b>-7,94</b>
P7	C120-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-5,92
P7	C121-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-10,08
P7	C122-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-12,20
<b>P7</b>	<b>C123-1</b>	<b>FUNDIDA 2E PISO 8 Max</b>	<b>-14,40</b>
P7	C124-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-14,57
P7	C125-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-9,54
P7	C126-1	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-2,50
P7	C21	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-3,30
P7	C87	FUNDIDA 2E PISO 8 Max	-1,85

Tabla 9. Puntales P7 transmisión de carga operación Reapuntalado P8.

PISO	ELEMENTO	OPERACIÓN	CARGA (KN)
P7	C109-1	REAPUN P8 Max	0
P7	C110-1	REAPUN P8 Max	0
P7	C111-1	REAPUN P8 Max	0
<b>P7</b>	<b>C112-1</b>	<b>REAPUN P8 Max</b>	<b>0</b>
P7	C113-1	REAPUN P8 Max	0
P7	C114-1	REAPUN P8 Max	0
<b>P7</b>	<b>C115-1</b>	<b>REAPUN P8 Max</b>	<b>0</b>
P7	C116-1	REAPUN P8 Max	0
P7	C117-1	REAPUN P8 Max	0
P7	C118-1	REAPUN P8 Max	0
<b>P7</b>	<b>C119-1</b>	<b>REAPUN P8 Max</b>	<b>0</b>
P7	C120-1	REAPUN P8 Max	0
P7	C121-1	REAPUN P8 Max	0
P7	C122-1	REAPUN P8 Max	0
<b>P7</b>	<b>C123-1</b>	<b>REAPUN P8 Max</b>	<b>0</b>
P7	C124-1	REAPUN P8 Max	0
P7	C125-1	REAPUN P8 Max	0
P7	C126-1	REAPUN P8 Max	0
P7	C21	REAPUN P8 Max	0
P7	C87	REAPUN P8 Max	0

Tabla 10. Puntales P7 transmisión de carga operación Reapuntalado P7.

PISO	ELEMENTO	OPERACIÓN	CARGA (KN)
P7	C109-1	REAPUN P7 Max	0
P7	C110-1	REAPUN P7 Max	0
P7	C111-1	REAPUN P7 Max	0
<b>P7</b>	<b>C112-1</b>	<b>REAPUN P7 Max</b>	<b>0</b>
P7	C113-1	REAPUN P7 Max	0
P7	C114-1	REAPUN P7 Max	0
<b>P7</b>	<b>C115-1</b>	<b>REAPUN P7 Max</b>	<b>0</b>
P7	C116-1	REAPUN P7 Max	0
P7	C117-1	REAPUN P7 Max	0
P7	C118-1	REAPUN P7 Max	0
<b>P7</b>	<b>C119-1</b>	<b>REAPUN P7 Max</b>	<b>0</b>
P7	C120-1	REAPUN P7 Max	0
P7	C121-1	REAPUN P7 Max	0
P7	C122-1	REAPUN P7 Max	0
<b>P7</b>	<b>C123-1</b>	<b>REAPUN P7 Max</b>	<b>0</b>
P7	C124-1	REAPUN P7 Max	0
P7	C125-1	REAPUN P7 Max	0
P7	C126-1	REAPUN P7 Max	0
P7	C21	REAPUN P7 Max	0
P7	C87	REAPUN P7 Max	0



### 4.3 ANÁLISIS DE FUERZAS INTERNAS (MOMENTOS MÁXIMOS), MODELO 2

#### 4.3.1 Análisis de fuerzas internas (momentos máximos positivos y negativos) proceso de cimbrado – descimbrado.

La Tabla 11, muestran los momentos máximos positivos y negativos obtenidos para cada uno de los pisos del edificio, es decir, del sótano al piso 8, respectivamente.

Tabla 11. Momentos máximos positivos y negativos proceso CD.

<b>PISO</b>	<b>M+ (KN.m)</b>	<b>M- (KN.m)</b>
S1	142,87	-176,99
P1	164,14	-153,80
P2	152,96	-227,76
P3	156,76	-228,11
P4	163,58	-229,00
P5	165,2	-229,37
P6	166,41	-229,25
P7	164,16	-229,74
P8	174,71	-228,57

Como se puede apreciar, el piso 8 es donde se presenta el momento máximo positivo, y el piso 7 donde se presenta el menor momento máximo negativo. En los pisos 7 y 8, se presentan los momentos máximos, debido a las condiciones de contorno de la placa. Además, se puede observar que la variación de los momentos máximos en la placa es poca, las cuales están alrededor de un 15% entre los valores extremos.

#### 4.3.2 Análisis de fuerzas internas (momentos máximos positivos y negativos) proceso de cimbrado – descimbrado parcial- descimbrado.

Procediendo de la misma manera que en la sección anterior, se presentan los momentos máximos positivos y negativos obtenidos con el proceso constructivo CDPD, para cada una de las placas en la Tabla 12.

*Tabla 12. Momentos máximos positivos y negativos proceso CDPD.*

<b>PISO</b>	<b>M+ (KN.m)</b>	<b>M- (KN.m)</b>
S1	155,55	-166,98
P1	168,54	-151,67
P2	161,88	-226,87
P3	164,85	-227,25
P4	164,62	-228,13
P5	166,64	-228,20
P6	166,22	-228,24
P7	164,71	-228,43
P8	173,25	-288,38

Vemos como, de la misma forma en que se comportaron las fuerzas internas (Momentos máximos), para el proceso CD, el proceso CDPD, presenta el momento máximo positivo en el piso 8 y en el piso 7 el menor momento máximo negativo.

