

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL PERÚ
Escuela de Posgrado**



**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE UN
EDIFICIO MULTIFAMILIAR AISLADO EN EL PERÚ**

**Tesis para obtener el grado académico de Maestro
en Ingeniería Civil con mención en Estructuras Sismorresistentes que
presenta:**

Dante Alberto Alvarado Castillo

Asesor:

Mg. Juan Alejandro Muñoz Peláez

Lima, 2024

Informe de Similitud


Yo, Juan Alejandro Muñoz Pelaez, docente de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado Evaluación del desempeño sísmico de un edificio multifamiliar aislado en el Perú, del/de la autor(a) / de los(as) autores(as) Dante Alberto Alvarado Castillo.....,

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 20%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 17/02/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

17 de febrero del 2024

| | |
|--|--|
| Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: Muñoz Pelaez, Juan Alejandro..... | |
| DNI: 09857570 | Firma:  |
| ORCID: 0000-0002-3719-4721 | |



DEDICATORIA

A mis padres Alberto y Nelly por apoyarme en todo tiempo

y enseñarme a nunca rendirme.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer al Mg. Juan Alejandro Muñoz Peláez por ser mi Maestro y Asesor. Por su dedicación, constante apoyo y por todos los conocimientos brindados para la presente investigación.

Al Arq. Yvan Soto por su aporte en área de arquitectura. Y sobre todo a mi padre todo poderoso Jehová Dios por su bendición.



RESUMEN

El Perú se encuentra en una zona sísmica, lo que expone a los edificios multifamiliares a riesgos significativos de sufrir daños estructurales irreparables en caso de sismos severos. En el año 2018, fue presentada la Norma Peruana de Aislamiento Sísmico (E.031) con el fin de continuar la operatividad de los edificios ante sismos severos.

El objetivo de esta tesis es evaluar el desempeño sísmico de un edificio multifamiliar aislado de 5 piso. Para obtener las respuestas de la evaluación se utilizó el análisis dinámico incremental (IDA) con 7 pares de registros sísmicos. Los resultados se presentan en los parámetros de aceleración pico del suelo (PGA), daño-deriva de entrepiso y rotaciones inelásticas en vigas y columnas. Se utilizó los lineamientos de Hazus-MH-MR4 y de ASCE41-13 para la evaluación de desempeño.

Los resultados muestran que para un terremoto de $T_r = 2500$ años (PGA de 0.675g), indican que los valores de los giros plásticos en vigas y columnas alcanzarían solo el 48% y 39% del límite de ocupación inmediata según ASCE41-13. Al emplear la relación daño-deriva se estima que la estructura alcanzaría derivas del orden de 5.8‰ según Hazus-MH-MR4 indicaría que el daño en el edificio superaría el umbral de daño leve. Compatibilizando los resultados de este trabajo, indican una discrepancia en la evaluación del daño empleando la deriva (Hazus-MH-MR4) y el nivel de rotación (ASCE41-13), debido a la relación daño-deriva de Hazus-MH-MR4 corresponde a edificios de base fija.

Palabras clave: Evaluación de desempeño, edificio aislado, rotulas plásticas y daño estructural.

ABSTRACT

Peru is located in a seismic zone, which exposes multifamily buildings to significant risks of suffering irreparable structural damage in the event of severe earthquakes. In 2018, the Peruvian Seismic Isolation Standard (E.031) was presented in order to continue the operation of buildings in the event of severe earthquakes.

The objective of this thesis is to evaluate the seismic performance of an isolated 5-story multifamily building. To obtain the evaluation responses, incremental dynamic analysis (IDA) was used with 7 pairs of seismic records. The results are presented in the parameters of peak ground acceleration (PGA), mezzanine damage-drift and inelastic rotations in beams and columns. The Hazus-MH-MR4 and ASCE41-13 guidelines were used for performance evaluation.

The results show that for an earthquake of TR = 2500 years (PGA of 0.675g), they indicate that the values of plastic twists in beams and columns would reach only 48% and 39% of the immediate occupation limit according to ASCE41-13. When using the damage-drift relationship, it is estimated that the structure would reach drifts of the order of 5.8‰ according to Hazus-MH-MR4, which would indicate that the damage to the building would exceed the slight damage threshold. Combining the results of this work, they indicate a discrepancy in the evaluation of damage using the drift (Hazus-MH-MR4) and the rotation level (ASCE41-13), due to the damage-drift relationship of Hazus-MH-MR4 corresponding to fixed base buildings.

Keywords: Performance evaluation, isolated building, plastic hinges and structural damage.

ÍNDICE

| | |
|--|------|
| RESUMEN..... | III |
| ABSTRACT | IV |
| ÍNDICE | V |
| ÍNDICE DE TABLAS | VIII |
| ÍNDICE DE FIGURAS | IX |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPITULO I: MARCO TEORICO | 2 |
| 1.1. Calificación del Desempeño Sísmico de Edificios | 2 |
| 1.2. Comportamiento de los Edificios Aislados..... | 3 |
| 1.2.1. Descripción general del Edificio Aislado..... | 5 |
| 1.2.3. Modelos para los dispositivos..... | 8 |
| 1.2.3.1. Modelo Elástico..... | 8 |
| 1.2.3.2. Modelo Inelástico | 9 |
| 1.3. Análisis del Edificio Aislados | 10 |
| 1.3.1. Ejemplo de un Edificio Aislado de Centro de Salud (Modelo teórico)..... | 10 |
| 1.3.2. Análisis Elástico | 11 |
| 1.3.2.1. Describir espectro de Análisis..... | 11 |
| 1.3.2.2. Análisis Elástico de 1GDL | 12 |
| 1.3.2.3. Análisis Elástico de 2 GDL | 14 |

| | | |
|--|---|----|
| 1.3.2.4. | Análisis Elástico de VGDL..... | 17 |
| 1.3.3. | Análisis Inelástico | 20 |
| 1.3.3.1. | Describir espectro de análisis..... | 20 |
| 1.3.3.2. | Análisis Dinámico..... | 21 |
| 1.3.3.3. | Describir la señal de análisis..... | 22 |
| 1.4. | Análisis Dinámico Incremental (IDA)..... | 23 |
| 1.4.1. | Generalidades del IDA..... | 23 |
| 1.4.2. | Metodología del IDA | 24 |
| 1.4.3. | Ejemplo del IDA..... | 24 |
| CAPITULO II: ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR CON AISLAMIENTO SÍSMICO | | |
| | | 26 |
| 2.1. | Descripción del caso de estudio..... | 26 |
| 2.2. | Diseño preliminar del sistema de aislamiento..... | 27 |
| 2.2.1. | Predimensionamiento de la estructura..... | 27 |
| 2.2.2. | Análisis del edificio de base fija | 30 |
| 2.2.3. | Cálculo de rigidez del sistema de aislamiento..... | 32 |
| 2.2.4. | Desplazamiento y cortante en el sistema de aislamiento en un modelo en 1GDL34 | |
| 2.2.5. | Análisis espectral de la estructura aislada | 34 |
| 2.2.6. | Registros sísmicos..... | 37 |
| 2.2.7. | Espectro compatible de los registros sísmicos | 39 |
| 2.3. | Diseño Definitivo del sistema de aislamiento..... | 42 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 2.3.1. | Modelo Bilineal del dispositivo..... | 42 |
| 2.3.2. | Análisis Tiempo Historia no lineal. | 43 |
| 2.3.3. | Especificaciones del sistema de aislamiento..... | 45 |
| 2.4. | Diseño Definitivo del sistema estructural | 46 |
| 2.4.1. | Fuerza cortante de diseño..... | 46 |
| 2.4.2. | Diseño de la plataforma de aislamiento..... | 47 |
| 2.4.3. | Diseño de la superestructura..... | 48 |
| CAPITULO III: EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO..... | | 48 |
| 3.1. | Desarrollo del modelo no lineal del edificio..... | 48 |
| 3.2. | Análisis dinámico incremental..... | 49 |
| 3.2.1. | Registro Sísmicos..... | 49 |
| 3.2.2. | Curvas Ida de Rótulas plásticas de deriva y aceleración de entrepiso. | 49 |
| 3.2.3. | Deformaciones inelásticas en los elementos estructurales..... | 53 |
| 3.2.4. | Curvas Ida de Rótulas plásticas de la viga y la columna más girada..... | 55 |
| 3.3. | Evaluación del desempeño | 56 |
| 3.3.1. | Evaluación del daño estructural asociado a derivas | 58 |
| 3.3.2. | Evaluación del daño no estructural asociado a aceleraciones máximas de piso..... | 59 |
| 3.3.3. | Evaluación del comportamiento estructural asociado a la rotación de las rótulas | |
| 60 | | |
| CONCLUSIONES | | 62 |
| RECOMENDACIONES | | 63 |

| | |
|---|----|
| REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS: | 64 |
| Anexo 1: PLANOS DE PROYECTO (ARQUITECTURA) | 66 |
| Anexo 2: PLANOS DE PROYECTO (ESTRUCTURA) | 68 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Tabla de periodo fundamental de los estratos..... | 12 |
| Tabla 2: Tabla de periodo de vibración y partición modal | 32 |
| Tabla 3: Aceleraciones de piso para la dirección X-X y dirección Y-Y | 37 |
| Tabla 4: Tabla de registro sísmicos..... | 37 |
| Tabla 5: Propiedades de los aisladores del caso tiempo historia no lineal | 45 |
| Tabla 6: Limite de derivas (daño estructural)..... | 57 |
| Tabla 7: Limite de aceleraciones (daño no estructural)..... | 57 |
| Tabla 8: Nivel de desempeño de acuerdo a los límites de rotación para las vigas. | 57 |
| Tabla 9: Nivel de desempeño de acuerdo a los límites de rotación para las columnas..... | 58 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Matriz de desempeño según SEAOC..... | 2 |
| Figura 2: Matriz de desempeño (FEMA 356) | 3 |
| Figura 3: Estructura con base fija y una con aislamiento | 4 |
| Figura 4: Incremento del periodo de vibración en la demanda sísmica..... | 4 |
| Figura 5: Sistema de aislamiento sísmico | 5 |
| Figura 6: Semisótano de Inspección | 5 |
| Figura 7: Zona de inspección | 6 |
| Figura 8: Aislador de bajo amortiguamiento y su curva de histéresis..... | 7 |
| Figura 9: Aislador de alto amortiguamiento y su curva de histéresis. | 7 |
| Figura 10: Aislador elastomérico con núcleo de plomo y su curva de histéresis..... | 8 |
| Figura 11: Relación entre la fuerza de amortiguamiento y el desplazamiento..... | 9 |
| Figura 12: Modelo no lineal para aisladores elastoméricos con núcleo de plomo | 10 |
| Figura 13: Estructuración piso típico – Planta | 11 |
| Figura 14: Modelo de un sistema de un grado de libertad | 13 |
| Figura 15: Modelo de un sistema de dos grados de libertad | 14 |
| Figura 16: Modelo de un sistema de varios grados de libertad | 17 |
| Figura 17: Punto de desempeño mediante el método de espectro de capacidad | 20 |
| Figura 18: Diagrama momento-curvatura de una rótula plástica | 21 |
| Figura 19: Rótulas plásticas y la curva de capacidad..... | 22 |
| Figura 20: Niveles de comportamiento estructural (o niveles de desempeño) en las rótulas plásticas..... | 22 |
| Figura 21: El Centro Earthquake - 1940..... | 23 |

| | |
|--|----|
| Figura 22: Diagrama de curva IDA - El Centro Earthquake-..... | 24 |
| Figura 23: Diagramas de varias curvas IDA..... | 25 |
| Figura 24: Plano de Arquitectura del edificio a analizar..... | 26 |
| Figura 25: Planta típica de la estructura..... | 27 |
| Figura 26: Selección de la losa..... | 28 |
| Figura 27: Selección del área tributaria..... | 30 |
| Figura 28: Estructura modelada con el programa Etabs..... | 31 |
| Figura 29: Deriva de la estructura de base fija..... | 32 |
| Figura 30: Modelo de un sistema de dos grados de libertad..... | 33 |
| Figura 31: Modelo de la estructura con aisladores..... | 35 |
| Figura 32: Cortante de la estructura aislada para la dirección X-X y la dirección Y-Y..... | 35 |
| Figura 33: Deriva de la estructura aislada por piso para la dirección X-X y la dirección Y-Y..... | 36 |
| Figura 34: Registro de aceleraciones..... | 39 |
| Figura 35: Espectro de registro sísmicos vs el Espectro de Pseudo-Aceleración de la E.031..... | 41 |
| Figura 36: Combinación SRSS vs Espectro de diseño..... | 42 |
| Figura 37: Desplazamiento máximos del análisis tiempo historia (λ_{min} , propiedades nominales, $\lambda_{máx}$) en dirección X-X e Y-Y..... | 43 |
| Figura 38: Derivas máximas del análisis tiempo historia (λ_{min} , propiedades nominales, $\lambda_{máx}$) en dirección X-X e Y-Y..... | 44 |
| Figura 39: Aceleración de la estructura aislada del análisis tiempo historia no lineal en dirección X-X e Y-Y..... | 44 |
| Figura 40: Fuerza Cortante de la estructura aislada del análisis tiempo historia no lineal en dirección X-X e Y-Y..... | 45 |
| Figura 41: Curva de histéresis del sistema de asilamiento para el modelo de Lambda mínimo .. | 46 |

| | |
|--|----|
| Figura 42: Espectro con $R = 1$ y $R = 2$ | 47 |
| Figura 43: Diseño de la viga y dado de concreto de la plataforma | 47 |
| Figura 44: Diseño de la columna y la viga de la super estructura | 48 |
| Figura 45: Diagrama Momento -Curvatura para la viga V6 (30x70) a 0 grados. | 49 |
| Figura 46: Curvas IDA de Aceleración Máxima en la azotea | 51 |
| Figura 47: Curvas IDA de derivas Máxima en la azotea..... | 53 |
| Figura 48: Deformaciones inelásticas en la estructura aislada | 53 |
| Figura 49: Deformaciones inelásticas en los elementos estructurales viga típica. | 54 |
| Figura 50: Ubicación de la rótula más girada para la viga (piso 3) y columna (piso 1) en dirección X-X..... | 54 |
| Figura 51: Ubicación de la rótula más girada para la viga (piso 3) y columna (piso1) en dirección Y-Y. | 55 |
| Figura 52: Curva IDA de los máximos giros en las vigas en condiciones lambda máximo en dirección X e Y del piso 3. | 55 |
| Figura 53: Curva IDA de los máximos giros en las columnas en condiciones lambda máximo en dirección X e Y en el piso 1..... | 56 |
| Figura 54: Curva IDA de derivas en condiciones nominales en dirección X e Y..... | 58 |
| Figura 55: Curva IDA de derivas en condiciones lambda máximo en dirección X e Y. | 59 |
| Figura 56: Curva IDA de aceleración en condiciones nominales en dirección X e Y..... | 59 |
| Figura 57: Curva IDA de aceleración en condiciones lambda máximo en dirección X e Y. | 60 |
| Figura 58: Diagrama Momento-rotación, o, diagrama Fuerza-desplazamiento. | 60 |
| Figura 59: Curva IDA del ratio de rotación Inelástica en las vigas en condiciones lambda máximo en dirección X e Y (piso 3). | 61 |

Figura 60: Curva IDA del ratio de rotación Inelástica en las columnas en condiciones lambda máximo en dirección X e Y en el piso 1..... 61



INTRODUCCIÓN

Dentro de los desastres naturales en el Perú, los que mayores pérdidas de vidas y económicas ocasionan son los terremotos.

El Perú está ubicado dentro del cinturón de fuego y, por tanto, está expuesto a un nivel alto de peligro sísmico. Entre los principales eventos en los últimos 50 años están los ocurridos en Chimbote, 1970 7.1 MW, Lima, 1974 7.7 MW, Arequipa, 2001 8.4 MW e Ica, 2007 7.9 MW, según el INDECI.

En la actualidad, el Perú cuenta con algunas edificaciones aisladas de vivienda, como los edificios Madre de 17 pisos, el edificio Atlantik Ocean Tower de 14 pisos y se han construido hasta edificaciones con departamentos muy económicos como es el caso de los programas “Mi Vivienda”.

En el mundo, los edificios aislados han mostrado un buen desempeño en terremotos importantes como son los casos del Centro médico USC en EEUU, el Hospital Militar en Santiago de Chile entre otros.

Objetivos

- **Objetivo principal:**

Contribuir a la protección sísmica de los edificios multifamiliares peruanos empleando aislamiento sísmico.

- **Objetivos Específicos:**

1. Obtener respuestas en términos de aceleración y derivas de piso de una estructura multifamiliar aislada.
2. Evaluar el desempeño sísmico del edificio de vivienda seleccionado ante distintas intensidades sísmicas y calificar su desempeño.

- **Justificación:**

En la actualidad existen edificios de vivienda aislados en el Perú y no se ha realizado una evaluación del desempeño.

- **Hipótesis:**

Un edificio multifamiliar aislado debería tener un buen desempeño sísmico en diferentes niveles de intensidad sísmica.

CAPITULO I: MARCO TEORICO

1.1. Calificación del Desempeño Sísmico de Edificios

Existen varias propuestas para calificar el desempeño de las estructuras, entre las cuales tenemos a SEAOC, FEMA, ATC; en esta parte de la tesis se describirá las propuestas mostradas por SEAOC y FEMA.

A) Matriz de desempeño según SEAOC

La propuesta de SEAOC consiste en clasificar el nivel de desempeño de la estructura. SEAOC da a conocer que el nivel de desempeño está relacionado con los niveles de daño las cuales son: Totalmente Operacional, Operacional, Asegurar la Vida y Cerca al Colapso, respectivamente.

Estos niveles de desempeño se asocian con el nivel del movimiento sísmico las cuales son sismo muy raro con un Periodo de retorno (TR) de 970 años, sismo raro (TR = 475 años), sismo ocasional (TR = 72 años) y sismo frecuente (TR = 43 años) **Figura 1.**

| 1 ... Instalaciones Básicas 2 ... Instalaciones Esenciales/Riesgosas 3 ... Instalaciones de Seguridad Crítica 0 ... Desempeño inaceptable | | Nivel de Desempeño Sísmico | | | |
|--|-------------------------|----------------------------|-------------|-----------|------------------|
| | | Totalmente Operacional | Operacional | Seguridad | Cerca al Colapso |
| Nivel del Movimiento Sísmico | Frecuente (T = 43 años) | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | Ocasional (T = 72 años) | 2 | 1 | 0 | 0 |
| | Raro (T = 475 años) | 3 | 2 | 1 | 0 |
| | Muy Raro (T = 970 años) | - | 3 | 2 | 1 |

Figura 1: Matriz de desempeño Sísmico (SEAOC)

Adaptado de: SEAOC-Visión 2000 (1995)

B) Matriz de desempeño según FEMA

La propuesta de FEMA es clasificar los niveles de peligro sísmico y los niveles de desempeño en una relación de niveles como se muestra en la Figura 2, Fema 356 describe los cuatro niveles de desempeño (O, OI, LS y CP).

En la tabla mostrada se presenta los niveles de peligrosidad sísmica a usar:

- 50% de probabilidad en 50 años, para un TR = 72 años
- 20% de probabilidad en 50 años, para un TR = 225 años
- 10% de probabilidad en 50 años, para un TR = 474 años
- 2% de probabilidad en 50 años, para un TR = 2475 años

| | | NIVELES DE DESEMPEÑO | | | |
|----------------------------|-----------|----------------------|-----------------------|-------------------|------------------------|
| | | Operacional | Operacional inmediata | Seguridad de vida | Prevención del colapso |
| NIVELES DE PELIGRO SÍSMICO | 72 AÑOS | a | b | c | d |
| | 225 AÑOS | e | f | g | h |
| | 474 AÑOS | i | j | k | l |
| | 2475 AÑOS | m | n | o | p |

Figura 2: Matriz de desempeño (FEMA 356)

Adaptado de: FEMA 356

Donde:

- $k + p$ = Objetivo básico de seguridad
- k, p, c, g, d, h, l = Objetivos limitados
- $o, n, m, k + p$ + algún otro objetivo a, e, i, b, f, j, n
- Objetivo Básico de Seguridad (Basic Safety Objective BSO, $k + p$)
- También Objetivos Mejorados: Sólo m , sólo n , sólo o
- Objetivos Limitados: Sólo k , sólo p También Objetivos Limitados: c, g, d, h, l

1.2. Comportamiento de los Edificios Aislados.

Una edificación aislada presenta un comportamiento diferente a una estructura de sistema base fija, dado que el sistema de aislamiento debe absorber una buena parte de la energía que se produce durante un movimiento sísmico, dando como resultado que la estructura aislada presenta menor

desplazamiento y menor daño con respecto a la estructura de base fija. En **La Figura 3** se observa una comparación del desplazamiento entre una edificación con base fija y una con aislamiento.

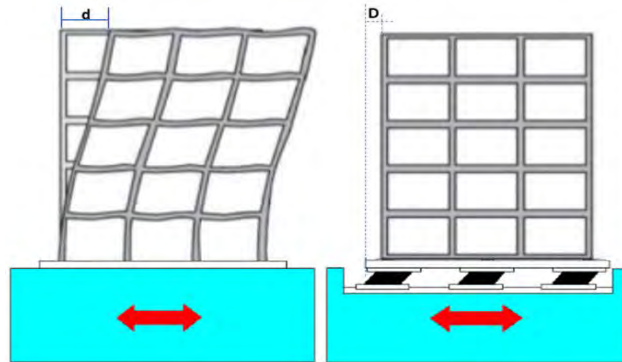


Figura 3: Estructura con base fija y una con aislamiento

Adaptado de: An Introduction to Seismic Isolation (Skinner R., Robinson W. & McVerry G)

Los aisladores sísmicos generan un nuevo sistema flexible con un periodo mayor con respecto a una estructura de base fija, generando que la estructura aislada presente una menor demanda de fuerzas (**Figura 4**).

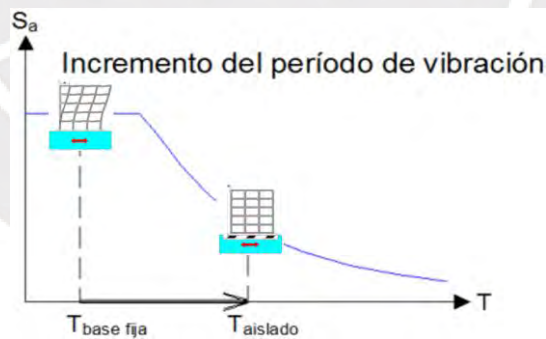


Figura 4: Incremento del periodo de vibración en la demanda sísmica.

Adaptado de: An Introduction to Seismic Isolation (Skinner R., Robinson W. & McVerry G)

Los aisladores dotan de un aumento mayor al 5% de amortiguamiento al sistema de aislamiento.

1.2.1. Descripción general del Edificio Aislado

Las estructuras aisladas presentan tres partes: el sistema de aislamiento, la super estructura y la sub estructura, en la **Figura 5** se puede apreciar sus ubicaciones correspondientes.

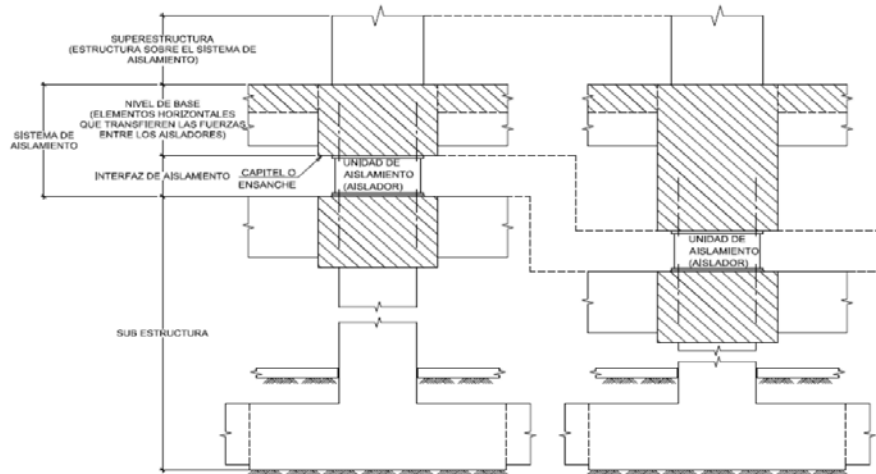


Figura 5: Sistema de aislamiento sísmico

Fuente: Norma Técnica Peruana E.031

Las estructuras aisladas que no contengan sótanos deben tener un semisótano de inspección, la norma E.031 propone que la altura efectiva entre el nivel del piso terminado y fondo de losa debe ser de 1.5 metros (**Figura 6**).



Figura 6: Semisótano de Inspección

Fuente: CDV Ingeniería Antisísmica 2018

Las estructuras aisladas que contengan sótanos deben tener un dado concreto en la parte inferior de los dispositivos de aislamiento, las cuales deben estar unidas a la parrilla de la viga con las columnas de sótanos (**Figura 7**).



Figura 7: Zona de inspección

Fuente: CDV Ingeniería Antisísmica 2018

La super estructura debe tener una esbeltez (H/B) menor a 3, donde H es la altura de la edificación y B es el lado menor de la estructura; eliminado las posibles fuerzas de tracción.

1.2.2. Dispositivos de Aislamientos existentes en el Mercado.

En el mercado peruano existen distintos tipos de aisladores a continuación, se mostrará lo más conocidos con una explicación de cada uno:

A) Aisladores Elastoméricos de bajo amortiguamiento - LDRB

Los LDRB se caracterizan por ser fabricados con goma natural con un amortiguamiento de 2% al 5% y presentar una deformación máxima por corte del 100%. La **Figura 8** se muestra el LDRB y su curva de histéresis.

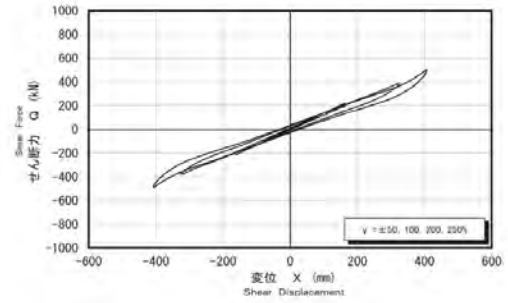
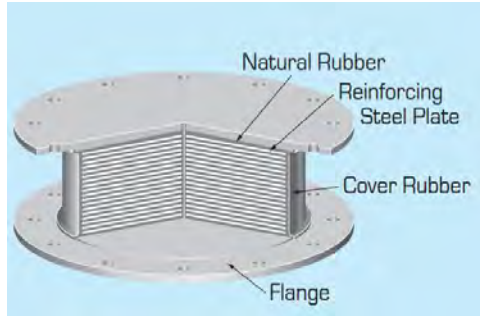


Figura 8: Aislador de bajo amortiguamiento y su curva de histéresis.

Fuente: Seismic isolation product line-up (Versión 2015 vol.1)

B) Aisladores Elastoméricos de alto amortiguamiento - HDRB

Los aisladores HDRB se caracterizan por ser fabricados de capas de caucho con aditivos especiales con un amortiguamiento del 10% al 20% y presentar una deformación máxima por corte del 200%. No obstante, los aisladores HDRN presentan una gran sensibilidad a los cambios por temperatura y frecuencia. La **Figura 9** se muestra el HDRB y su curva de histéresis.

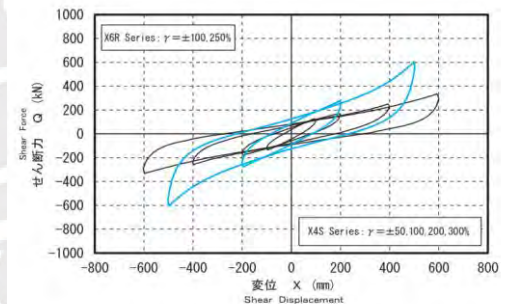
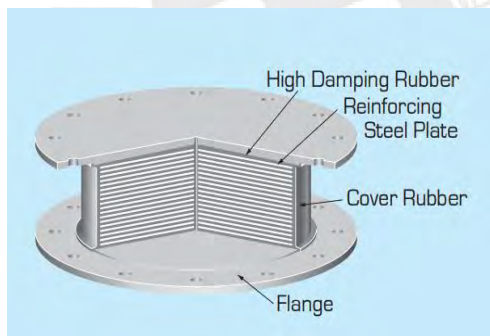


Figura 9: Aislador de alto amortiguamiento y su curva de histéresis.

Fuente: Seismic isolation product line-up (Versión 2015 vol.1)

C) Aisladores Elastoméricos con núcleo de Plomo – LRB

Los LRB se caracterizan por presentar un núcleo de plomo ubicado en el centro a diferencia de los aisladores HDRB y presentar un amortiguamiento del 25% al 30%. Si el aislador LRB es sometida a un movimiento sísmico el núcleo plomo fluye y disipa energía; también, cuando el movimiento sísmico

termina el núcleo de plomo regresa a sus condiciones iniciales y se recrystaliza con el fin de soportar un nuevo sismo. La **Figura 10** se muestra el LRB y su curva de histéresis.

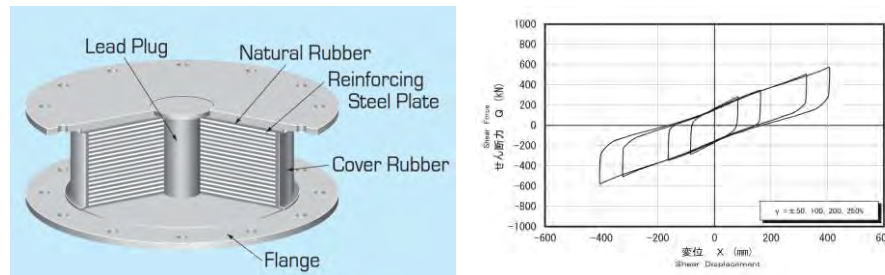


Figura 10: Aislador elastomérico con núcleo de plomo y su curva de histéresis.

Fuente: Seismic isolation product line-up (Versión 2015 vol.1)

1.2.3. Modelos para los dispositivos

Los dispositivos de aislamiento sísmico presentan dos modelos, el elástico y el inelástico.

1.2.3.1. Modelo Elástico

Es un modelo que regula los desplazamientos máximos horizontales de los dispositivos durante un movimiento sísmico, estos desplazamientos deben estar dentro de los límites máximos aceptables, la **Figura 11** se muestra la relación entre FD y D , la cual está siendo encerrada por una elipse WD de un amortiguamiento Viscoso.

Donde:

- FD : Fuerza de amortiguamiento
- D : Desplazamiento respectivamente
- WD : Energía disipada

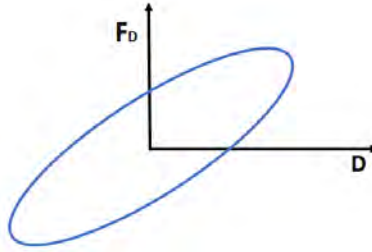


Figura 11: Relación entre la fuerza de amortiguamiento y el desplazamiento

Derechos reservados

Para el calculo de energia disipada en la Ec(2.1).

$$W_D = \pi * F_D * D \quad (2.1)$$

Para este punto es necesario calcular el valor de F_D según la Ec(2.2)

$$F_D = C * V = 2 * K_{eff} * \xi_{eff} * D \quad (2.2)$$

Donde:

C : Coeficiente de amortiguamiento

V : Velocidad

K_{eff} : Rigidez equivalente

ξ_b : Razon de amortiguamiento

Usando la Ec(2.2) en la Ec(2.1) se logra obtener la formula de la energia disipada Ec (2.3)

$$W_D = 2 * \pi * K_{eff} * \xi_{eff} * D^2 \quad (2.3)$$

1.2.3.2. Modelo Inelástico

Estos modelos permiten representar la curva de histéresis cuando se presentan grandes desplazamientos, el modelo que mayor se utiliza es el modelo bilineal la cual presenta tres parámetros: la fuerza asociada a un desplazamiento nulo, la rigidez elástica y la rigidez de fluencia (Q , K_1 y K_2 respectivamente) **Figura 12.**

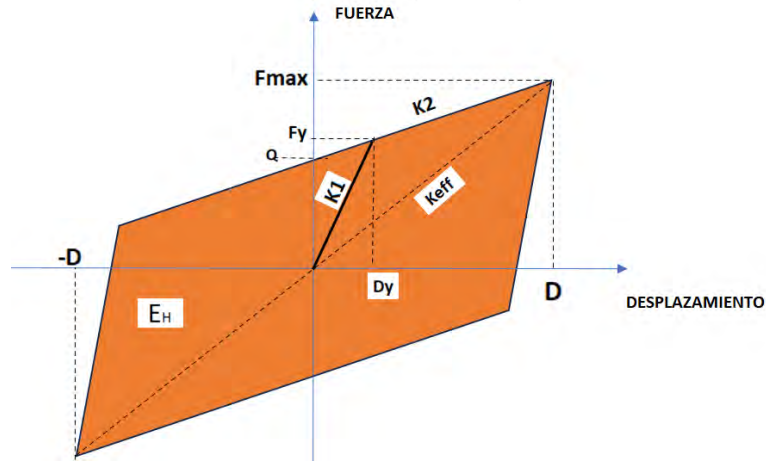


Figura 12: Modelo no lineal para aisladores elastómericos con núcleo de plomo

Fuente: Derechos reservados

De la figura mostrada se puede deducir la relación de cada rigidez (K_1 , K_2 , K_{eff}), en base a la fuerza de fluencia (F_y), desplazamiento máximo (D) y desplazamiento de fluencia (D_y).

$$K_1 = \frac{F_y}{D_y} \quad (2.4)$$

$$K_2 = \frac{F_y - Q}{D_y} \quad (2.5)$$

$$K_{eff} = \frac{F}{D} \quad (2.6)$$

1.3. Análisis del Edificio Aislados

Se procede a mostrar el análisis de un ejemplo de un edificio aislado, se mostrará los procesos de los análisis estáticos (en los puntos para el análisis de 1GDL, 2GDL y VDGL se procederá a realizar bajo los conceptos proporcionados por Naeim & Kelly), también se mostrará los procesos de los análisis inelásticos.

1.3.1. Ejemplo de un Edificio Aislado de Centro de Salud (Modelo teórico)

En este ejemplo se analiza una edificación inelástica de concreto armada de 3 pisos (**Figura 13**), con las siguientes características.

- Sistema Aporticado.
- Altura entrepisos 1, 2 y 3: 3.3 m.
- Luces de 7 m. x 7.25 m.
- Columnas de 60x60 cm.
- Vigas de 30x60 cm.
- Losas macizas de 20 cm.
- Carga muerta en losas: 520 kg/m²
- Carga viva: 250 kg / m².
- Zona sísmica: 0.45
- Factor de uso: 1
- Factor de suelo: 1

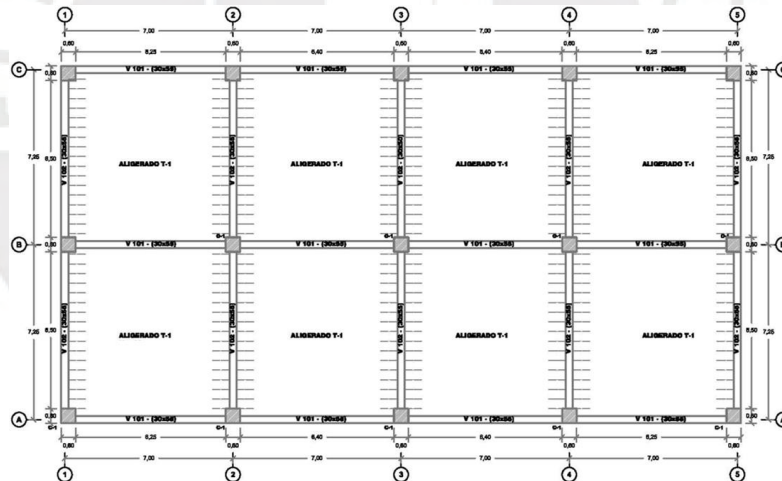


Figura 13: Estructuración piso típico – Planta

Derechos reservados

1.3.2. Análisis Elástico

1.3.2.1. Describir espectro de Análisis

El espectro que se va a tomar está basado bajo la norma E.031, para utilizar este espectro es necesario verificar el periodo fundamental del estrato (**Tabla 1**), obtenido de micro trepidación.

Tabla 1: Tabla de periodo fundamental de los estratos

| Suelo Tipo | | Ts (s) |
|------------|---------------------------|--------|
| S0 | Roca dura | < 0,15 |
| S1 | Roca o suelos muy rígidos | < 0,30 |
| S2 | Suelos intermedios | < 0,40 |
| S3 | Suelos blandos | < 0,60 |

Fuente: Norma E.031

Si la el periodo del estrato está dentro de la tabla se procede a calcular el espectro elástico de pseudo aceleraciones, correspondiente al sismo máximo.

$$S_{aM} = 1.5 * Z * U * C * S * g \quad (2.7)$$

Donde:

Z : Factor de Zona Sísmica

U : Factor de Uso

C : Factor de Amplificación Sísmica

S : Perfil de Suelo

1.3.2.2. Análisis Elástico de 1GDL

La teoría del aislamiento sísmico, mostrada en Naeim & Kelly (1999), está basada en la idealización del modelo de un grado de libertad consiste en que K_s (la matriz de rigidez de la super estructura) es mayor que K_b (la matriz del sistema de aislamiento). Implicando que la super estructura no se deforme, generando una masa actuante y un sistema de un grado de libertad. El valor de la masa actuante se obtiene sumando los valores de $m_s + m_b$, en donde “ m_s ” es la masa de la super estructura y “ m_b ” es masa del nivel base (**Figura 14**).

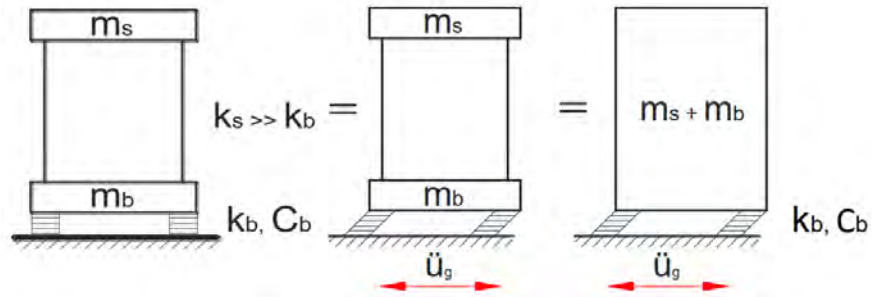


Figura 14: Modelo de un sistema de un grado de libertad

Adaptado de: Design of Seismic Isolated Structures from Theory to Practice (1999)

- **Análisis modal**

Para la obtención del análisis modal de la estructura es necesario considerar que la estructura es infinitamente rígida y obtener el periodo fundamental del sistema de aislamiento (T_b) Ecs (2.8).

$$T_b = 2 * \pi \sqrt{\frac{m_s + m_b}{k_b}} \quad (2.8)$$

Luego se calcula el C_b (la constante del amortiguamiento del sistema de aislamiento), la cual esta realaciona con el C_{CR} (amortiguamiento critico) y ξ_b (factor de amortiguamiento) Ecs (2.9)

$$C_b = C_{CR} * \xi_b = 2 * \xi_b * \sqrt{(m_s + m_b) * k_b} \quad (2.9)$$

- **Ejemplo de 1GDL**

Para el ejemplo de un 1GDL se utilizará el ejemplo del capítulo 2.3.1. el cual presenta un sistema aislamiento compuesto por un total de 15 aisladores. Los aisladores de tienen una rigidez de 114 Ton/m por cada aislador, un amortiguamiento del 15% y la plataforma del aislamiento pesa 50 kg.