#### ***4.3.3 Análisis de fuerzas internas (momentos máximos) proceso de cimbrado – reapuntalado- descimbrado.***

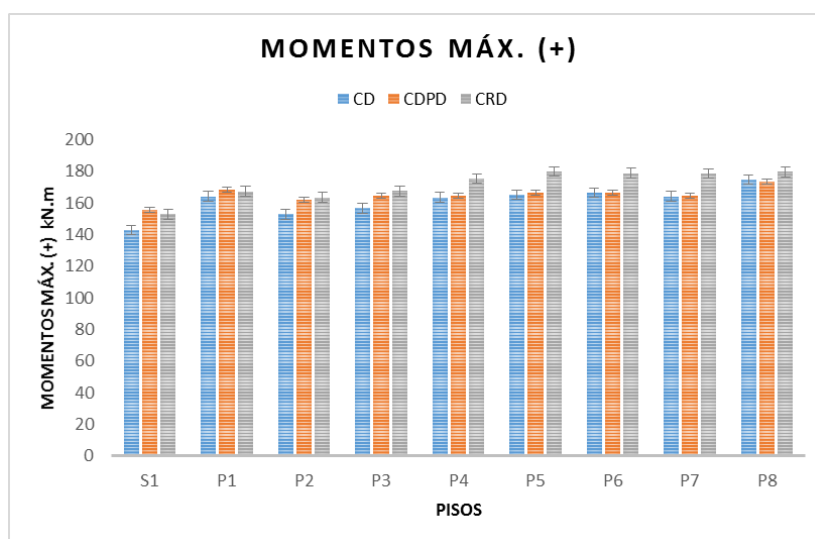
Continuando con el mismo orden de ideas, se presenta en la la Tabla 13 el resumen de las fuerzas internas para el proceso CRD.

*Tabla 13. Momentos máximos positivos y negativos proceso CRD.*

<b>PISO</b>	<b>M+ (KN.m)</b>	<b>M- (KN.m)</b>
S1	152,83	-159,66
P1	167,29	-145,53
P2	163,54	-227,89
P3	167,55	-228,63
P4	175,45	-228,86
P5	179,93	-229,32
P6	178,76	-229,18
P7	178,7	-229,92
P8	179,76	-228,32

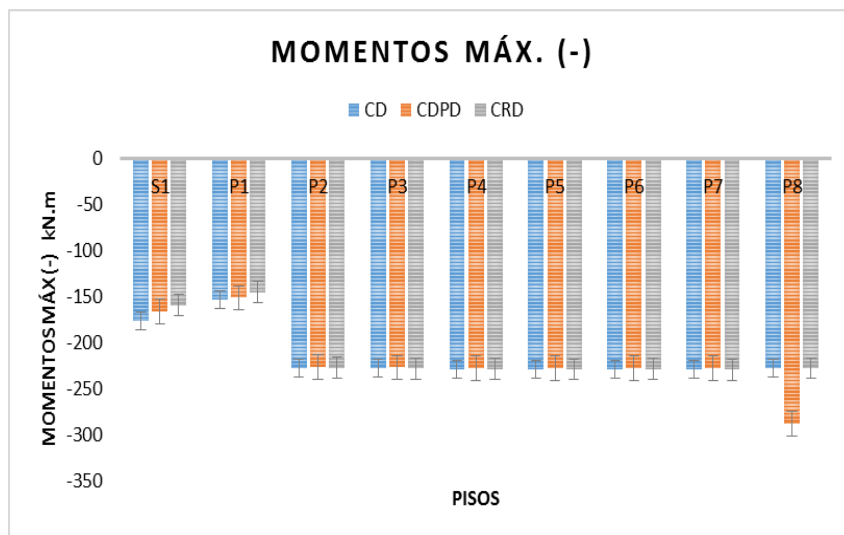
Los momentos máximos positivos y negativos, para el proceso CRD, presenta un comportamiento igual a los procesos anteriormente mencionados, CD, CDPD; siendo los pisos 7 y 8, donde se presentan los máximos momentos negativos y positivos, respectivamente.

En las figuras 46 y 47 se representa gráficamente las fuerzas internas máximas para los tres procesos. Como se puede apreciar en la figura 46, los valores de los momentos positivos máximos presentados en cada piso del edificio, presenta una similitud entre los resultados obtenidos para los tres procesos constructivos.



**Figura 46.** Fuerzas internas máximas (Momentos positivos) procesos CD, CDPD, CRD.

Según los resultados obtenidos en la figura 47 de los momentos máximos negativos, se observa un comportamiento similar presentado en los pisos 2 hasta el piso 8, y un comportamiento diferente en los dos primeros pisos, es decir sótano y piso 1. Esto se debe a las condiciones de contorno de la placa para estos dos pisos, teniendo en cuenta que se encuentran rodeados por un muro perimetral, además considerando que la geometría de estos pisos es totalmente diferente a los demás.



**Figura 47.** Fuerzas internas máximas (Momentos negativos), procesos CD, CDPD, CRD.

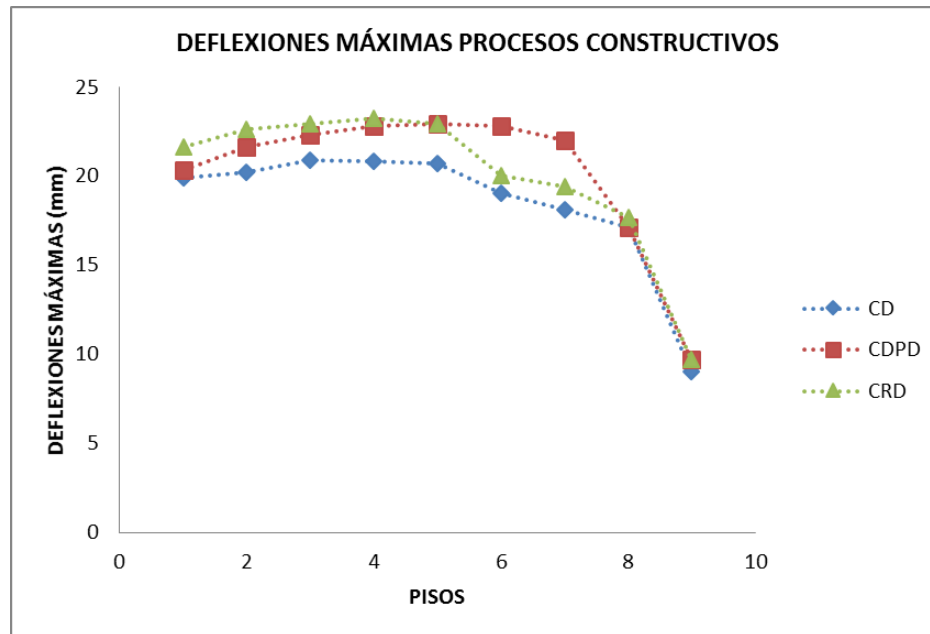
#### 4.4 ANÁLISIS DE DEFLEXIONES MODELO 2

A continuación en la Tabla 14, son presentados las deflexiones máximas obtenidas en cada uno de los pisos para cada uno de los procesos constructivos: CD, CDPD y CRD.