Donde:

$$m_s : 170.25 \text{ Ton.seg}^2/\text{m}$$

$$m_b : 50 \text{ Ton.seg}^2/\text{m}$$

$$k_b : 1710 \text{ Ton/m}$$

ξ_b : 15%

Se procede a calcular el periodo fundamental:

$$T_b = 2 * \pi \sqrt{\frac{170.25 + 50}{1710}} = 2.25 \text{ seg}$$

Se procede a calcular el C_b :

$$C_b = C_{CR} * \xi_b = 2 * 15\% * \sqrt{(170.25 + 50) * 1710} = 184$$

1.3.2.3. Análisis Elástico de 2 GDL

Se debe modelar con un sistema que presenta 2 grados de libertad dinámicos (en la base y la azotea). Estos grados se disjuntan en dos masas donde “ m_b ” y “ m_s ”, también, la rigidez (K_s) y el amortiguamiento (C_s) de la super estructura y, la rigidez (K_b) y el amortiguamiento (C_b) del sistema de aislamiento (Naeum y Kelly, 1999) **Figura 15.**

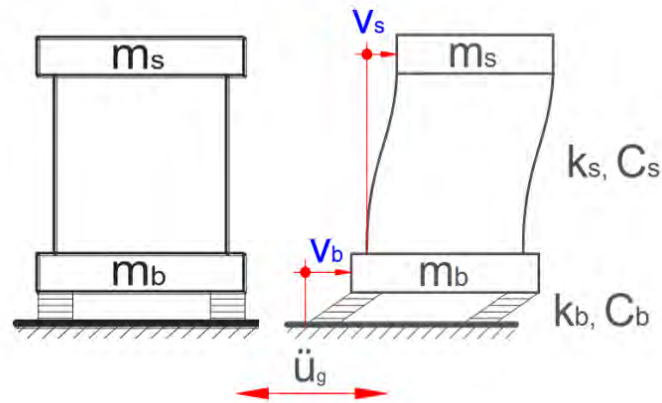


Figura 15: Modelo de un sistema de dos grados de libertad

Adaptado de: Design of Seismic Isolated Structures from Theory to Practice (1999)

En un modelo de 2GDL los valores de “ V_b ” (desplazamiento de la plataforma con respecto al suelo) y “ V_s ” (desplazamiento de la estructura con respecto a la plataforma). Cuando la estructura es

sometida a una aceleración en su base “ug”, la ecuación de equilibrio dinámico queda definida de la siguiente manera:

$$\hat{M} * \ddot{V} + \hat{C} * \dot{V} + \hat{K} * V = -\hat{M} * \hat{r} * \ddot{u}_g \quad (2.10)$$

Donde:

\hat{M} : Matriz de masas

\hat{C} : Matriz de amortiguamiento

\hat{K} : Matriz de la rigidez lateral

\hat{r} : Vector de dirección del movimiento del suelo

$$\hat{M} = \begin{bmatrix} m_s + m_b & m_s \\ m_s & m_s \end{bmatrix} \quad \hat{C} = \begin{bmatrix} C_b & 0 \\ 0 & C_s \end{bmatrix} \quad \hat{K} = \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix} \quad V = \begin{Bmatrix} V_b \\ V_s \end{Bmatrix} \quad \hat{r} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

- **Análisis modal**

En vibración libre la ecuación de equilibrio dinámico es:

$$\hat{M} * \ddot{V} + \hat{K} * V = 0 \quad (2.11)$$

Se asume una posible solución armónica

$$V = A * \sin(\omega * t) * \emptyset \quad (2.12)$$

$$\ddot{V} = -\omega^2 * A * \sin(\omega * t) * \emptyset \quad (2.13)$$

Donde:

ω : Frecuencia de vibración

A : Constante

Se proce a realizar replazo en la Ecuación 2.12 y 2.13 en la Ecuación 2.11, con el fin de obtener:

$$(\hat{K} - \omega^2 * \hat{M}) = 0 \quad (2.14)$$

Para obtener los modos es necesario calcular la frecuencia de vibración, considernado la determinante de la matriz de coeficiente es nulo :

$$\det|\hat{K} - \omega^2 * \hat{M}| = 0 \quad (2.15)$$

$$\gamma = \omega^2 \quad \epsilon = \left(\frac{T_f}{T_b}\right)^2 = \left(\frac{\omega_f}{\omega_b}\right)^2 \quad \gamma = \frac{m_s}{m_s + m_b}$$

Modo 1:

$$T_1 = T_b * \left(\frac{1}{\sqrt{1-\gamma*\epsilon}}\right) \quad \phi_1 = \left\{ \begin{matrix} 1 \\ \epsilon \end{matrix} \right\} \quad \frac{L_1^*}{M_1^*} = 1 - \gamma * \epsilon$$

Donde:

T_f : Periodo de la estructura de base fija

ϵ : Epsilon

ϕ_1 : Modo 1

$\frac{L_1^*}{M_1^*}$: Factor de Participación

Modo 2:

Se obtiene el T2, forma modal ϕ_2 y el factor de participación del modo 2 se obtienen:

$$T_2 = T_s * \sqrt{\frac{1-\gamma}{1+\gamma*\epsilon}} \quad \phi_2 = \left\{ \begin{matrix} 1 \\ -\frac{1}{\gamma} * (1 - (1 - \gamma) * \epsilon) \end{matrix} \right\} \quad \frac{L_2^*}{M_2^*} = \gamma * \epsilon$$

• **Ejemplo de un 2GDL**

Para el ejemplo de un 2GDL se utilizará el ejemplo del capítulo 2.3.1. el cual presenta un sistema aislamiento compuesto por un total de 30 aisladores. Los aisladores de tienen una rigidez de 7.30 ton/f por cada aislador, un amortiguamiento del 15% y la plataforma del aislamiento pesa 50 kg.

Donde:

m_s : 170.25 Ton.seg²/m

m_b : 50 Ton.seg²/m

k_b : 960 Ton/m

ξ_b : 15%

Se con las formulas mostradas se procede a calcular el Epsilon y el Gamma:

$$\epsilon = 0.111 \quad \gamma = 3.405$$

Se procede a calcular el Primer modo de Vibración del sistema, el primer periodo y el factor de participación:

$$T_1 = 2.59 \text{ seg} \quad \phi_1 = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0.111 \end{Bmatrix} \quad \frac{L_1^*}{M_1^*} = 0.62$$

Se procede a calcular el Segundo modo de Vibración del sistema, el primer periodo y el factor de participación:

$$T_2 = 0.46 \text{ seg} \quad \phi_2 = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0.29 \end{Bmatrix} \quad \frac{L_2^*}{M_2^*} = 0.38$$

1.3.2.4. Análisis Elástico de VGDL

Se debe modelar un sistema que presenta de varios grados de libertad dinámicos (en la base y estructura). Estos grados se disjuntos en dos matrices de masas donde “mb” (masa del nivel base de aislamiento) y “ms” (masa de la super estructura por piso). También el amortiguamiento (Cs) y la rigidez de la super estructura (Ks) y, el amortiguamiento (Cb) y la rigidez del sistema de aislamiento (Kb) sistema de aislamiento (Naeum y Kelly, 1999) **Figura 16.**

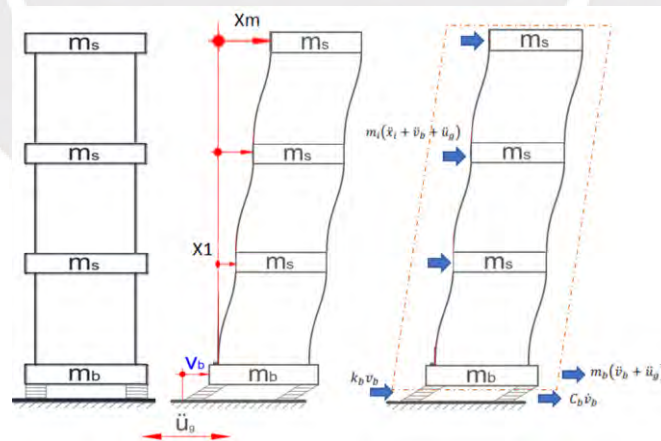


Figura 16: Modelo de un sistema de varios grados de libertad

Adaptado de: Design of Seismic Isolated Structures from Theory to Practice (1999)

Donde:

X_m, X_1 : Desplazamientos de los pisos respecto a la plataforma de aislamiento.

V_b : Desplazamientos de la plataforma de aislamiento con respecto al suelo.

\ddot{u}_g : Aceleración del suelo

\ddot{v}_b : Aceleración del sistema de aislamiento relativo al suelo

$\ddot{X}_i + \ddot{v}_b + \ddot{u}_g$: Aceleración absoluta por piso.

Cuando la estructura es sometida a un u_g en en la plataforma, la ecuación de equilibrio dinámico se define como:

$$\hat{M} * \ddot{V} + \hat{C} * \dot{V} + \hat{K} * V = -\hat{M} * \hat{r} * \ddot{u}_g \quad (2.16)$$

Donde:

\hat{M} : Matriz de masas

\hat{C} : Matriz de amortiguamiento

\hat{K} : Matriz de la rigidez lateral

\hat{r} : Vector de dirección del movimiento del suelo

$$\hat{M} = \begin{bmatrix} m_s + m_b & m_s \\ m_s & m_s \end{bmatrix} \quad \hat{K} = \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix} \quad \hat{C} = \begin{bmatrix} C_b & 0 \\ 0 & C_s \end{bmatrix} \quad V = \begin{Bmatrix} V_b \\ X_m \end{Bmatrix} \quad \hat{r} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

- **Análisis modal**

En vibración libre la ecuación de equilibrio dinámico es:

$$\hat{M} * \ddot{V} + \hat{K} * V = 0 \quad (2.17)$$

$$V = A * \sin(\omega * t) * \varphi \quad (2.18)$$

$$\dot{V} = -\omega^2 * A * \sin(\omega * t) * \varphi \quad (2.19)$$

$$\varphi = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2.20)$$

Donde:

ω : Frecuencia de vibración del sistema aislado.

A : Amplitud

φ : Modo de vibración del sistema aislado.

\emptyset : Vector de modo del subvector φ

Se procede a realizar replazo en la Ecuación 2.18 y 2.19 en la Ecuación 2.17, con el fin de obtener:

$$-\omega^2 * \begin{bmatrix} m_s + m_b & r^T * m_s * \emptyset \\ m_s * r & m_s * \emptyset \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_b \\ k_s * \emptyset \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

Se procede a calcular los ωa de la estructura aislada con el fin de obtener el \emptyset :

$$\gamma_i = \frac{m_s}{m_s + m_b} \quad (2.22)$$

$$FI = \sum \gamma_i * \frac{1}{1 - (\frac{\omega}{\omega a})^2} \quad (2.23)$$

$$FD = 1 - (\frac{\omega b}{\omega a})^2 \quad (2.24)$$

$$FI-DD=0 \quad (2.25)$$

Donde:

ωb : Frecuencia de vibración del sistema de aislamiento.

Obtenido los valores de ωa de la estructura se procede calcular los \emptyset :

$$q_{i,k} = \frac{L_i}{M_i} * \frac{\omega a_k^2}{\omega^2 - \omega a_k^2} \quad (2.26)$$

$$\emptyset^k = \sum_{i=1}^N \emptyset^i * q_{i,k} \quad k= 1...N+1 \quad (2.27)$$

Donde:

N : La cantidad de valores de q_i

1.3.3. Análisis Inelástico

1.3.3.1. Describir espectro de análisis

El método del espectro capacidad – demanda, sirve para determinar gráficamente el desempeño de sísmico de una estructura a través de la intersección del espectro de capacidad (obtenida bajo un análisis Pushover) con el espectro de demanda **Figura 17**.

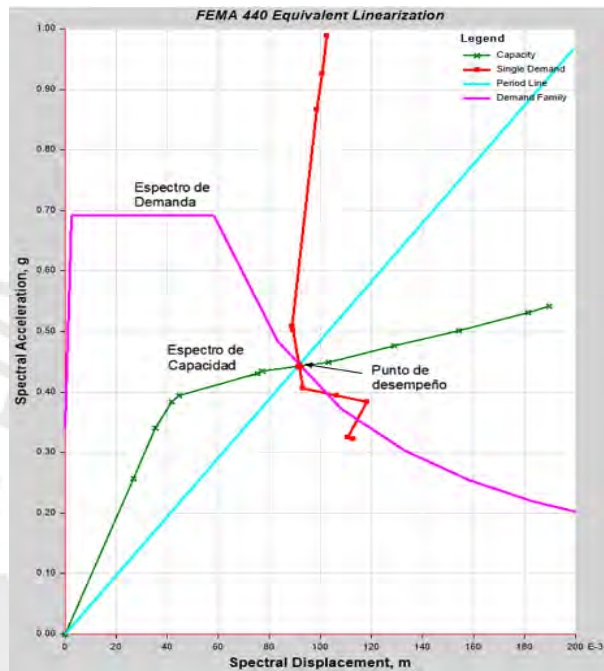


Figura 17: Punto de desempeño mediante el método de espectro de capacidad

Derechos reservados

También existen otros métodos del espectro de análisis, como el análisis tiempo historia (la cual consiste mostrar la respuesta dinámica de la estructura en un incremento de tiempo), también el método del coeficiente del desplazamiento (la cual estima la demanda de desplazamiento de la estructura usando una representación no lineal de la curva de capacidad y coeficientes de corrección).

1.3.3.2. Análisis Dinámico

Para estudiar el comportamiento de las estructuras superando el rango elástico, se emplea un ensayo de desplazamiento incremental que pueden ser monotónicos o cíclicos, para este punto se explicará el análisis Pushover, la cual se utiliza el modelo de rótulas.

Metodología del análisis Pushover y modelo de Rótulas.

El método Pushover (análisis estático no lineal) implica la aplicación gradual de cargas laterales crecientes hasta alcanzar un desplazamiento objetivo específico, para este análisis se necesita realizar estos pasos.

- Se define un caso de no lineal correspondiente a la carga viva y muerta.
- Se define otro caso no lineal asociado al patrón de carga.
- Se define un punto de control para monitorear el desplazamiento.
- Se aplica las rótulas plásticas en los elementos estructurales FEMA 365 o ASCE 41-13, como se muestra en la **Figura 18**.

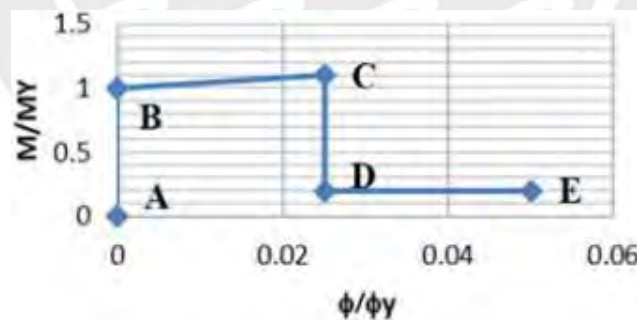


Figura 18: Diagrama momento-curvatura de una rótula plástica

Fuente: FEMA-365, 2000

- Se obtiene el patrón de rótulas plásticas y la curva de capacidad (**Figura 19**).

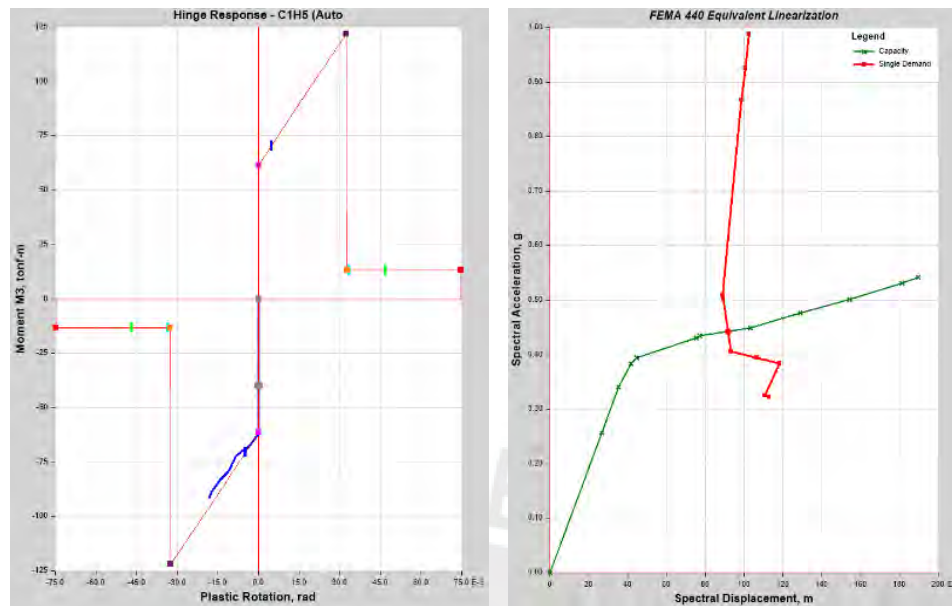


Figura 19: Rótulas plásticas y la curva de capacidad

Derechos reservados

- Se obtiene desempeño estructural usado el Fema 365 (**Figura 20**).

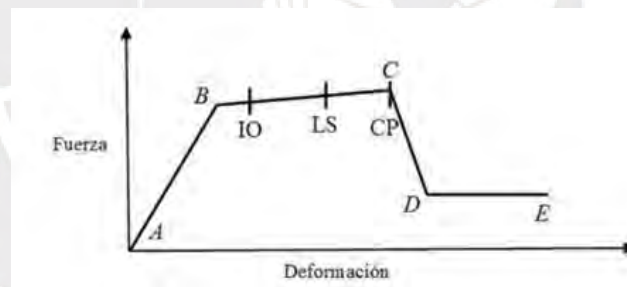


Figura 20: Niveles de comportamiento estructural (o niveles de desempeño) en las rótulas plásticas

Fuente: FEMA-365, 2000

1.3.3.3. Describir la señal de análisis

Para el modelo del ejemplo voy a utilizar el acelerograma “El Centro Earthquake - 1940” registrado en el Valle Imperial, en el sureste de California del Sur, esta señal sísmica presenta una aceleración del pico máxima de 0.3g y una duración sísmica de 40 segundos (**Figura 21**).

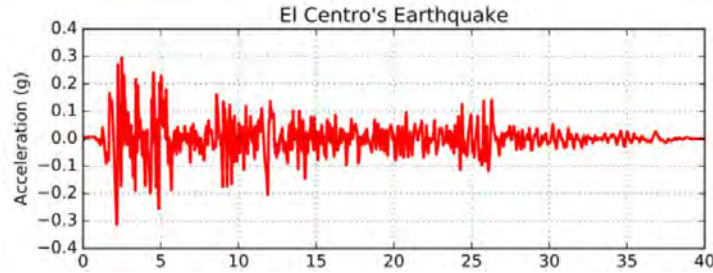


Figura 21: El Centro Earthquake - 1940

Derechos reservados

1.4. Análisis Dinámico Incremental (IDA)

El IDA es una metodología que sirve para ver el daño de la estructura en diferentes niveles de intensidad sísmica.

1.4.1. Generalidades del IDA

Se mostrará unos conceptos importantes para entender la metodología del análisis dinámico incremental.

- **Medida de Intensidad (IM)**

El IM puede ser medido como PGA (Aceleración de Pico Máximo), PGV (velocidad del Pico Máximo), etc.; obtenidas del registro sísmico.

- **Medida de Daño / Medida de la Respuesta de la Estructura (MD)**

El MD puede ser registrada según el daño que ha tenido la edificación antes un movimiento sísmico, este MD se puede presentar como la fuerza cortar en la base, la deriva máxima, máxima aceleración en planta, etc.

- **Factor de Escala**

El factor de escala sirve para representar varios niveles de intensidad a partir de un registro sísmico, esto se puede realizar modificando la amplitud de la aceleración mediante una multiplicación escalar uniforme a la historia de aceleración en el tiempo.

1.4.2. Metodología del IDA

La metodología consiste en realizar múltiples análisis tiempo-historia en diferentes niveles intensidad sísmica, las cuales va ser sometidas a la edificación con el fin de crear las curvas IDA.

1.4.3. Ejemplo del IDA

Para el ejemplo del IDA se utilizará el ejemplo del capítulo 2.3.1. el cual está siendo sometida al sismo “El Centro Earthquake - 1940”. Se procederá a identificar el PGA del acelerograma mencionado, luego se realiza un escalamiento al registro sísmico a una escala de 0.1g, 0.25g, 0.45g, 1.5 g, también, se procede a realizar un análisis dinámico no lineal de estructura utilizando los registros sísmicos escalados.

Se obtiene las respuestas de la estructura se procede a crear la curva IDA, relacionando la medida de la intensidad con la respuesta de la estructura (**Figura22**).



Figura 22: Diagrama de curva IDA - El Centro Earthquake-

Derechos reservados

Para lograr entender el comportamiento de la edificación aislada es necesario una cantidad considerable de registro sísmicos, con el fin de obtener una mejor exactitud del análisis, en la **Figura 23** se observa múltiples curvas IDA con 14 registro sísmicos.

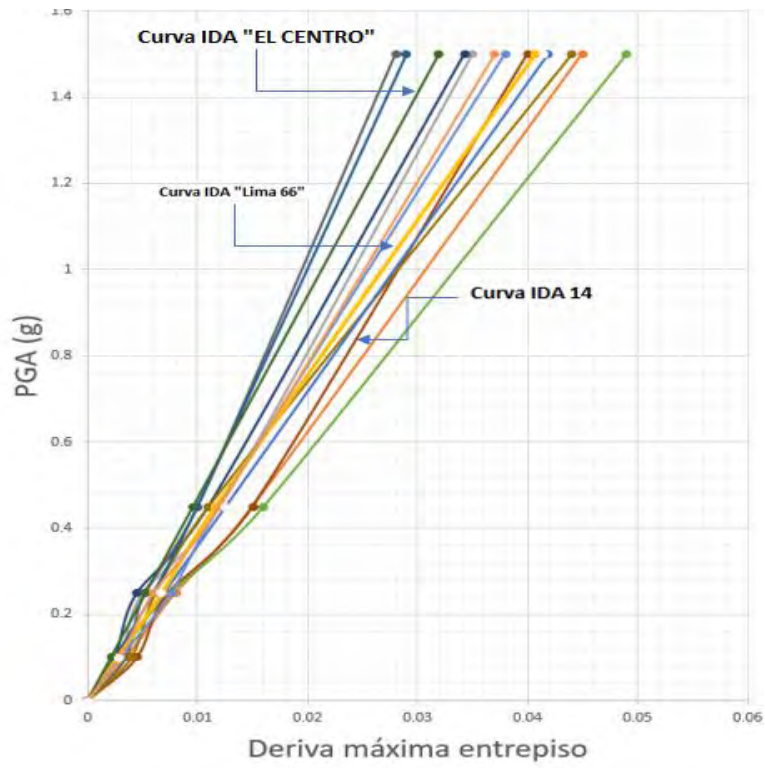
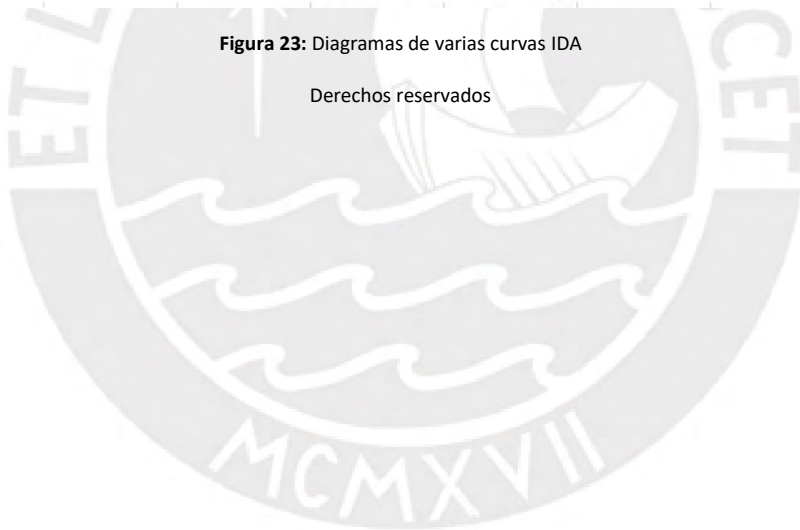


Figura 23: Diagramas de varias curvas IDA

Derechos reservados



CAPITULO II: ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR CON AISLAMIENTO SÍSMICO

2.1. Descripción del caso de estudio

Para el modelo caso de estudio se eligió un modelo de vivienda típica multifamiliar, como se puede apreciar en la **Figura 24**. El sistema estructural del edificio multifamiliar aislado está compuesto por pórticos de concreto armado, de 5 niveles típicos sin sótano, ubicado en el Lima – Perú (Lima Metropolitana) con un área de 650 m², altura total del edificio es 15 m, con una altura de entrepiso (1 al 5 piso) es de 3.00 m y presenta una planta irregular.

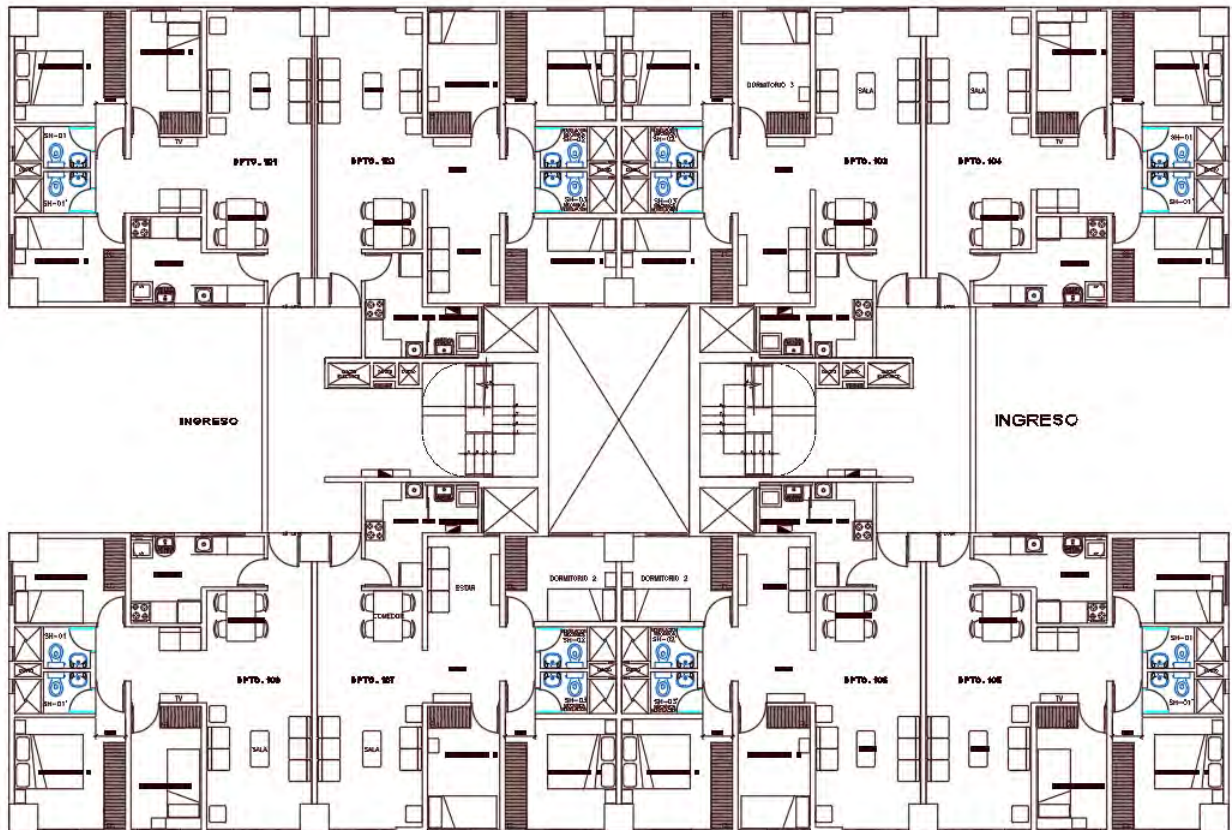


Figura 24: Plano de Arquitectura del edificio a analizar

Derechos reservados

2.2. Diseño preliminar del sistema de aislamiento

2.2.1. Predimensionamiento de la estructura

El sistema estructural de la edificación a estudiar está compuesto por pórticos de concreto armado, de cinco niveles típicos. Para el siguiente análisis se empleará un concreto con las siguientes características:

- Resistencia a la compresión ($f'c$) = 210 kg/cm²
- Módulo de Poisson = 0.15
- Módulo de elasticidad (E) = 15000 $\sqrt{f'c}$ kg/cm²

Para realizar el predimensionamiento se procede a realizar una idealización de la planta de típica (Figura 25).

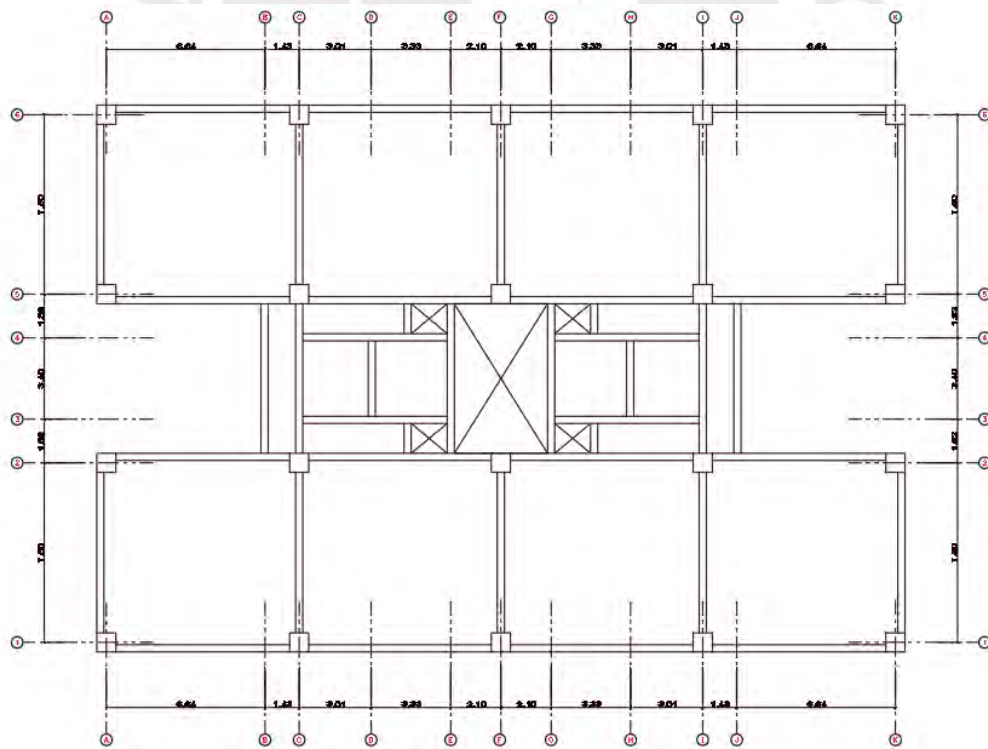


Figura 25: Planta típica de la estructura

Derechos reservados

Losa maciza

Para las losas macizas el predimensionamiento está regido por la relación “perímetro” /180, para este caso se toma la sección más grande para el diseño (**Figura 26**).

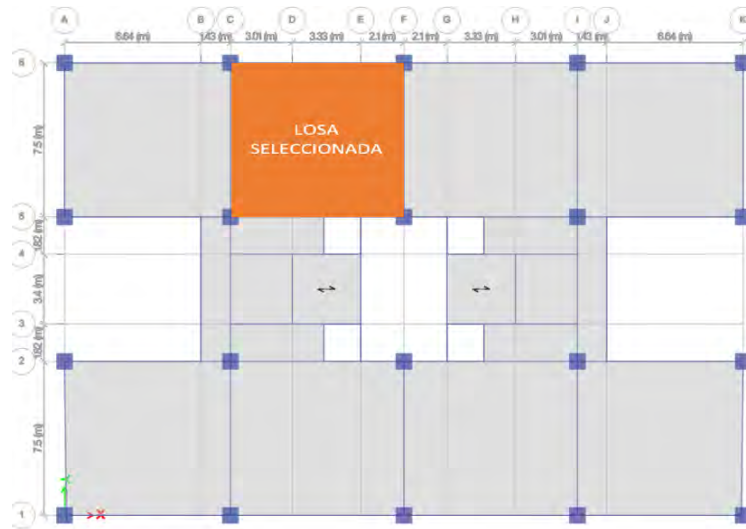


Figura 26: Selección de la losa

Derechos reservados

$$\text{Ancho de losa} = \frac{\text{Perímetro}}{180} = \frac{(8.44*2)+(7.50*2)}{180} = 0.18 \text{ m}$$

Tras el cálculo se obtuvo un ancho de losa de 0.18 m, para evitar problemas con los baños y mantener un espesor uniforme, se optó por redondear el ancho de losa a 0.20 m.

Vigas

Las vigas se predimensionaron considerando que el peralte debe de estar en el orden de 1/10 o 1/12 de la luz libre. Las vigas del edificio en estudio son del orden de 7.65 m de longitud, con el fin de mantener la uniformidad se tomará la longitud más desfavorable:

Viga para una luz de 7.65 m

$$h = \frac{L_n}{10} = \frac{765}{10} = 76.5 \text{ cm} \quad \text{o} \quad h = \frac{L_n}{12} = \frac{765}{12} = 63.75 \text{ cm}$$

→ **h = 70 cm**

Para calcular el ancho de las vigas es necesario que este entre el orden de 0.3h o 0.5h:

$$b = 0.3 \times h = 0.3 \times 65 = 19.5 \text{ cm} \quad \text{o} \quad b = 0.5 \times h = 0.5 \times 70 = 32.5 \text{ cm}$$

→ **b = 30 cm**

Columnas

Se procedió a realizar el predimensionamiento donde el área requerida para la columna central será:

$$A_{\text{columna}} = \frac{P_{\text{servicio}}}{0.30 f_c}$$

$$P_{\text{servicio}} = \text{Número de pisos} \times \text{Área tributaria} \times \text{Carga unitaria}$$

Donde:

- Carga unitaria es basándose de un ratio típico para edificios de vivienda de 1 tonelada por metro cuadrado.

Para estandarizar el diseño se escogía el área tributaria más grande (**Figura 27**).

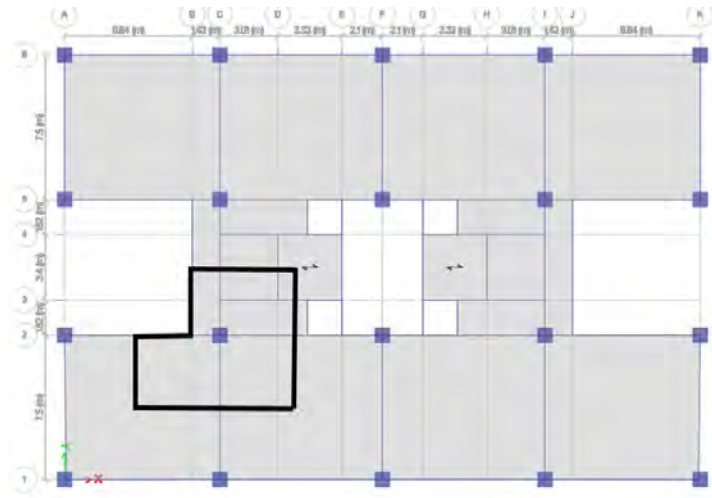


Figura 27: Selección del área tributaria

Derechos reservados

$$A_{\text{tributaria}} = 53 \text{ m}^2$$

$$P_{\text{servicio}} = 5 \times 53 \times 1 = 265 \text{ ton}$$

$$A_{\text{columna}} = \frac{265000}{0.30 \times 210} = 4206 \text{ cm}^2$$

Del área obtenida se tendría una sección de 65x65 cm²; no obstante, se optó por una sección de 70x70 cm² para cumplir posteriormente la condición de columna fuerte y viga débil exigido por la norma E0.60 en el capítulo 21 para edificios aporticados, adicionalmente al incrementar las secciones de las columnas, se reduce los desplazamientos de la estructura por el incremento de la rigidez.

2.2.2. Análisis del edificio de base fija

Se ha considerado las cargas de la losa maciza, piso terminado, tabiquería uniformemente distribuida, carga lineal asignado a la viga y la carga viva según el reglamento E0.20.

- **Carga Muerta**

| | |
|-------------------------|--------------------------|
| Peso de la losa maciza | 0.480 ton/m ² |
| Peso del piso terminado | 0.100 ton/m ² |

| | |
|-----------------------------------|--------------------------|
| Carga de tabiquería (Drywall) | 0.04 ton/m ² |
| Carga de tabiquería sobre viga | 0.621 ton-m |
| - <u>Carga Viva</u> | |
| Carga distribuida del piso 1 al 4 | 0.200 ton/m ² |
| Carga distribuida del techo | 0.100 ton/m ² |

Se empleó el software Etabs para llevar a cabo la creación del modelo de la estructura. (**Figura 28**); representando como elementos unidimensionales a las vigas y columnas; las losas macizas son representadas como áreas cargadas (elementos sin rigidez fuera de su plano).