*Tabla 14. Deflexiones máximas procesos constructivos.*

DEFLEXIONES MÁXIMAS (mm)			
PISO	CD	CDPD	CRD
P8	19,9	20,3	21,6
P7	20,2	21,6	22,6
P6	20,9	22,3	22,9
P5	20,8	22,8	23,2
P4	20,7	22,9	22,9
P3	19,0	22,8	20
P2	18,1	22	19,4
P1	17,1	17,1	17,7
S1	9,00	9,7	9,7

La Figura 48 presenta en forma grafica las deflexiones registradas en la Tabla 14. Vemos como al compara los resultados de los tres procesos, los tres coinciden en presentar la menor deflexion en el sótano, y presentado su mayor deflexión en el piso 5.



*Figura 48. Deflexiones máximas por proceso constructivo.*

#### **4.5 ANÁLISIS DE FUERZAS INTERNAS (MOMENTOS MÁXIMOS) MODELO 3: CARGA POR TEMPERATURA.**

El modelo 3 se analizó partiendo de la hipótesis del fraguado final del concreto presentado a las 24 horas de fundido el elemento y de la influencia del calor de hidratación del concreto. Tal como se explicó en el Capítulo de la Metodología, se determinaron dos diferenciales de temperatura teniendo en cuenta dos etapas del ciclo del día. De acuerdo a lo expuesto anteriormente, para los procesos constructivos CDPD y CRD la carga por temperatura está contemplada para edades tempranas del concreto no superiores a cinco días, motivo por el cual no se analiza el proceso CD debido a que en el momento de realizar la operación de descimbrado del sótano la placa supera siete los días de fraguado.

La Tabla 15 condensa los resultados obtenidos durante los primeros 4 días para el proceso CDPD, siendo el último día, el momento en que se realiza la operación de descimbrado

parcial. La Tabla 16 presenta los resultados de la fuerza interna (momentos máximos) del proceso reapuntalado, durante los primeros 5 días, siendo el día 5 el momento en el que se realiza la operación de reapuntalado. En ambas Tablas se expresan los resultados con el diferencial de temperatura positivo y con el diferencial de temperatura negativo.

*Tabla 15. Fuerzas internas (momentos máximos positivos) CDPD-Modelo 3 - (kN.m)*

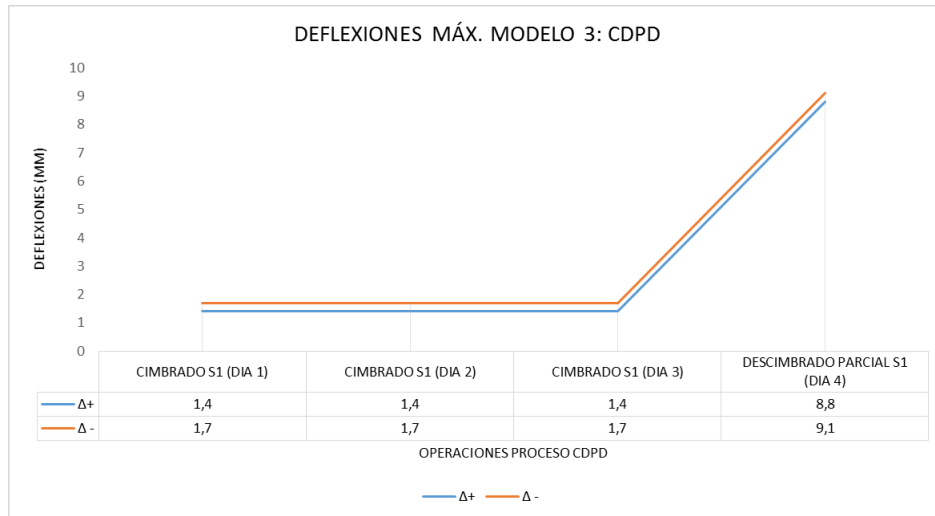
	$\Delta+$		$\Delta-$	
DÍA 1	0,4	-0,63	0,4	-0,63
DÍA 2	0,46	-0,73	0,46	-0,73
DÍA 3	0,49	-0,78	0,49	-0,78
DÍA 4	101,73	-100,72	103,9	-101,75

*Tabla 16. Fuerzas internas (momentos máximos) CRD- Modelo 3- (kN.m).*

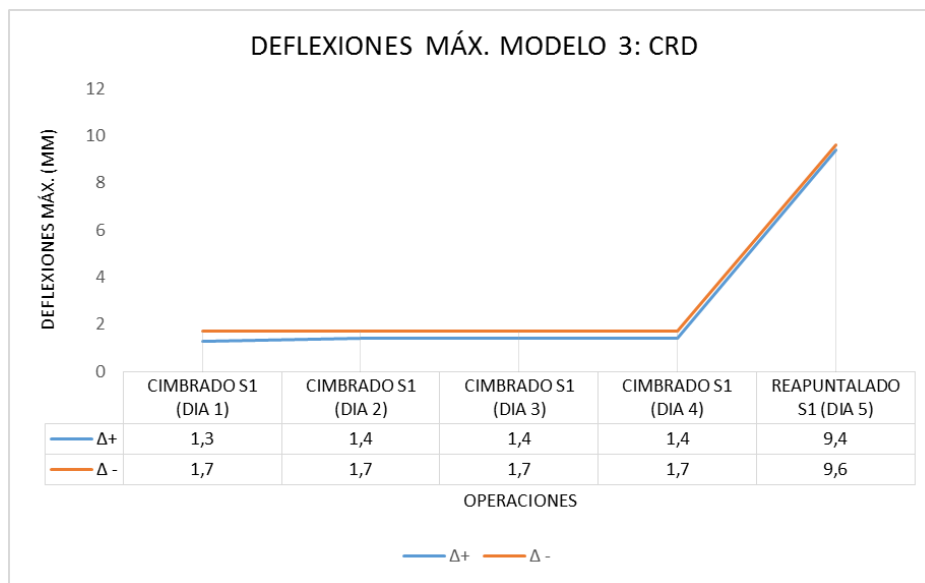
	$\Delta+$		$\Delta-$	
DÍA 1	0,4	-0,63	0,4	-0,63
DÍA 2	0,46	-0,73	0,46	-0,73
DÍA 3	0,49	-0,78	0,49	-0,78
DÍA 4	0,51	-0,81	0,51	-0,81
DÍA 5	108,33	-122,66	109,82	-120,93