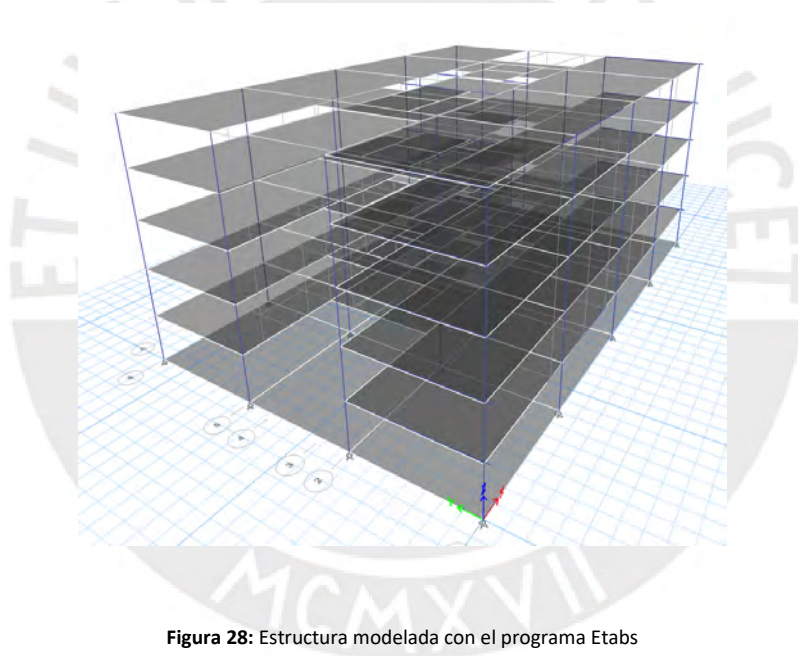


Figura 28: Estructura modelada con el programa Etabs

Derechos reservados

Se obtuvieron los tres periodos de vibración de la estructura de base fija junto al porcentaje de masa efectiva (**Tabla 2**).

Tabla 2: Tabla de periodo de vibración y partición modal

| Modo | Periodo (Seg) | UX | UY |
|------|---------------|-----|-----|
| 1 | 0,727 | 0% | 82% |
| 2 | 0,682 | 83% | 0% |
| 3 | 0,211 | 0% | 11% |
| 4 | 0,203 | 11% | 0% |

Derechos reservados

Al hacer el análisis espectral elástico del edificio de base fija considerando el espectro de la norma E.031 (terremoto de 2500 años) se obtuvieron las derivas **Figura 29**. Los valores máximos de la deriva en X e Y fueron 13.33‰ y 14.06‰.

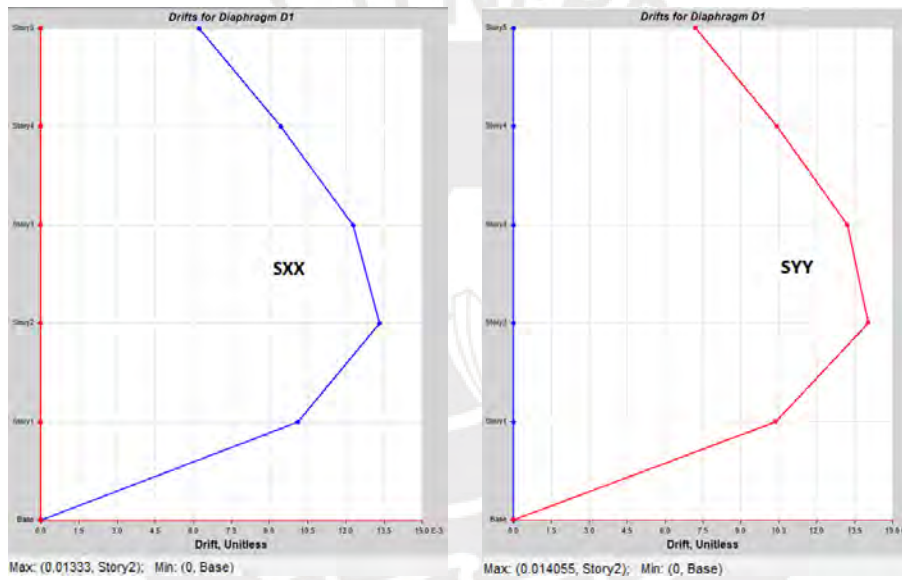


Figura 29: Deriva de la estructura de base fija

Derechos reservados

2.2.3. Cálculo de rigidez del sistema de aislamiento

Se partió con un periodo objetivo igual a 3 veces el periodo de base fija. Considerando que la super estructura es indeformable respecto al sistema de aislamiento se puede usar un sistema de un grado de libertad (**Figura 30**). Se procedió a obtener el valor de K_b , para esto fue necesario calcular la suma de masas del nivel de base y de la super estructura ($m_s+m_b = 449 \text{ tonn/m}$).

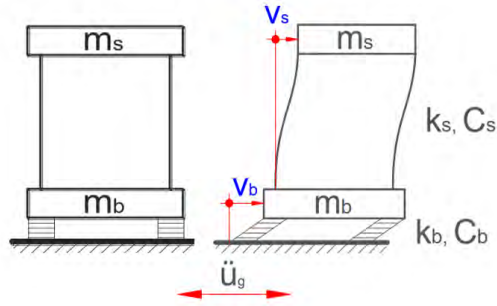


Figura 30: Modelo de un sistema de dos grados de libertad

Adaptado de: Design of Seismic Isolated Structures from Theory to Practice (1999)

Se obtiene para la rigidez del sistema de aislamiento:

$$Kb = \frac{ms + mb}{\left(\frac{Tb}{2\pi}\right)^2} = 3726 \text{ Ton/m}$$

Al hacer el análisis espectral del edificio aislado se obtuvieron derivas de 3.31‰ y 3.75‰. La deriva en Y resultó mayor a lo permitido por la norma E.031. Con el fin de garantizar que el sistema funcione correctamente al considerar la variabilidad en los dispositivos (valores lambda) al desarrollar el análisis tiempo historia, se decidió lograr un sistema de aislamiento que satisfaga con sus valores nominales los requerimientos del análisis espectral (deriva máximo menor a 5 ‰).

Luego de varias iteraciones, el periodo objetivo se tuvo que crecer hasta 3.71 veces el periodo de base fija al cual correspondió la rigidez:

$$Kb = 2432 \text{ Ton/m}$$

Finalmente, considerando que son 20 dispositivos se obtiene para cada uno de ellos:

$$Kb_{1aislador} = 122 \text{ Ton/m}$$

2.2.4. Desplazamiento y cortante en el sistema de aislamiento en un modelo en 1GDL

El desplazamiento de la plataforma de aislamiento se estima usando un modelo de un grado de libertad con periodo igual al periodo objetivo ($T_b = 2.7$ seg) y un amortiguamiento del 15%.

El espectro elástico empleado para representar el peligro sísmico es el de la norma E.031, correspondiente a un sismo de 2500 años.

Los valores espectrales encontrados para 5% de amortiguamiento fueron:

$$S_a = 1.5 * c * Z * 981 = 227 \frac{cm}{seg^2} \quad S_d = \frac{S_a}{\left(\frac{2\pi}{T_b}\right)^2} = 42 \text{ cm}$$

El factor de reducción por amortiguamiento (BM) se estimó empleando la expresión de Newmark como:

$$BM = \frac{1.65}{2.31 - 0.41 * \ln(\beta D)} = 1.38$$

Finalmente, el desplazamiento del sistema de aislamiento (DM) quedó definido como:

$$DM = \frac{S_d}{BM} = 30.5 \text{ cm}$$

Para este valor de desplazamiento y el K_b , la fuerza cortante se estima como:

$$Cortante \text{ estatica} = DM * K_b = 743 \text{ Tonf}$$

2.2.5. Análisis espectral de la estructura aislada

Se utilizó un modelo elástico y el espectro de la norma E.031 (sismo con un $T_R = 2500$ años). En cada dirección de análisis se consideró el 100% y 30% de los valores espectrales en la dirección de análisis y perpendicular respectivamente (**Figura 31**).

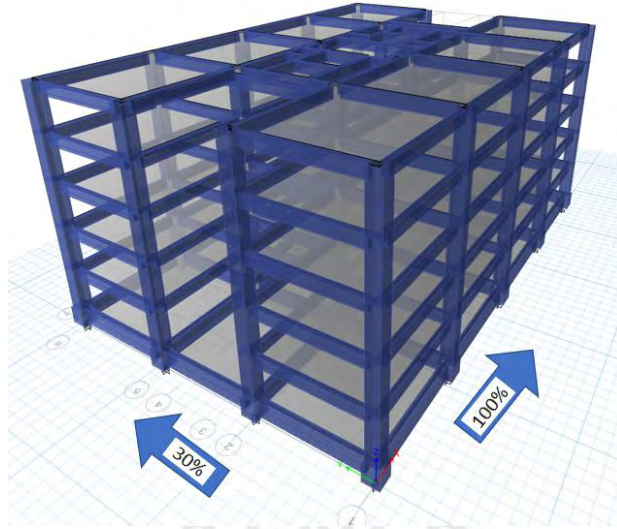


Figura 31: Modelo de la estructura con aisladores

Fuente: CISMID

Las fuerzas cortantes de entre piso de la estructura aislada (**Figura 32**), los valores para la interfaz de aislamiento fueron de 722 Tonf y 718 Tonf para las direcciones X e Y respectivamente.

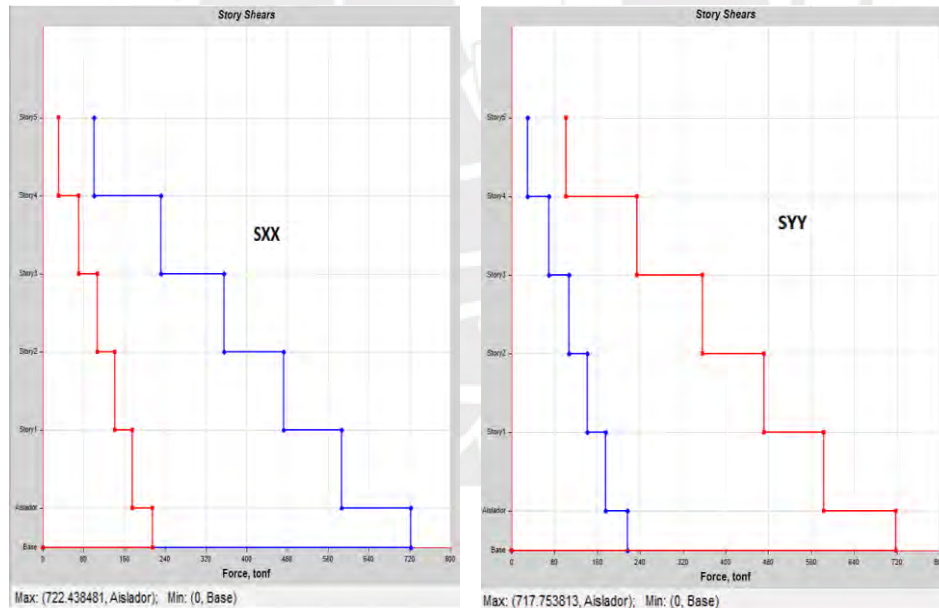


Figura 32: Cortante de la estructura aislada para la dirección X-X y la dirección Y-Y

Derechos reservados

Revisión de deriva del análisis espectral

Se obtuvieron las derivas (**Figura 33**) cuyos valores máximos de la deriva en X e Y fueron 2.45‰ y 2.76‰.

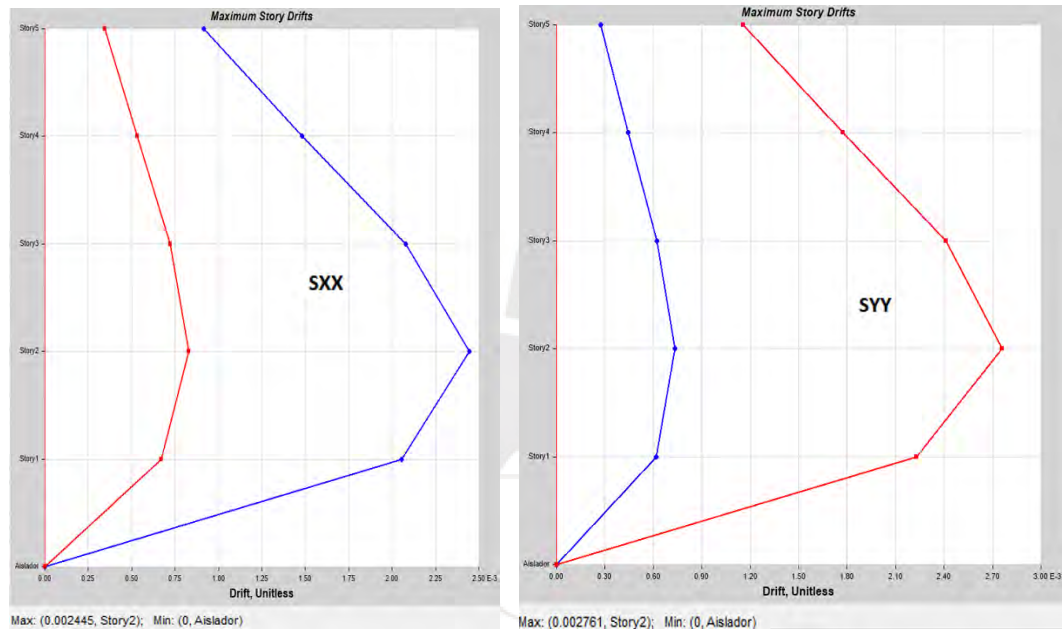


Figura 33: Deriva de la estructura aislada por piso para la dirección X-X y la dirección Y-Y

Derechos reservados

Aceleración del análisis espectral

Se obtuvieron las aceleraciones máximas mostradas en la **Tabla 3** cuyos valores máximos de la aceleración en X e Y fueron 0.186G y 0.189G.

Tabla 3: Aceleraciones de piso para la dirección X-X y dirección Y-Y

| Story | ANÁLISIS ESPECTRAL | Story | ANÁLISIS ESPECTRAL |
|--------------|--------------------|--------------|--------------------|
| | Acele X-X (G) | | Acele Y-Y (G) |
| 5 | 0.186 | 5 | 0.189 |
| 4 | 0.177 | 4 | 0.177 |
| 3 | 0.168 | 3 | 0.167 |
| 2 | 0.164 | 2 | 0.163 |
| 1 | 0.166 | 1 | 0.166 |
| Base aislada | 0.169 | Base aislada | 0.169 |

Derechos reservados

2.2.6. Registros sísmicos

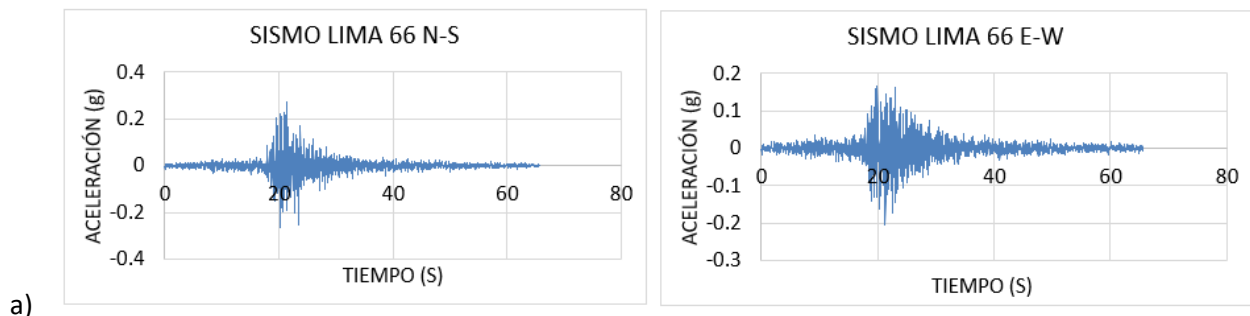
Se utilizó siete pares de registros sísmicos ocurridos en el Perú, en la **Tabla 4** se designó las ubicaciones, el registro, los valores PGA (dirección Norte-Sur y Este -Oeste), las magnitudes y las duraciones.

Tabla 4: Tabla de registro sísmicos

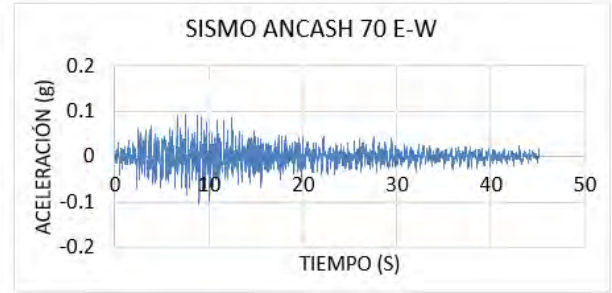
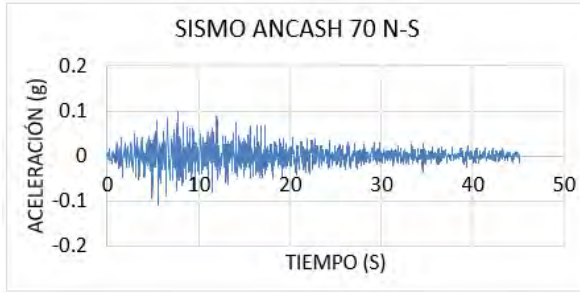
| UBICACIÓN | REGISTRO | PGA (g) | | Magnitud (Mw) | Duración (Seg) |
|-----------|------------|---------|------|---------------|----------------|
| | | N-S | E-W | | |
| LIMA | 17/10/1966 | 0.27 | 0.17 | 8.1 | 65 |
| ANCASH | 31/05/1970 | 0.11 | 0.10 | 6.6 | 45 |
| LIMA | 3/10/1974 | 0.19 | 0.16 | 7.7 | 98 |
| TACNA | 1/04/2014 | 0.07 | 0.07 | 8.2 | 152 |
| AREQUIPA | 17/07/2017 | 0.39 | 0.43 | 6.2 | 99 |
| MOQUEGUA | 1/10/2005 | 0.02 | 0.01 | 7.52 | 77 |
| ICA | 15/08/2007 | 0.06 | 0.05 | 7.9 | 326 |

Derechos reservados

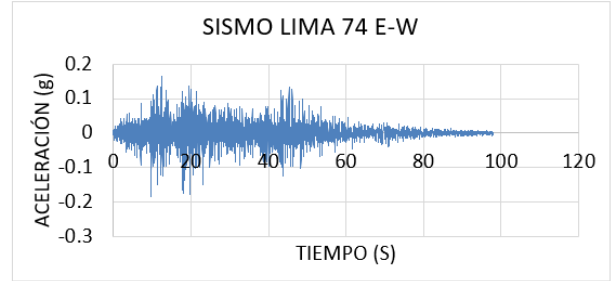
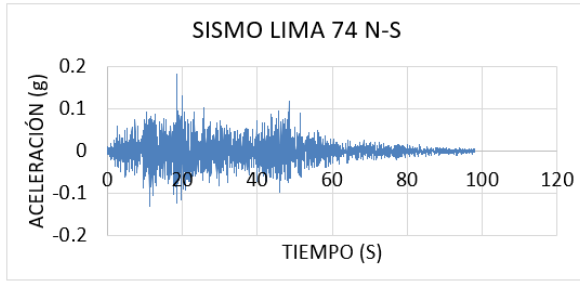
De la red acelerógrafos del CISMID/UNI se obtuvieron los registros sísmicos, en la **Figuras 34 (a-g)** se muestran los 7 grupos de registros en ambas direcciones.



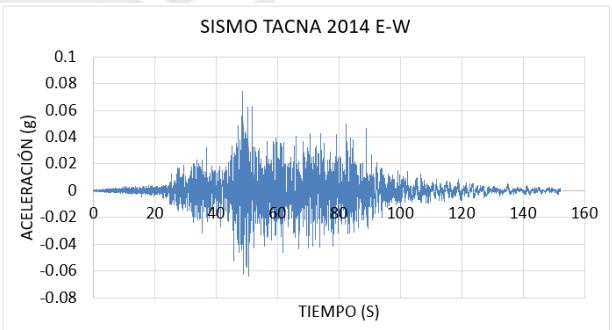
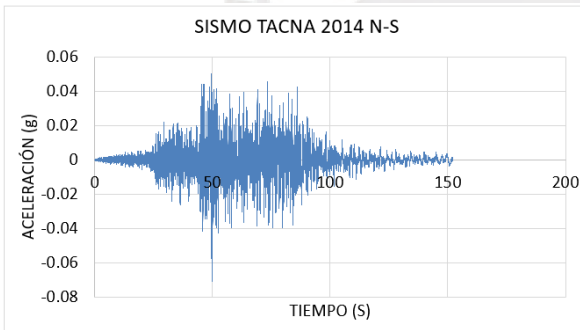
b)



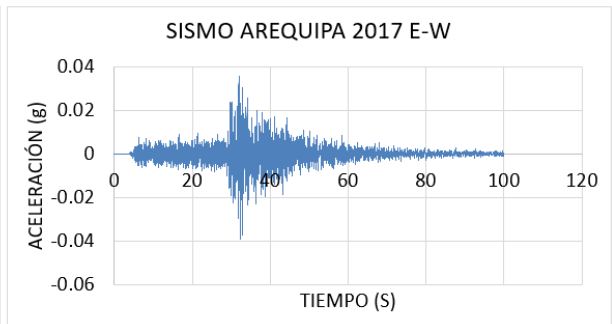
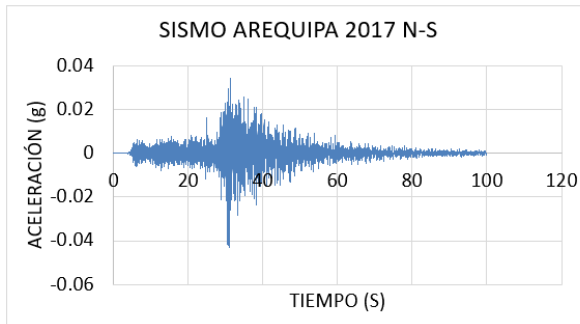
c)



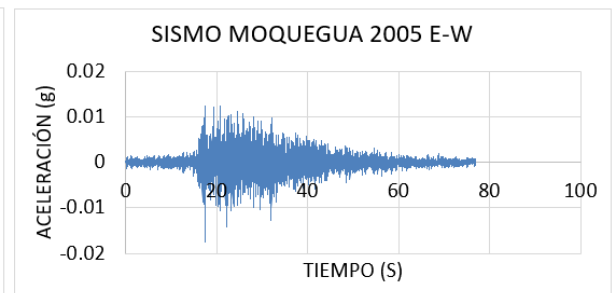
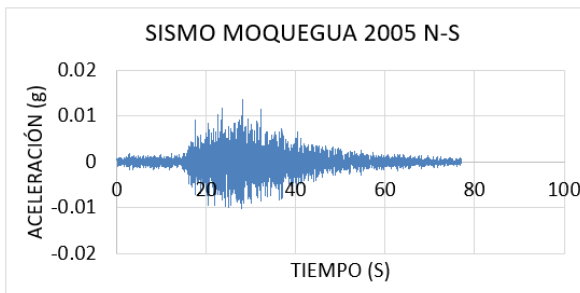
d)



e)



f)



g)

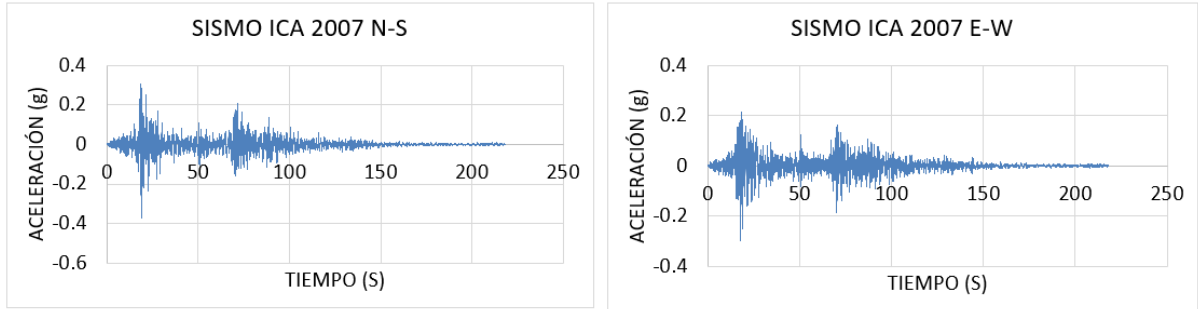
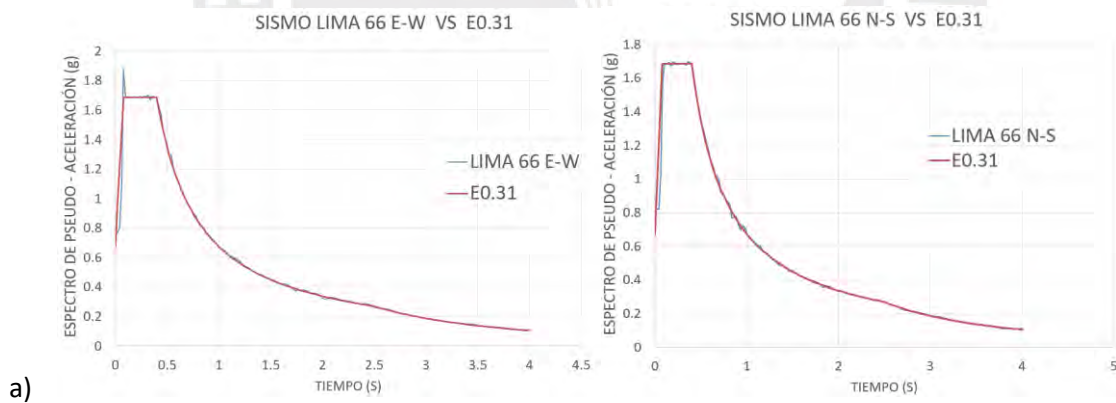


Figura 34: Registro de aceleraciones

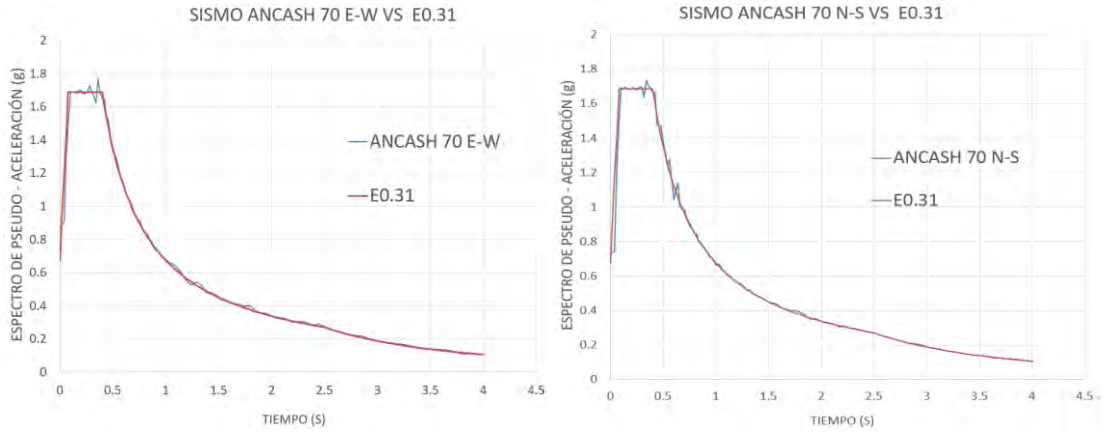
Fuente: CISMID

2.2.7. Espectro compatible de los registros sísmicos

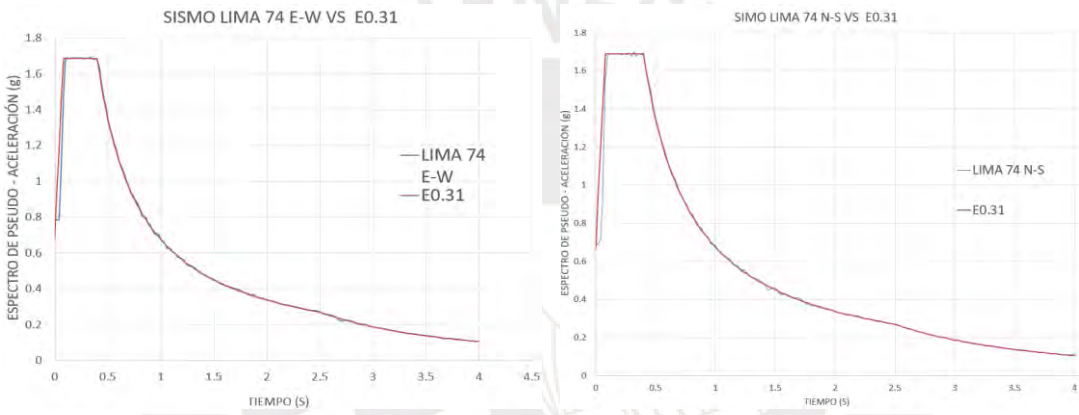
En este punto, se realizó el proceso de escalamiento a una aceleración de 0.675g para los registros sísmicos en ambas direcciones, obteniéndose mediante cálculo los espectros de respuesta para cada registro. En la **Figuras 35 (a-g)** se muestran los 7 grupos de espectros en ambas direcciones (N-S) y (E-W), comparando con el espectro de la norma E.031.



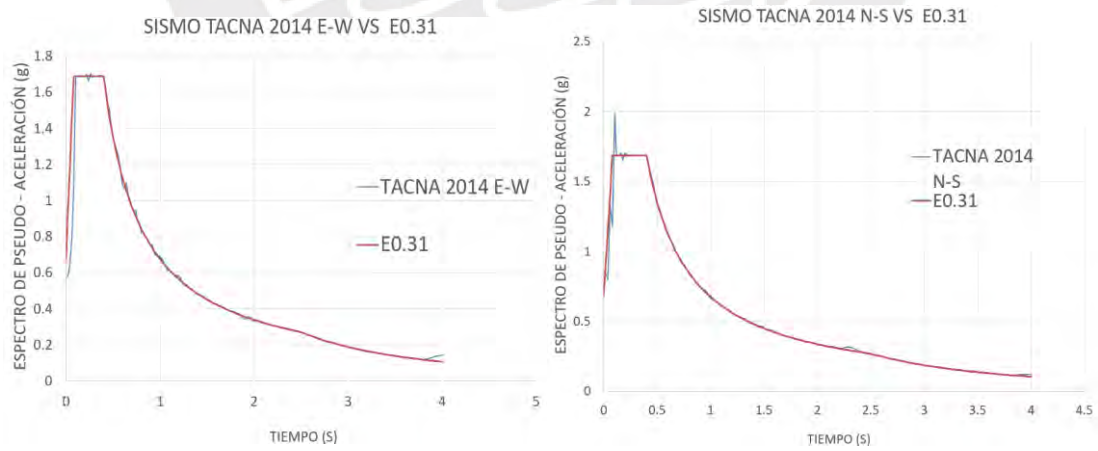
a)



b)



c)



d)

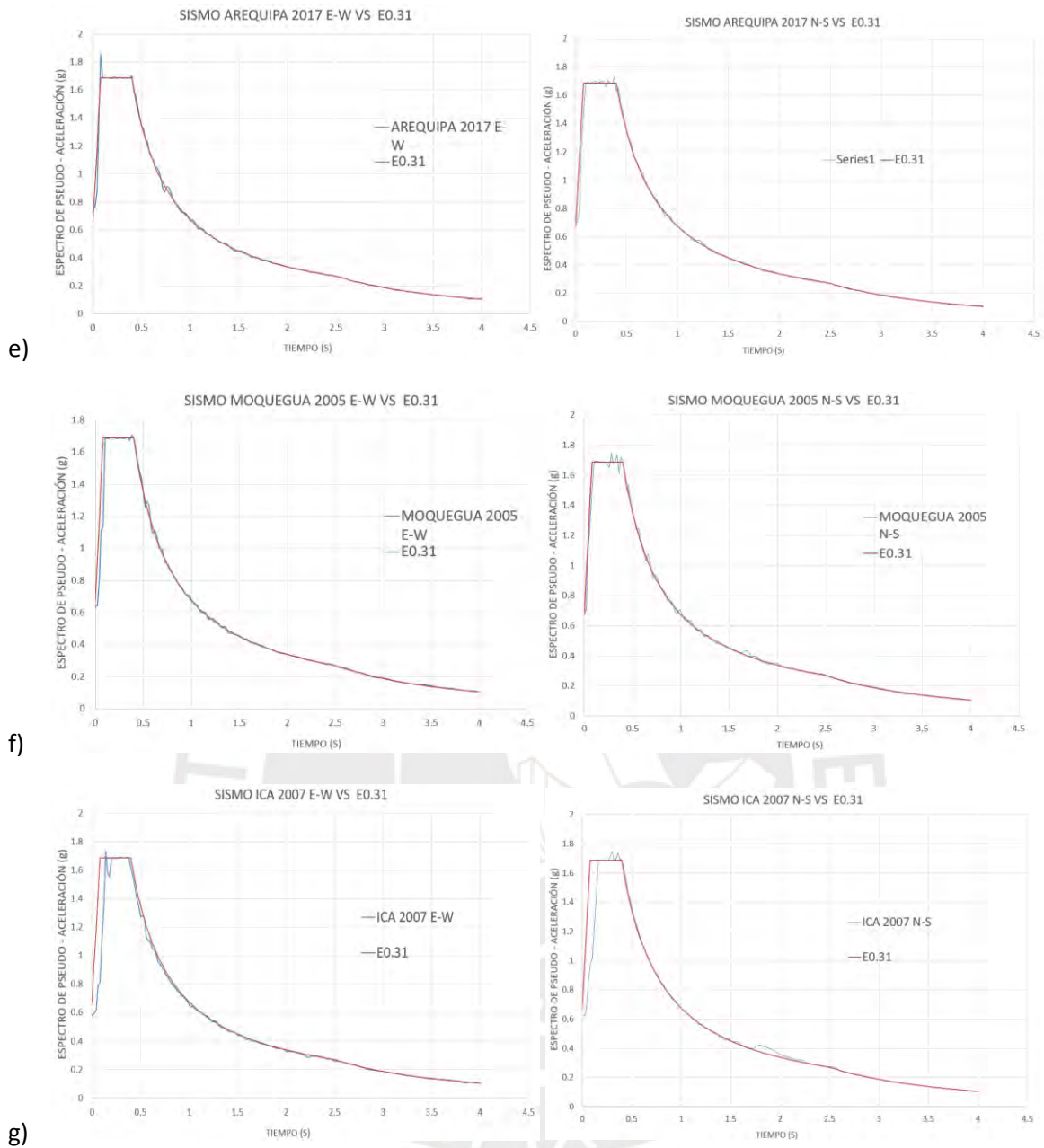


Figura 35: Espectro de registro sísmicos vs el Espectro de Pseudo-Aceleración de la E.031

Derechos reservados

Se realizó la combinación SRSS para cada grupo de espectros, considerando una combinación de 0.9 y 0.44 en la dirección de análisis y ortogonal. Se promedió las SRSS de las señales sísmicas (línea azul) y esta debe ser mayor que el espectro de diseño (línea roja punteada) en el intervalo de $0.2T_M$ y $1.25T_M$ (Figura 36).

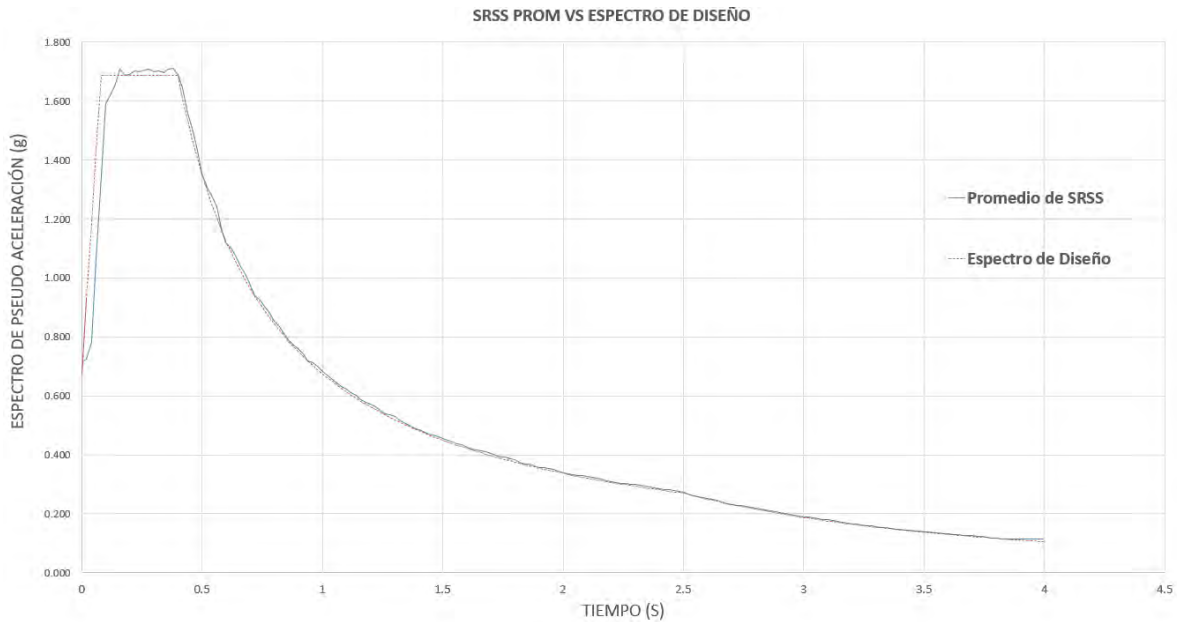


Figura 36: Combinación SRSS vs Espectro de diseño

Derechos reservados

2.3. Diseño Definitivo del sistema de aislamiento

2.3.1. Modelo Bilineal del dispositivo

Cálculo de parámetros de los aisladores en un modelo bilineal

El modelo no lineal se construye a través de los parámetros lineales del dispositivo, como son: rigidez equivalente ($K_{eff} = 122 \text{ tonf/m}$), la fracción de amortiguamiento ($\xi = 15\%$), el desplazamiento máximo ($D_m = 31 \text{ cm}$) y la relación de pendiente post elástica ($\alpha = 8$).

Se realizó un proceso iterativo (entre el modelo lineal equivalente y el modelo bilineal) para estimar el desplazamiento de fluencia, obteniéndose como valor final $D_y = 1.46 \text{ cm}$.

Finalmente, se obtuvieron los parámetros de los aisladores en un modelo bilineal los cuales son: Valores de rigidez post fluencia del aislador ($k_2 = 92 \text{ ton/m}$), la rigidez inicial ($k_1 = 734 \text{ ton/m}$), la fuerza de fluencia ($F_y = 11 \text{ ton}$) y la resistencia característica ($Q = 9.4 \text{ ton}$).

Factores de Variabilidad de los aisladores en un modelo bilineal

La variabilidad que se ha considerado corresponde a un fabricante de calidad reconocida internacionalmente. Cuyos valores de λ cumplen con la normativa E.031 para un aislador de alto amortiguamiento (λ máximo $K_d = 2$ y $Q_d = 1.7$, λ_{\min} K_d y Q_d son 0.8).

2.3.2. Análisis Tiempo Historia no lineal.

Se efectuó el análisis tiempo historia no lineal de la estructura aislada (nominal, lambda máximo y lambda mínimo), obteniéndose como resultado promedio de los desplazamientos, derivas, aceleración y fuerza cortante para cada caso. Estos valores sirvieron para verificar el cumplimiento del diseño del sistema de aislamiento con respecto a los parámetros de la norma E.031.