#### **4.6 ANÁLISIS DE DEFLEXIONES MÁXIMAS INSTANTÁNEAS, MODELO 3: CARGA POR TEMPERATURA.**

A continuación se presentan los resultados de las deflexiones máximas instantáneas de los procesos CDPD y CRD en las figuras 49 y 50, contemplando diferencial de temperatura positivo y negativo. Para el caso de la figura 49 en el día 4 se presenta la operación descimbrado parcial del sótano. En la figura 50 en el día 5 se presenta la operación reapuntalado del sótano.



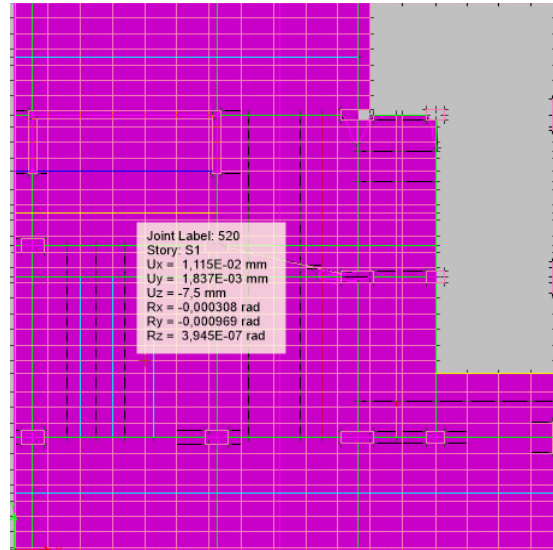
**Figura 49.** Deflexiones máximas proceso CDPD- Modelo 3



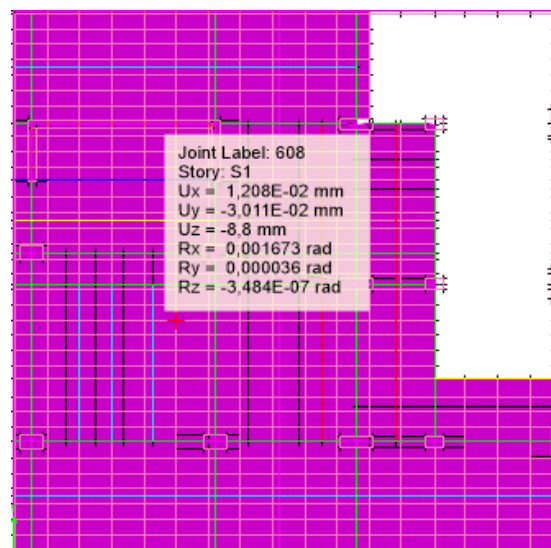
**Figura 50.** Deflexiones máximas proceso CRD- Modelo 3.

De las figuras anteriores podemos deducir que tanto para el modelo del proceso CDPD y para el modelo del proceso CRD, se evidencia claramente una influencia de la temperatura en el momento de ingresarle al modelo un diferencial de temperatura positivo y un diferencial de temperatura negativo. Con el diferencial de temperatura positivo se incrementa la deflexión en un 80% con respecto al valor de deflexión que traía de la operación fundida sótano.

En las figuras 51 y 52 se presenta un esquema de los resultados obtenidos en el programa ETABS 2013, para el proceso descimbrado parcial, donde claramente se observa un incremento correspondiente del 15% en el valor de la deflexión máxima instantánea al momento de aplicar una carga por temperatura positiva de 10°C.



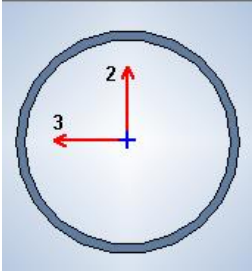
**Figura 51.** Planta sótano, día 4 sin carga de temperatura proceso CDPD



**Figura 52.** Planta sótano, día 4 con carga de temperatura (+), proceso CDPD.

Con el objetivo de verificar la influencia de la aplicación del diferencial de temperatura negativo sobre los incrementos de carga en puntales, se procedió a realizar el cálculo, a manera de ejemplo se presenta el análisis para el proceso CDPD. Partiendo de las dimensiones del puntal, módulo de elasticidad y conociendo el desplazamiento se tiene lo siguiente:





Espesor: 2mm

Diámetro: 50mm

$$\frac{PL}{AE} = \Delta L$$

Para un incremento en la deflexión de 0,3mm, se obtiene un valor de carga correspondiente a:

$$P = \frac{1,57 \text{ cm}^2 \times 2.100.000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \times 0,03 \text{ cm}}{300 \text{ cm}} = 330 \text{ kgf} \sim 3,3 \text{ kN}$$

#### 4.7 COMPARACIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS MODELO 1 Y MODELO 2

La tabla 17, recopila un comparativo de las deflexiones máximas de cada modelo en cada uno de los pisos del edificio. La Figura 53 presenta en forma gráfica la variación de deflexiones para los modelos 1 y 2.

Tabla 17. Deflexiones máximas modelos 1 y 2.