Desplazamiento

Se obtuvo como resultado el promedio de los desplazamientos máximos de la dirección X-X e Y-Y (Figura 37). Los valores obtenidos son: para las propiedades nominales ($D_x = 0.249$ m; $D_y = 0.254$ m), lambda máximo ($D_x = 0.207$ m; $D_y = 0.217$ m) y lambda mínimo ($D_x = 0.252$ m; $D_y = 0.254$ m).

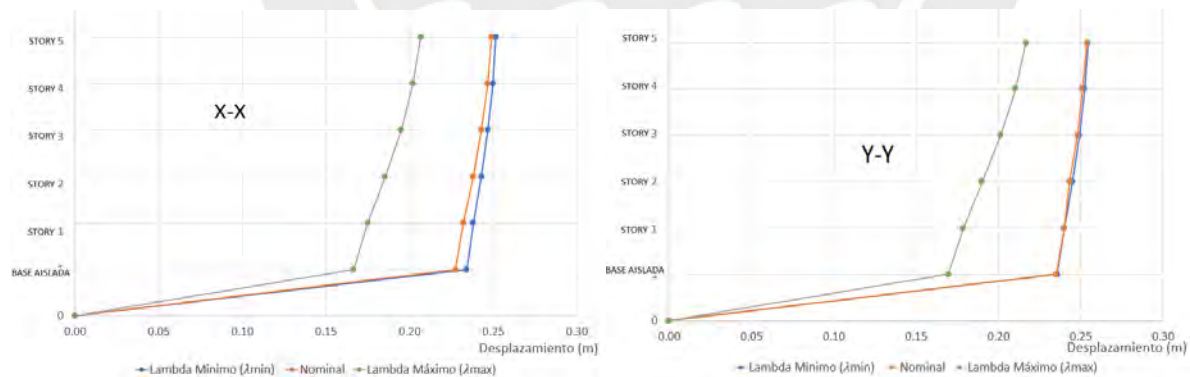


Figura 37: Desplazamiento máximos del análisis tiempo historia (λ_{\min} , propiedades nominales, λ_{\max}) en dirección X-X e Y-Y

Derechos reservados

Revisión de deriva

Se obtuvo como resultado el promedio de las derivas máximas de la dirección X-X e Y-Y (**Figura 38**). Los valores obtenidos son: para las propiedades nominales ($\text{Driff}_x = 2.55\%$; $\text{Driff}_y = 3.02\%$), lambda máximo ($\text{Driff}_x = 4.07\%$; $\text{Driff}_y = 4.20\%$) y lambda mínimo ($\text{Driff}_x = 2\%$; $\text{Driff}_y = 2.37\%$).

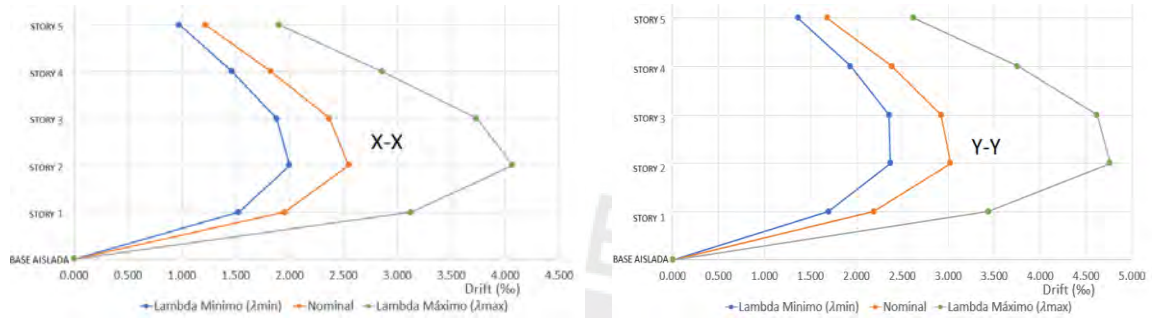


Figura 38: Derivas máximas del análisis tiempo historia (λ_{\min} , propiedades nominales, λ_{\max}) en dirección X-X e Y-Y

Derechos reservados

Se observa que las derivas del modelo de lambda máximo (tanto en dirección X e Y) son menores al límite máximo propuesto por la norma E.031 ($\text{Driff}_{\max} = 5\%$).

Aceleración con excentricidad

Se obtuvo como resultado el promedio de las aceleraciones máximas de la dirección X-X e Y-Y (**Figura 39**). Los valores obtenidos son: para las propiedades nominales ($\text{Acel}_x = 0.25\text{G}$; $\text{Acel}_y = 0.25\text{G}$), lambda máximo ($\text{Acel}_x = 0.42\text{G}$; $\text{Acel}_y = 0.43\text{G}$) y lambda mínimo ($\text{Acel}_x = 0.20\text{G}$; $\text{Acel}_y = 0.21\text{G}$).

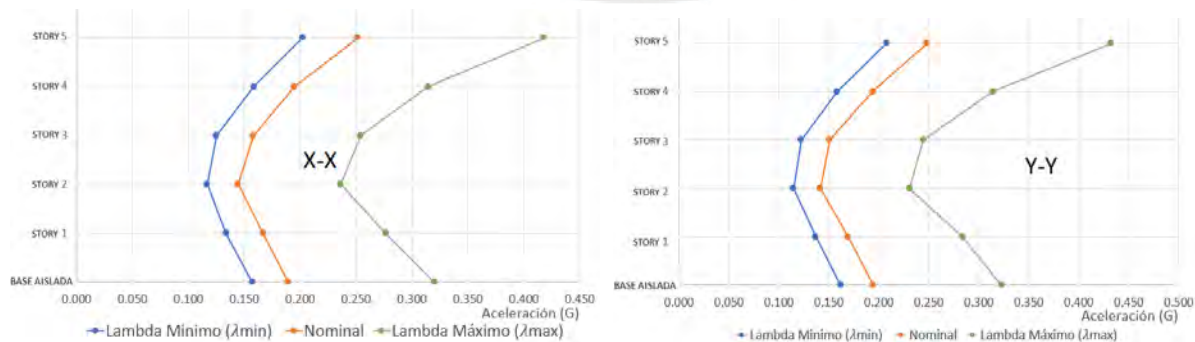


Figura 39: Aceleración de la estructura aislada del análisis tiempo historia no lineal en dirección X-X e Y-Y

Derechos reservados

Fuerzas cortantes

Se obtuvo como resultado el promedio de las fuerzas cortantes máximas de la dirección X-X e Y-Y (Figura 40). Cuyos valores obtenidos son: para las propiedades nominales ($F_{cx}= 606 \text{ Ton}$; $F_{cy}= 582 \text{ Ton}$), lambda máximo ($F_{cx}= 992 \text{ Ton}$; $F_{cy}= 943 \text{ Ton}$) y lambda mínimo ($F_{cx}= 484 \text{ Ton}$; $F_{cy}= 475 \text{ Ton}$).

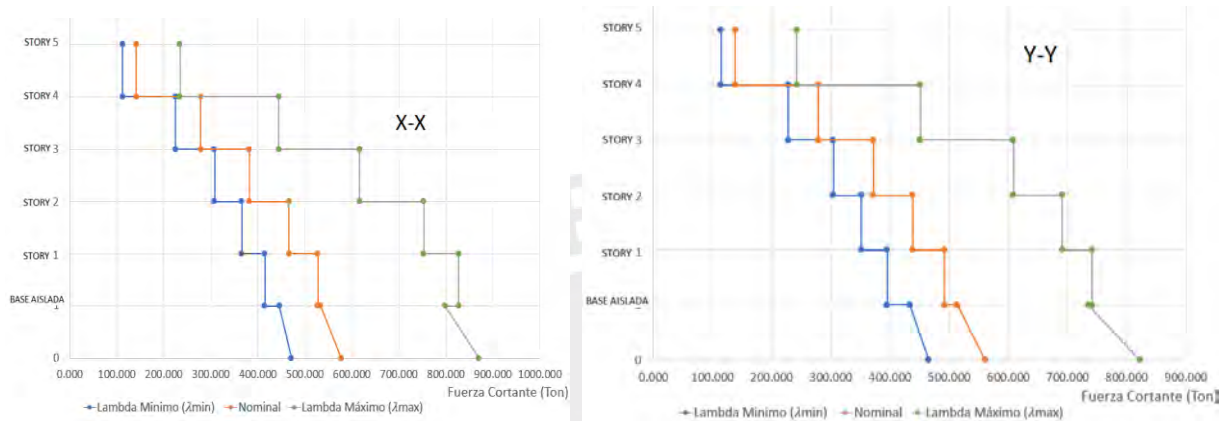


Figura 40: Fuerza Cortante de la estructura aislada del análisis tiempo historia no lineal en dirección X-X e Y-Y

Derechos reservados

2.3.3. Especificaciones del sistema de aislamiento

Se generaron las curvas de histéresis del sistema de aislamiento para los tres modelos (nominal, lambda máximo y lambda mínimo), con el propósito de determinar los valores de amortiguamiento y la rigidez del aislador (Tabla 5).

Tabla 5: Propiedades de los aisladores del caso tiempo historia no lineal

| PROPIEDADES | Lambda min | Nominal | Lambda max |
|--|------------|---------|------------|
| Despl PROM TH S.A. (m) | 0,23 | 0,23 | 0,17 |
| Fuerza PROM TH S.A. (tonf) | 471,25 | 577,35 | 869,71 |
| Desplazamiento de fluencia (m) | 0,015 | 0,015 | 0,012 |
| u | 16,07 | 15,61 | 13,46 |
| Q | 7,48 | 9,36 | 15,90 |
| alpha (tonf) | 0,125 | 0,125 | 0,125 |
| Amortiguamiento Equivalente | 0,18 | 0,18 | 0,20 |
| K efectiva del sistema de aislamiento (tonf/m) | 2012,91 | 2537,81 | 5220,56 |
| K efectiva efectiva para 1 aislador (tonf/m) | 100,65 | 126,89 | 261,03 |

Derechos reservados

Fuerza Restitutiva

El sistema de aislamiento tiene menor rigidez post fluencia, el caso crítico para verificar la fuerza restitutiva es para el lambda mínimo. La norma E.031 indica para realizar el cálculo la fuerza lateral correspondiente al 50% del desplazamiento máximo debe ser mayor al 0.025P (2.5% del peso de la estructura sobre la interfaz de aislamiento) **Figura 41.**

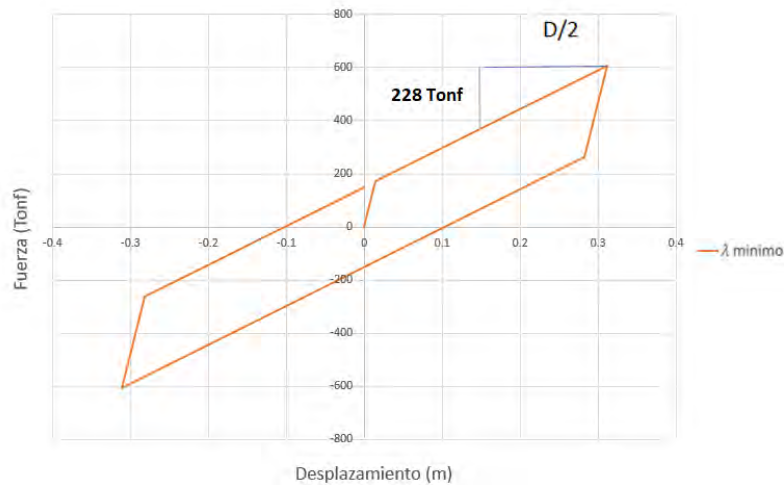


Figura 41: Curva de histéresis del sistema de aislamiento para el modelo de Lambda mínimo

Derechos reservados

Obteniendo como resultado una fuerza restitutiva $F = 228$ Tonf (5.16% del peso de la estructura); mayor al mínimo requerido de la norma E.031.

2.4. Diseño Definitivo del sistema estructural

2.4.1. Fuerza cortante de diseño

La fuerza cortante máximo promedio del análisis tiempo historia no lineal de la super estructura fue de 827 tonf; para un valor de $R = 2$ se obtiene 414 tonf. La fuerza cortante mínima de diseño fue 353 tonf (80% del método estático). El edificio se diseñó para 414 tonf de resistencia lateral.

Se elaboro un modelo elástico de 3 grados de libertad por piso para realizar el diseño. El movimiento sísmico fue representado por un Espectro de Pseudo Aceleración (5% de amortiguamiento),

las ordenadas espectrales se redujeron por el valor $\beta = 1.4$ (valor que corresponde al amortiguamiento equivalente 16.8 % del caso de lambda máximo), en la **Figura 42** se muestra el espectro del aislador ($R=1$) y el espectro de la super estructura ($R=2$).

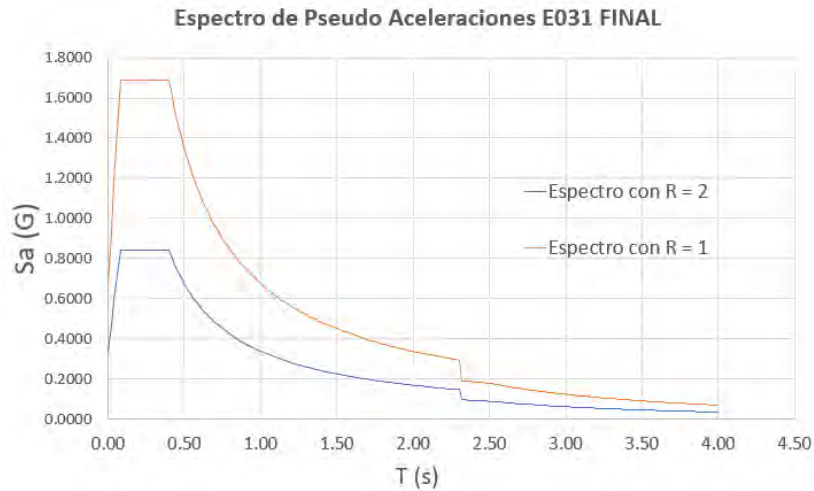


Figura 42: Espectro con $R = 1$ y $R = 2$

Derechos reservados

2.4.2. Diseño de la plataforma de aislamiento

Se realizó el diseño de la viga de la plataforma utilizando los factores de combinación de la norma E.031 y los parámetros de la norma E0.60; obteniendo el diseño de la viga permanente a la plataforma de aislamiento y el dado de concreto. (**Figura 43**).

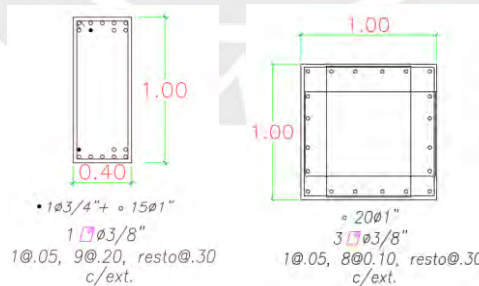


Figura 43: Diseño de la viga y dado de concreto de la plataforma

Derechos reservados

2.4.3. Diseño de la superestructura

Se realizó el diseño de la viga y columna de la super estructura utilizando los parámetros de la norma E0.60; obteniendo el diseño de la viga y columnas del primer nivel (**Figura 44**).

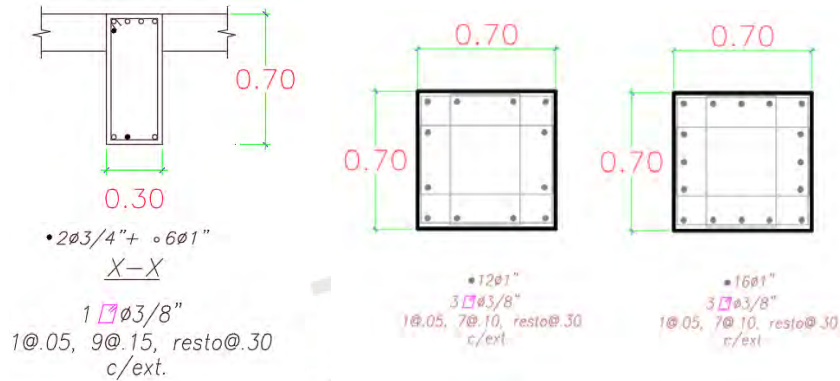


Figura 44: Diseño de la columna y la viga de la super estructura

Derechos reservados

CAPITULO III: EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO

Para realizar la evaluación del desempeño se realizó el IDA de la estructura asilada. Se utilizó el Hazus-MH-MR4 para para evaluar el desempeño de los elementos estructurales (límite de derivas) y no estructurales (límites de aceleración), también, se utilizó el ASCE para evaluar los límites de rotaciones inelásticas de los elementos estructurales.

3.1. Desarrollo del modelo no lineal del edificio

Para este punto se procedió a utilizar el modelo ya diseñado del capítulo 3, para las vigas se optó en por utilizar rótulas plásticas para obtener la gráfica de Momento – Curvatura de las secciones de las vigas (**Figura 45**), en el caso de las columnas se optó por utilizar fibras para el modelado.

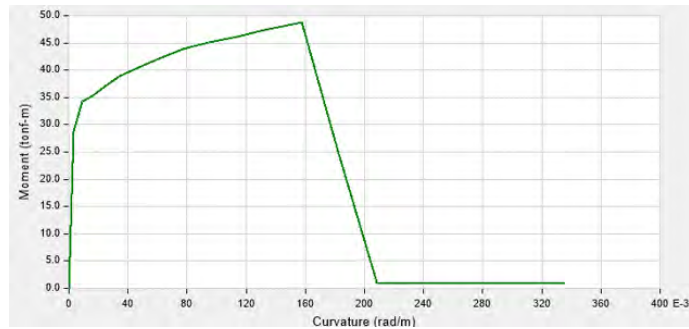


Figura 45: Diagrama Momento -Curvatura para la viga V6 (30x70) a 0 grados.

Derechos reservados

3.2. Análisis dinámico incremental

La metodología consiste en desarrollar múltiples análisis tiempo-historia en diferentes niveles de intensidad sísmica (0 a 0.675g) generadas por las rótulas plásticas de derivas y aceleración entre piso.

3.2.1. Registro Sísmicos

Para este punto se utilizará los registros sísmicos del Capítulo 3.3 (Tabla 6); posteriormente se realiza el escalonamiento y el espectro compatible de los registros sísmicos.