DEFLEXIONES MÁXIMAS (mm)				
PISO	MODELO 1	CD	CDPD	CRD
P8	14,10	19,90	20,3	21,6
P7	13,00	20,20	21,6	22,6
P6	12,70	20,90	22,3	22,9
P5	12,00	20,80	22,8	23,2
P4	11,20	20,70	22,9	22,9
P3	10,20	19,00	22,8	20,00
P2	9,00	18,10	22,00	19,4
P1	8,50	17,10	17,1	17,7
S1	5,90	9,00	9,70	9,70

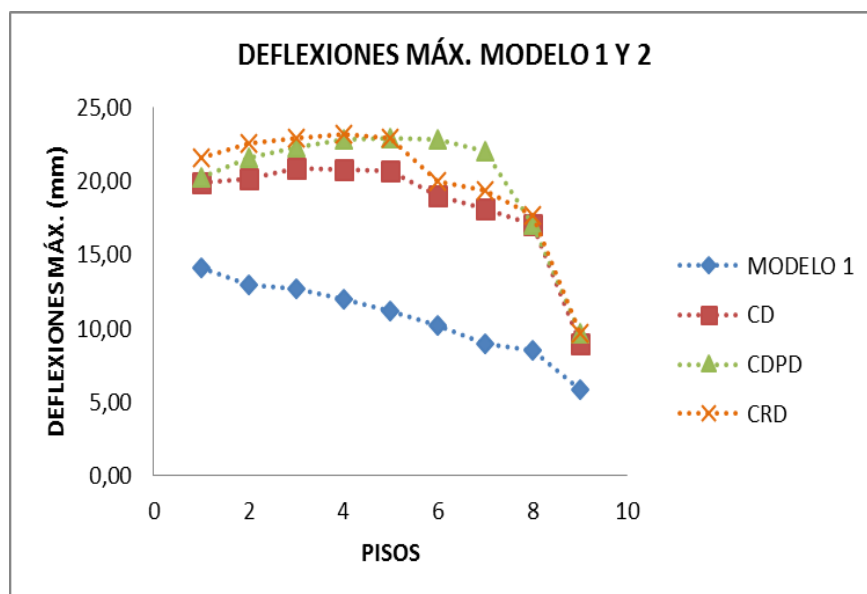


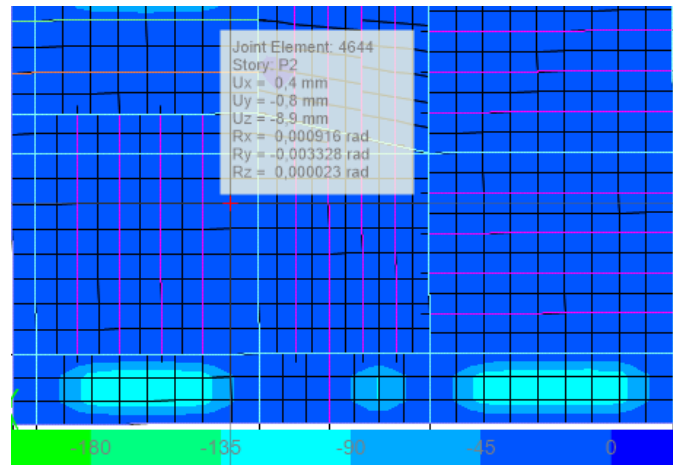
Figura 53. Deflexiones máximas modelo 1 y 2

Tal como se puede ver en la figura 53, las diferencias en los valores de deflexiones máximas son significativas en el Modelo 2: CD,CDP,CRD, comparado con las deflexiones resultantes del Modelo 1de la siguiente forma:

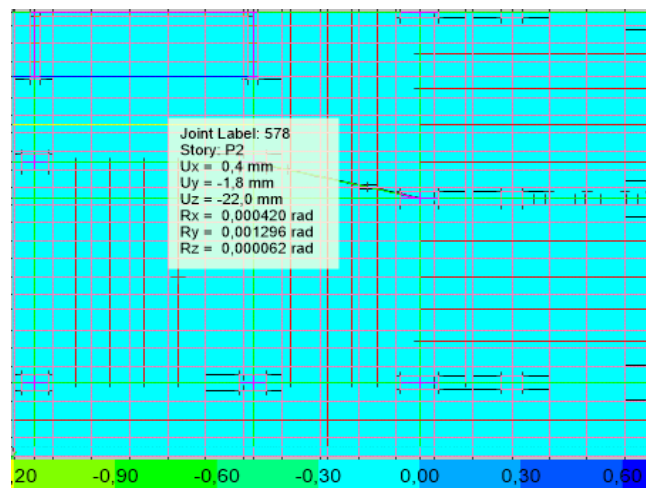
Con respecto al proceso CD, comparado con las deflexiones del modelo 1, se obtienen incrementos en las deflexiones máximas instantáneas de cada piso superior al 25%, siendo los mayores incrementos de desplazamiento en los pisos 1 y piso 2, con incremento de desplazamiento del 50%. En cuanto al proceso CDPD, los mayores incrementos de deflexiones máximas instantáneas se presentan en los pisos 2 y 3, con un valor superior al 55% de incremento. Por su parte el proceso CRD, obtiene sus mayores incrementos de

deflexiones en los pisos 1 y 2, con un valor mayor al 50%. De lo anterior, se puede deducir que en el piso 2, para todos los modelos de procesos constructivos se presentan las mayores deflexiones del edificio, esto se debe primero porque a partir de éste piso ya no cuenta con muro perimetral de amarre, por tanto las condiciones de frontera para este piso varían, además cuenta con geometría diferente a los pisos anteriores, es decir el piso 1 y el sótano.

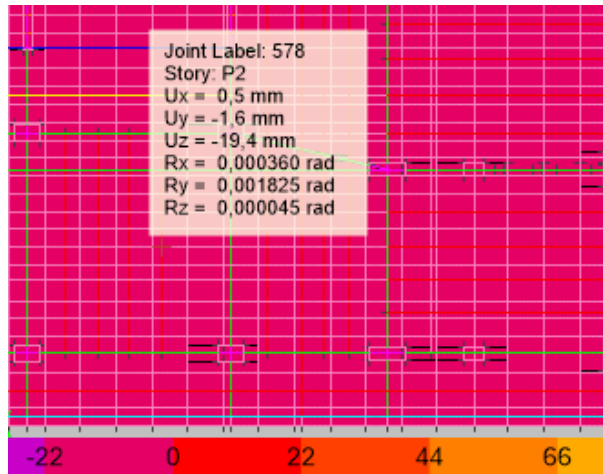
En las figuras 54, 55 y 56, se ilustra los resultados obtenidos en el programa ETABS 2013, comparando los resultados obtenidos en el piso con mayor deflexión, es decir el piso 2.



**Figura 54.** Deflexión máx. Piso 2-Modelo1



**Figura 55.** Deflexión máx. Piso 2. Modelo 2 CDPD



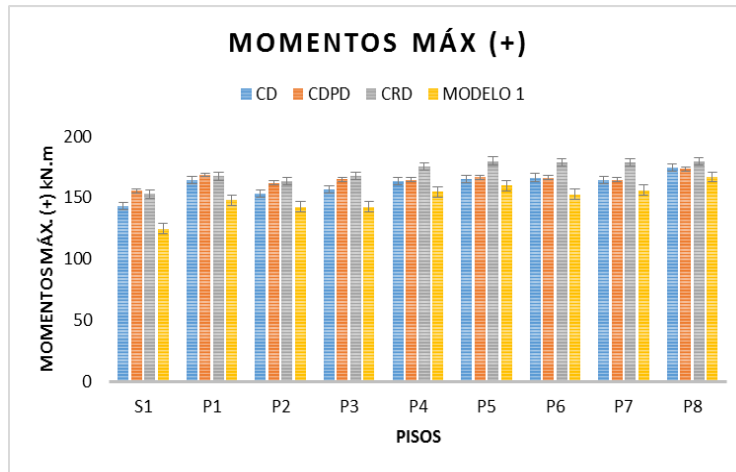
**Figura 56.** Deflexión máx. Piso 2- Modelo 2 CRD

#### **4.8 COMPARACIÓN DE FUERZAS INTERNAS (MOMENTOS MÁXIMOS) MODELO 1 Y MODELO 2.**

La Tabla 18 y Figura 57, se realizan comparativos de las fuerzas internas (momentos máximos positivos) entre los tres procesos constructivos CD, CDPD, CRD y el modelo 1.

*Tabla 18. Fuerzas internas (Momentos máximos positivos) Modelo 1 y 2 (kN.m)*

<b>PISO</b>	<b>CD</b>	<b>CDPD</b>	<b>CRD</b>	<b>MODELO 1</b>
S1	142,87	155,55	152,83	124,59
P1	164,14	168,54	167,29	147,75
P2	152,96	161,88	163,54	142,4
P3	156,76	164,85	167,55	142,5
P4	163,58	164,62	175,45	154,58
P5	165,2	166,64	179,93	159,88
P6	166,41	166,22	178,76	152,8
P7	164,16	164,71	178,70	156,02
P8	174,71	173,25	179,76	166,92



**Figura 57.** Fuerzas internas (Momentos máx. positivos) modelo 1 y 2.

Como se puede ver, los momentos máximos positivos se presentan en el piso 8 para todos los modelos, entre tanto los menores valores de momentos máximos positivos se presentan en el sótano, esto se debe a que el sótano tiene muro de amarre perimetral, lo que ayuda a aumentar la rigidez del entrepiso, también estos resultados son consecuentes en cuanto a las deflexiones máximas instantáneas que se presentaron en el sótano, las cuales son menores a las presentadas en los demás pisos del edificio debido a la misma situación planteada de mayor rigidez. De forma general el piso que presenta un mayor incremento en cuanto al valor del momento máximo positivo comparando el proceso CD y el Modelo 1, se obtiene en el piso del sótano, con un incremento del 13%. Para el proceso CDPD, el mayor incremento se presenta en el piso del sótano con un valor del 20% de incremento, en cuanto al proceso CRD el valor de mayor incremento también se presenta en el sótano, con un incremento correspondiente al 18%.

En la tabla 19. Se muestran los resultados obtenidos de los momentos máximos negativos, para cada uno de los pisos del edificio. Para el caso de los modelos de los procesos constructivos se tiene una similitud a los valores presentados en el piso 8, que comparados con el modelo 1, presentan un incremento del 12%

Tabla 19. Fuerzas internas (Momentos máximos negativos), Modelo 1 y 2. (kN.m)

PISO	CD	CDPD	CRD	MODELO 1
S1	-176,99	-166,98	-159,66	-259,39
P1	-153,80	-151,67	-145,53	-275,92
P2	-227,76	-226,87	-227,89	-181,74
P3	-228,11	-227,25	-228,63	-189,87
P4	-229,00	-228,13	-228,86	-240,11
P5	-229,37	-228,20	-229,32	-249,97
P6	-229,25	-228,24	-229,18	-214,02
P7	-229,74	-228,43	-229,92	-223,39
P8	-228,57	-288,38	-228,32	-200,86

#### 4.9 COMPARACIÓN DE DEFLEXIONES MÁXIMAS MODELO 2 Y 3

A continuación se presenta en la Figura 58, a nivel de comparación los resultados de deflexiones máximas entre el modelo 2 (CDPD, CRD), y el modelo 3 (carga por temperatura, relacionando los diferenciales de temperatura positivo y negativo). Es conveniente anotar que los resultados están dados para el CDPD en el día 5 y para el proceso CRD en el día 4, con el fin de tener el parámetro de comparación a edades tempranas de fraguado, tal y como se realizó para el modelo 3.

PISO	CRD	CRD $\Delta T+$	CRD $\Delta T-$
S1	9,5mm	9,6mm	9,9mm

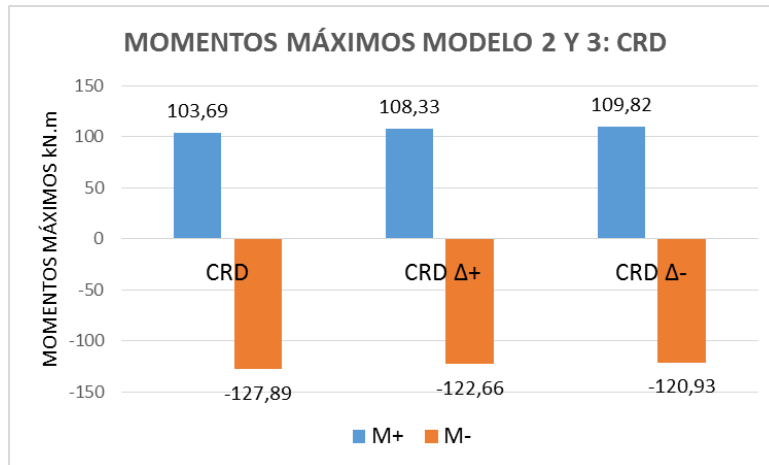
PISO	CDPD	CDPD $\Delta T+$	CDPD $\Delta T-$
S1	8,2mm	8,7mm	9,1mm

Figura 58. Comparativo de deflexiones máximas en modelo 2 y 3.

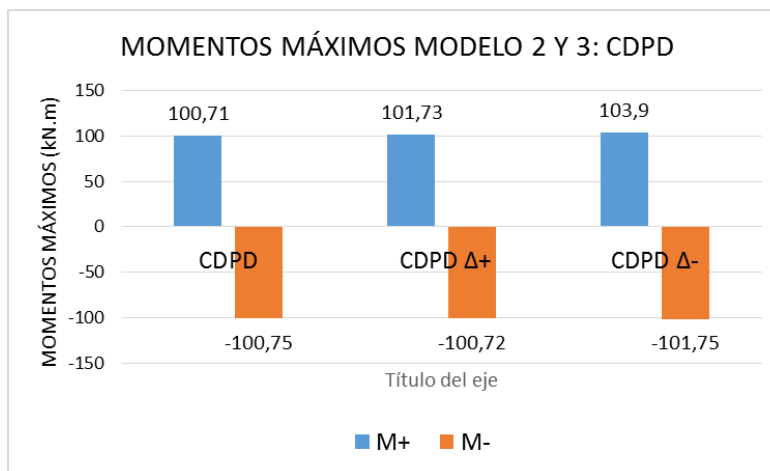
Al comparar estos resultados se puede apreciar que aunque el incremento en milímetros no resulta ser superior al 10% del modelo 3 con respecto al modelo 2, sin aplicar diferencial de temperatura, tal como quedó demostrado en el numeral 4.6, resulta influyente la temperatura en cuanto al incremento de carga en el puntal.

#### 4.10 COMPARACIÓN DE FUERZAS INTERNAS (MOMENTOS MÁXIMOS MODELO 2 Y 3.

De igual manera, que en el numeral anterior, se tiene en cuenta el parámetro de comparación a edades tempranas de fraguado. La Figura 59 presenta la comparación de momentos máximos positivos y negativos, para el modelo 2 CRD y modelo 3. La figura 60 se muestra los momentos máximos positivos y negativos, para el modelo 2, CDPD y modelo 3.



*Figura 59. Comparativo de momentos máximos Modelo 2 y 3- CRD.*



*Figura 60. Comparativo de momentos máximos modelo 2y 3 - CDPD.*

## CAPITULO 5. CONCLUSIONES

### 5.1 INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación, se han analizado la influencia de los procesos constructivos CD, CDPD, CRD y la carga ambiental de temperatura, en la producción de deflexiones máximas instantáneas y fuerzas internas (momentos máximos) de placas en una dirección, mediante el desarrollo de modelos en el programa de elementos finitos ETABS 2013, teniendo las siguientes conclusiones.

- Dado el desarrollo de la modelación de los tres procesos constructivos elaborados, vemos que el proceso de CDPD, conlleva a un menor tiempo de ejecución de la obra, permitiendo mayor agilidad durante todo el proceso constructivo. Otra gran ventaja del proceso CDPD, es porque el 50% de la cimbra que queda instalado ayuda a soportar las cargas que interactúan durante la construcción.
- Los fuerzas internas (momentos máximos), que se producen en el modelo convencional (Modelo 1), utilizando la metodología de diseño lineal son menores a las fuerzas internas que se producen utilizando los diferentes procesos constructivos CD, CDPD, CRD. Con respecto al proceso CD comparado con el modelo 1, se obtuvo que el piso que presenta mayor incremento en momentos máximos positivos es el piso 8 con un incremento del 13%, para el proceso CDPD el incremento correspondió al 20% y finalmente para el proceso de reapuntalado un incremento del 18%. De forma general los momentos máximos positivos se evidenciaron en el piso 8, debido a las condiciones de contorno de la placa.
- Dentro del modelo 2 de los procesos constructivos, el proceso CRD es el que presenta mayores desplazamientos desde el piso 4 hasta el piso 8, comparado con los demás procesos constructivos. En cuanto al incremento de desplazamiento del proceso CD comparado con el modelo lineal se obtuvieron incrementos superiores al 25%. Para el proceso CDPD el incremento más alto frente al modelo 1 se presenta de igual forma en el piso 2 con un porcentaje del 59%, para el caso del proceso CRD el mayor incremento de desplazamiento se presentó en el piso 2, con 54%.



- La influencia de la temperatura en los incrementos de fuerzas internas y deflexiones máximas instantáneas presentadas en los procesos constructivos se puede concluir que aunque sus incrementos no superan el 10% tanto en la sollicitación de fuerzas internas como en las deflexiones máximas instantáneas, se ve directamente afectado la transmisión de cargas en el momento en que se cuenta con puntales metálicos instalados, los cuales sufren el fenómeno de acortamiento o alargamiento según sea el caso
- El incremento de desplazamientos entre el modelo 2: procesos constructivos y el modelo 3: carga de temperatura, resultó ser más influyente el proceso de CRD con un incremento de desplazamientos del 10%, a edades tempranas de fraguado.
- De acuerdo a los resultados en cuanto a momentos obtenidos es conveniente garantizar un incremento en el refuerzo a flexión en los elementos de losa macizas fundidas en sitio.

## 6. TRABAJOS FUTUROS

A continuación se presentan varios temas que pueden ser desarrollados en futuras líneas de investigación, los cuales son producto de hallazgos evidenciados en el trabajo de grado.

Se recomienda realizar un análisis paramétrico de la variación de la resistencia del concreto, con el fin de establecer si los coeficientes utilizados en el programa ETBAS 2013, son apropiados para los tipos de concretos utilizados en Colombia.

- Realizar las modelaciones de los modelos constructivos teniendo en cuenta la retracción, acción que se presenta en varias etapas del concreto, a edades tempranas y después de fraguado.
- Tener en cuenta además la acción de la fluencia, la cual es una carga constante en un periodo determinado de tiempo.
- Realizar la modelación con más de dos juegos de cimbra para determinar si la utilización de más equipos de cimbra instalados pueden permitir que la transmisión de carga se reduzca al momento de realizar la construcción del edificio.
- Utilizar modernos equipos, utilizados en otras partes del mundo para los procesos constructivos.
- Implementar otros sistemas constructivos como el industrializado para la realización de la modelación en elementos finitos combinando fluencia, retracción y temperatura, calculando los esfuerzos de tensión, compresión y cortante, calculando deflexiones máximas instantáneas y deflexiones a largo plazo.
- Analizar los esfuerzos adicionales presentados, utilizando la modelación de procesos constructivos, y las deflexiones a largo plazo.

## 7. BILIOGRAFÍA

ACI 347. (1988). Guide to formwork for concrete. ACI Structural Journal.

ACI 435R-95. (1995). Control of deflection in concrete structures. ACI Structural Journal.

Alvarado, Y. A. (2009, Mayo). Estudio Experimental y numérico de la construcción de forjados hormigonados in situ mediante procesos de cimbrado, clareado, y descimbrado de plantas consecutivas. (Tesis Doctoral). Politécnica de Valencia, Valencia.

Azkune, M., I. Puente, and A. Santilli. "Shore Overloads during Shoring Removal." *Engineering Structures* 32, no. 11 (11, 2010): 3629-3638.

Azkune, M., I. Puente, and Insausti A. Effect of ambient temperature on the redistribution of loads during construction of multi-storey concrete structures . *Engineering Structures* 29 (2007) 933–941.

Calavera, J., & Fernández, J. (1991). Cuaderno N° 3: Criterios para el descimbrado de estructuras de hormigón. INTEMAC, Madrid.

Calderón, P. A., Alvarado, Y. A., & Adam, J. M. (2011). A new simplified procedure to estimate loads on slabs and shoring during the construction of multistorey buildings. *Engineering Structures*, 33(5), 1565–1575.

CAMACOL. (2012). Evolución de las normas técnicas y la inclusión de nuevos sistemas constructivos. Revista coordinada urbana.

CAMACOL. (2012). PRINCIPALES FUENTES DE CONSTRUCCION. CAMACOL.

Carreteros. (2016). Instrucción de hormigón estructural. Obtenido de <http://www.carreteros.org/normativa/ehe/apartados/1.htm>

CEB-FIB 90. (1991). Código Modelo.

Celigueta, J. T. (2008). Método de los elementos finitos para análisis de estructuras. San Sebastián.

CONSTRUDATA. (2010). Estructuras con muros de concreto.

CONSTRUMATICA. (2016). Recuperado el 2016, de <http://www.construmatica.com/>

Díaz, J. (2008). Criterios técnicos para el descimbrado de estructuras de hormigón (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

Duan MZ, & Chen WF. (1995). Design guidelines for safe concrete construction. *Concrete International*, 18(10), 44-49.

ETABS 2013.

Fang, D., Xi, H., Wang, X., & Zhang, C. (2009). Influences of Shrinkage, Creep, and Temperature on the Load Distributions in Reinforced Concrete Buildings During Construction. *Tsinghua Science & Technology*, 14(6), 756–764.

Gardner NJ, & Poon SM. (1976). Time and temperature effects on tensile, bond and compressive strengths. *ACI Journal Proceedings*, 73(7), 405, 409.

Gasch, I., Alvarado, Y. A., & Calderón, P. A. (2012). Temperature effects on load transmission between slabs and shores. *Engineering Structures*, 39, 89–102.

Grundy P, & Kabaila A. (1963). Construction loads on slabs with shored formwork in multistory buildings. *ACI Structural Proceedings*, 60(12), 1729-1738.

Huang Ke- Feng & Liu Xi- La. Effects of Temperature Variations on Safety of Reinforced Concrete Structures During Construction. *J. Shanghai Jiaotong Univ. (Sci.)*, 2014, 19(2): 139-145.

Huerta, Hernán. Blogspot. Construcción del ocio 2012. En: <http://eldiosdelhormigon.blogspot.com/2012/11/el-dios-del-hormigon.html> (abril 2014).

Jaramillo, Diana Elisa. Análisis comparativo entre sistema aporticado y sistema de paredes portantes de hormigón. Tesis ingeniería civil, 2009.

Liu, X., & Chen, W. (1985). Construction loads on supporting floors. *Concrete International*, 7(12), 21-26.

M. Sofi. Efectos de la temperatura ambiente. En: *Construcción y Materiales de Construcción*, 2014: 1-12.

Muñoz, E. (2013). *Mecánica de Materiales*. México

Nielsen K. (1952). Loads on reinforced concrete floor slabs and their deformations during construction. Swedish Cement and Concrete Research Institute, Royal Institute of Technology.

NSR-10. (2010). Norma Colombiana Sismo Resistente, Asociación de ingenieros.

Perles, P. (2007). *Temas de estructuras especiales*. Argentina: Noboku.

Puente I, Azkune M, Insausti A. Shore–slab interaction in multistory reinforced concrete buildings during construction: An experimental approach. *Engineering Structures* 29 (2007) 731–741.

Rosowsky DV, Philbrick Jr TW, Huston DR. Observations from shore load measurement during concrete construction. *J Perform Construct Facilit* 1997;11(1):18–23.

Stivaros, P., & Halvorsen, G. (1990). Shoring reshoring operations for multistory buildings. *ACI Structural Journal*, 87(5), 589-596.

Victorio, S. (2005). Efectos de la temperatura y otras causas de cambios de volumen.

ANEXO 1  
 PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
 BIBLIOTECA ALFONSO BORRERO CABAL, S.J.  
 ENTREGA DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO

FACULTAD: Ingeniería Civil  
 PROGRAMA: Maestría en Ingeniería Civil  
 FECHA DE ENTREGA: 23 de junio 2016

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	TITULO DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO	NOMBRE DEL DIRECTOR	AÑO	Documentos adjuntos (Marque con x)		
					Anexo 2	Anexo 3	Carta de confidencialidad
Castro Aguirre	Sindy Paola	Influencia de los pro-	Yezid A. Alvarado	2016	X	X	
Castro Tovar	José Ser-el	cesos constructivos so-	José D. Ullalba				
		bre las piezas inte-					
		ras (momentos máxi-					
		mos) y deflexiones má-					
		ximas instantáneas					
		y placas unidireccion-					
		les cargadas en sitio					

DILIGENCIADO POR (Nombres y Apellidos): \_\_\_\_\_  
 CARGO: \_\_\_\_\_  
 FIRMA: \_\_\_\_\_