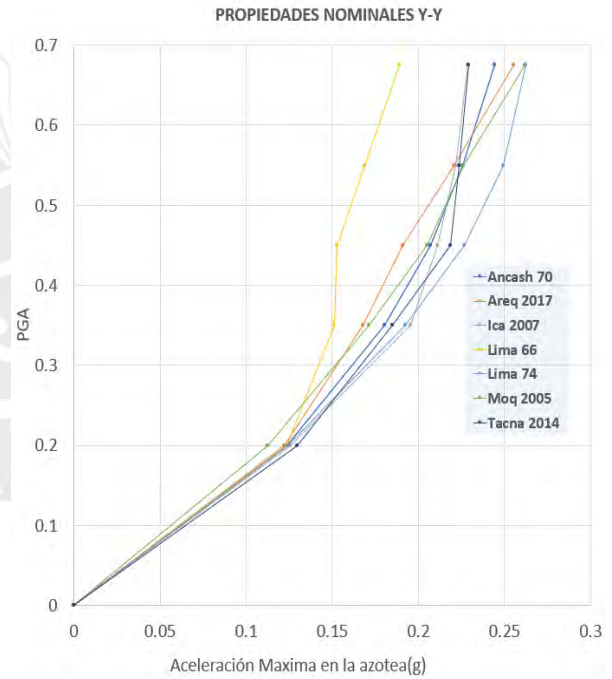
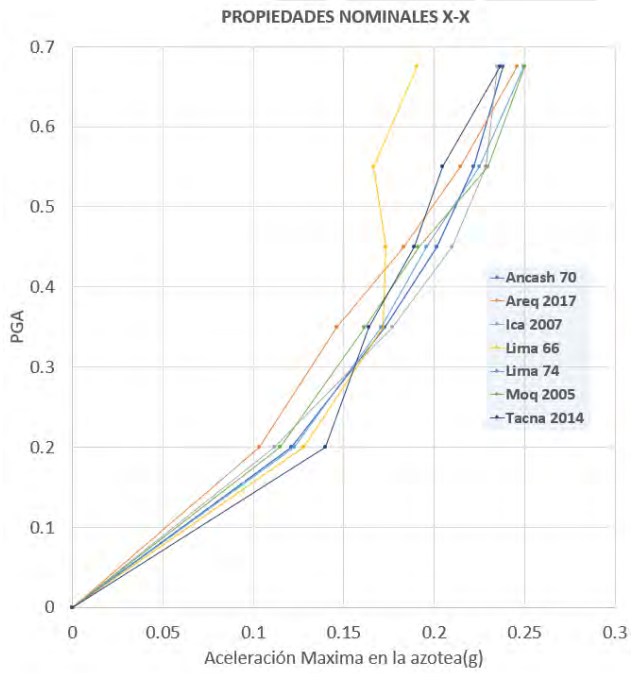
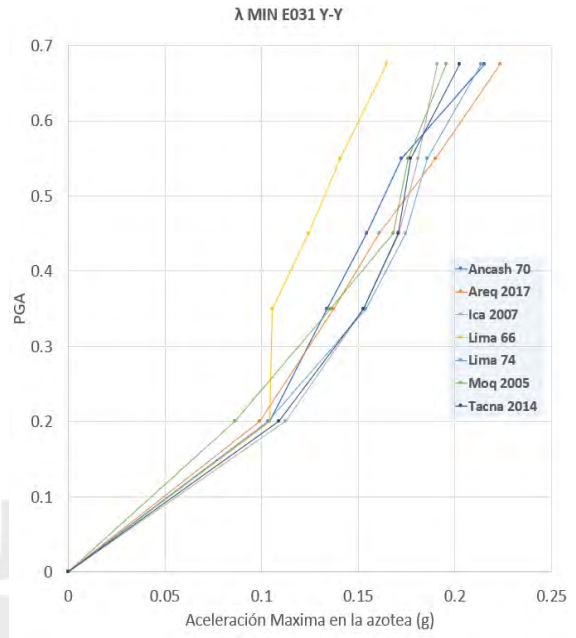
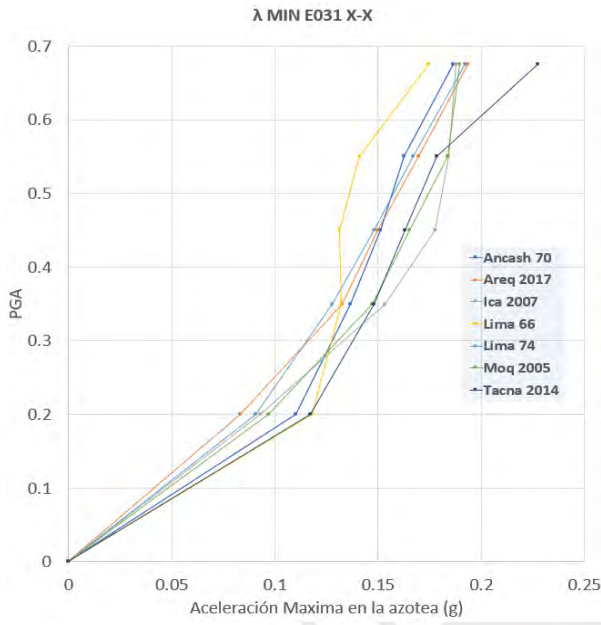
Tabla 6: Tabla de registro sísmicos

| REGISTRO | REGISTRO | PGA (g) | | Magnitud (Mw) | Duración (Seg) |
|----------|------------|---------|------|---------------|----------------|
| | | N-S | E-W | | |
| LIMA | 17/10/1966 | 0.27 | 0.17 | 8.1 | 65 |
| ANCASH | 31/05/1970 | 0.11 | 0.10 | 6.6 | 45 |
| LIMA | 3/10/1974 | 0.19 | 0.16 | 7.7 | 98 |
| TACNA | 1/04/2014 | 0.07 | 0.07 | 8.2 | 152 |
| AREQUIPA | 17/07/2017 | 0.39 | 0.43 | 6.2 | 99 |
| MOQUEGUA | 1/10/2005 | 0.02 | 0.01 | 7.52 | 77 |
| ICA | 15/08/2007 | 0.06 | 0.05 | 7.9 | 326 |

Derechos reservados

3.2.2. Curvas Ida de Rótulas plásticas de deriva y aceleración de entrepiso.

En este punto de la tesis se utilizó la metodología presentada en el Cap. 2.4.2. utilizando casos de integración directa no lineal. La Figura 46 muestra las curvas IDA de aceleraciones del quinto piso del edificio (azotea).



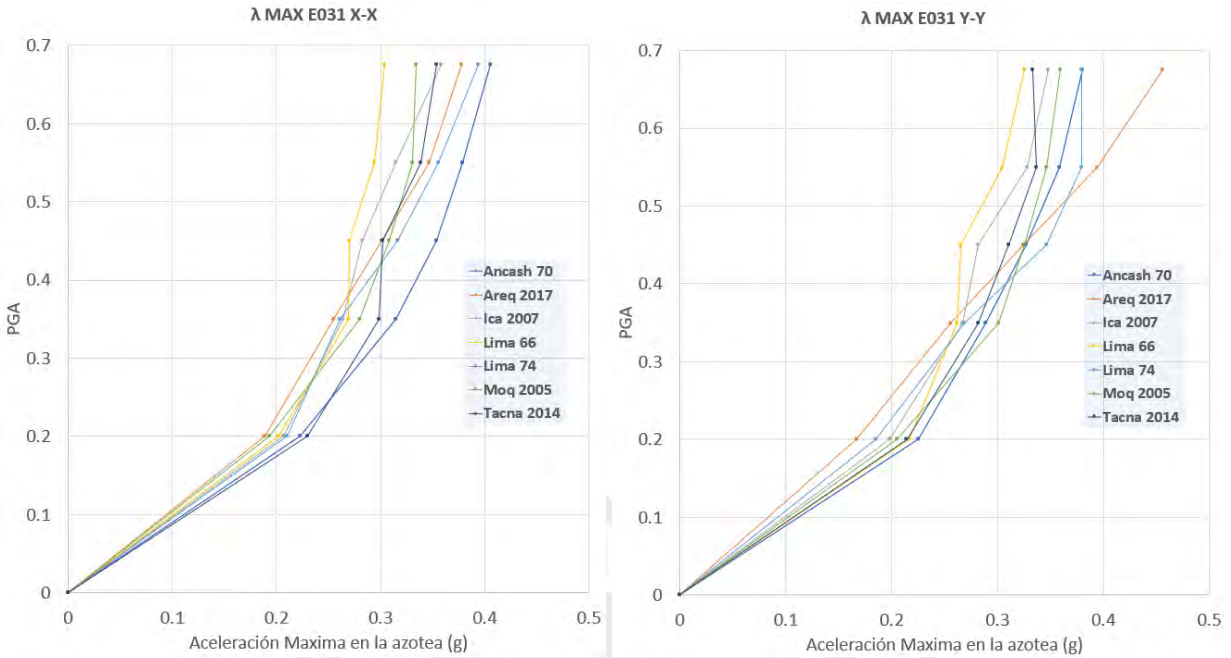
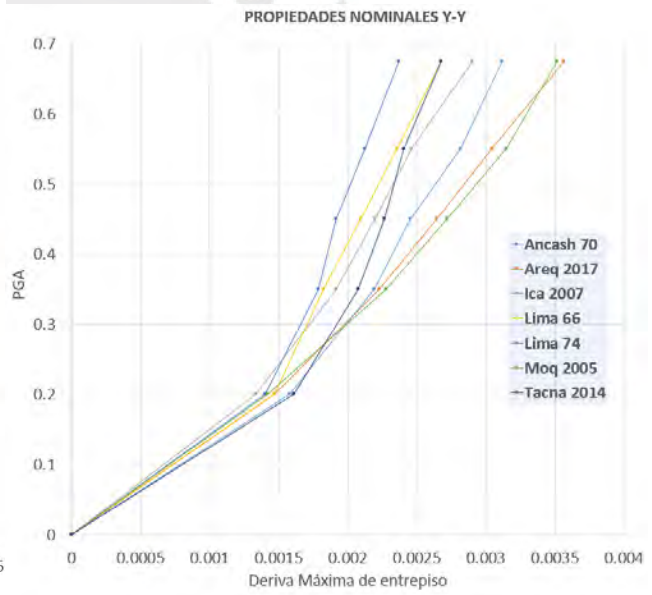
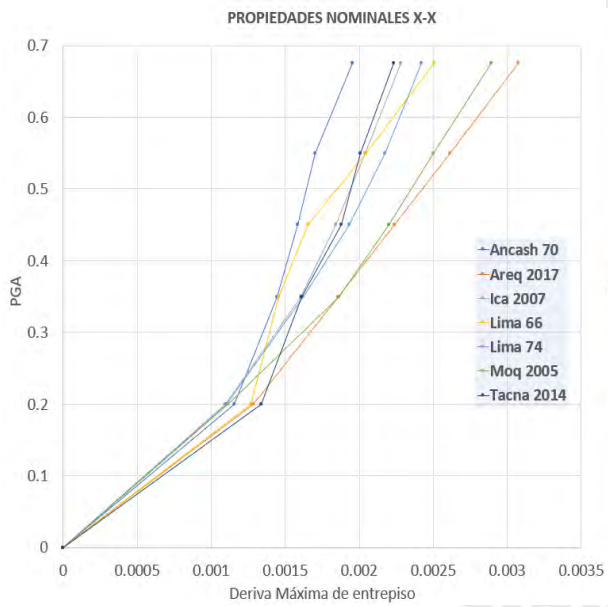
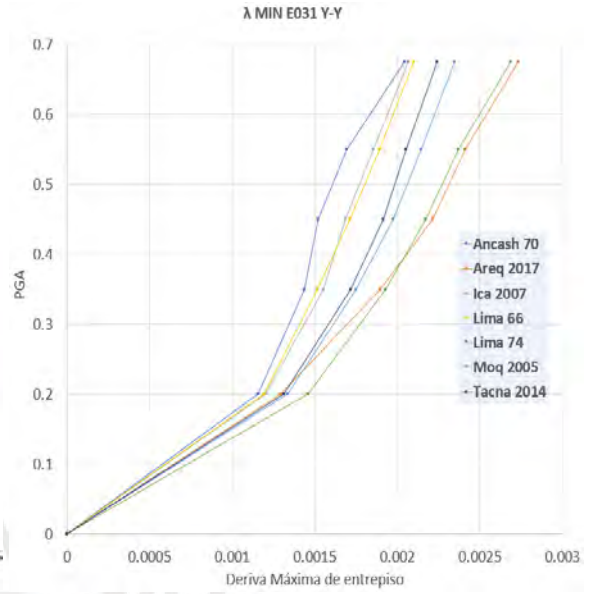
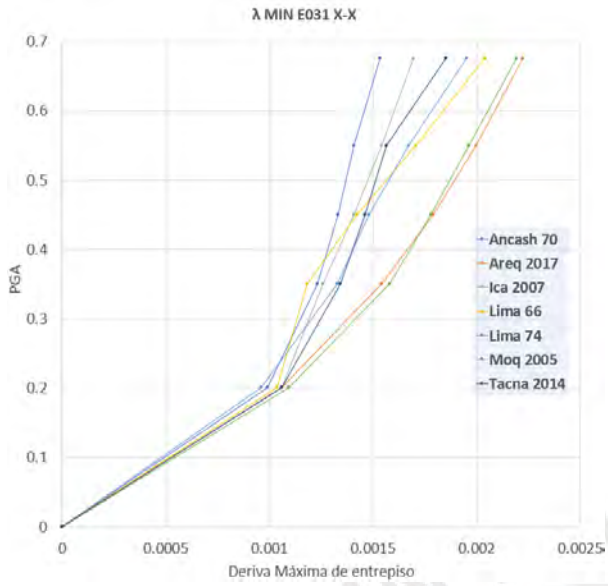


Figura 46: Curvas IDA de Aceleración Máxima en la azotea

Derechos reservados

Se observa que los valores de aceleración en la azotea van incrementando conforme se incrementa los valores lambda. Para una PGA de 0.675g la aceleración en condición de lambda máximo en dirección X oscila entre (0.30g a 0.41g) y dirección Y oscila entre (0.33g a 0.46g).

Las derivas máximas se producen entre el segundo y el tercer piso del edificio. En la **Figura 47** muestra las curvas IDA de derivas para los valores lambda de estudio.



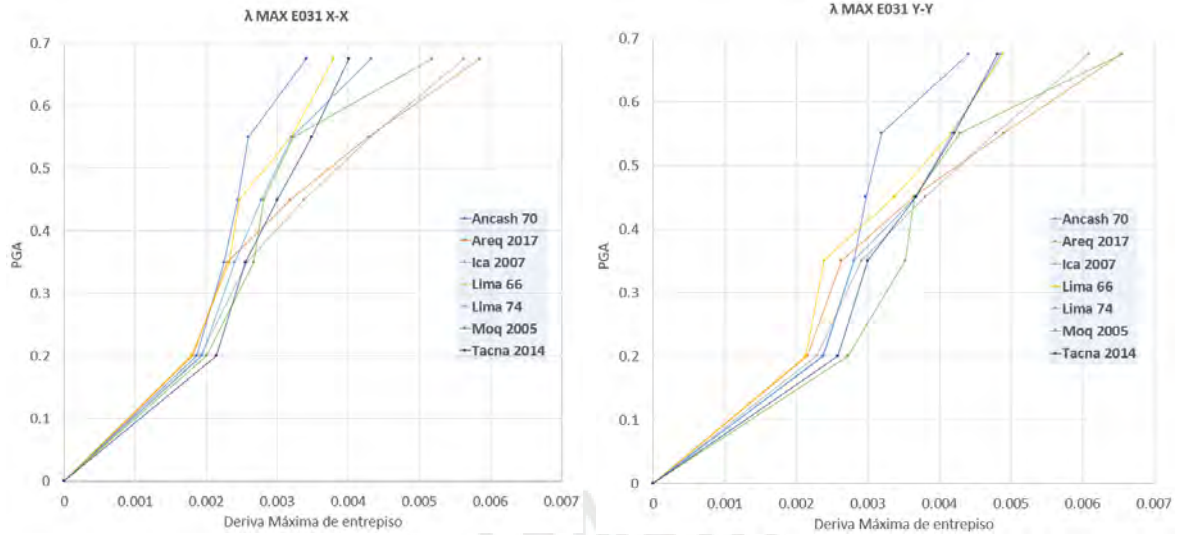


Figura 47: Curvas IDA de derivas Máxima en la azotea

Derechos reservados

Se observa que los valores de las derivas van incrementando conforme se incrementa los valores lambda. Para una PGA de 0.675g deriva en lambda máximo en dirección X oscila entre (0.003407 a 0.005851) y dirección Y oscila entre (0.0044 a 0.006545).

3.2.3. Deformaciones inelásticas en los elementos estructurales.

En este punto de la tesis se para observar las deformaciones inelásticas de la estructura aislada considerando un el sismo de Moquegua del 2005 en dirección X (**Figura 48**), rótulas que se activan pertenecen solo a las de las vigas, las columnas no presentan daño.

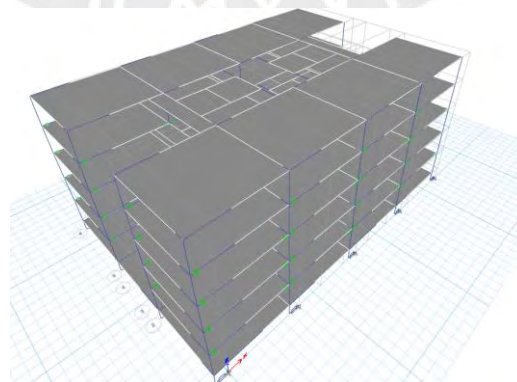


Figura 48: Deformaciones inelásticas en la estructura aislada

Derechos reservados

Se procedió a verificar la deformación inelástica de la viga en el tercer piso de la estructura aislada, como se puede apreciar en la **Figura 49**.

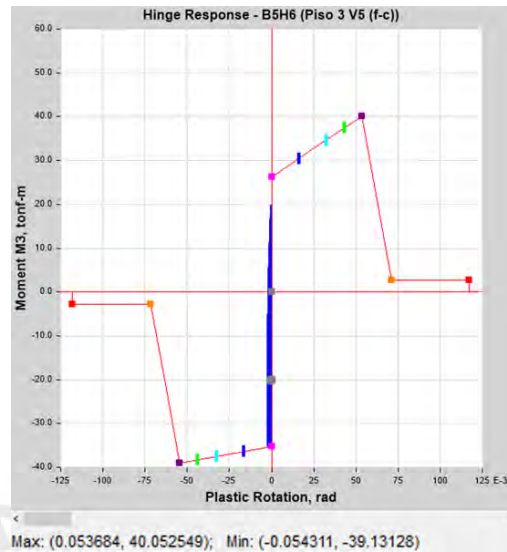


Figura 49: Deformaciones inelásticas en los elementos estructurales viga típica.

Derechos reservados

Para este punto de la tesis se procedió a ubicar la rótula más girada para la viga y la columna, para cada dirección. En la **Figura 50** y **Figura 51** se puede apreciar la ubicación de la rótula más girada para las direcciones X-X & Y-Y. Para el sismo X-X las rótulas más giradas fueron en la viga (B5) y la columna (C52), para el sismo Y-Y las rótulas más giradas fueron en la viga (B26) y la columna (C22).

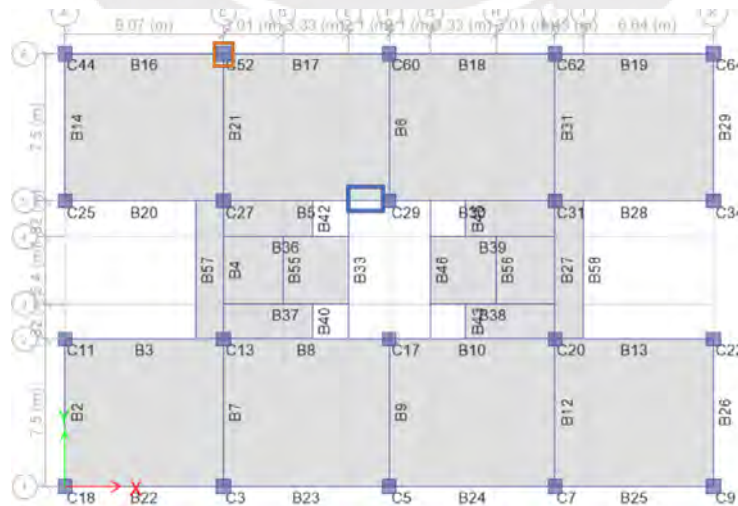


Figura 50: Ubicación de la rótula más girada para la viga (piso 3) y columna (piso 1) en dirección X-X.

Derechos reservados

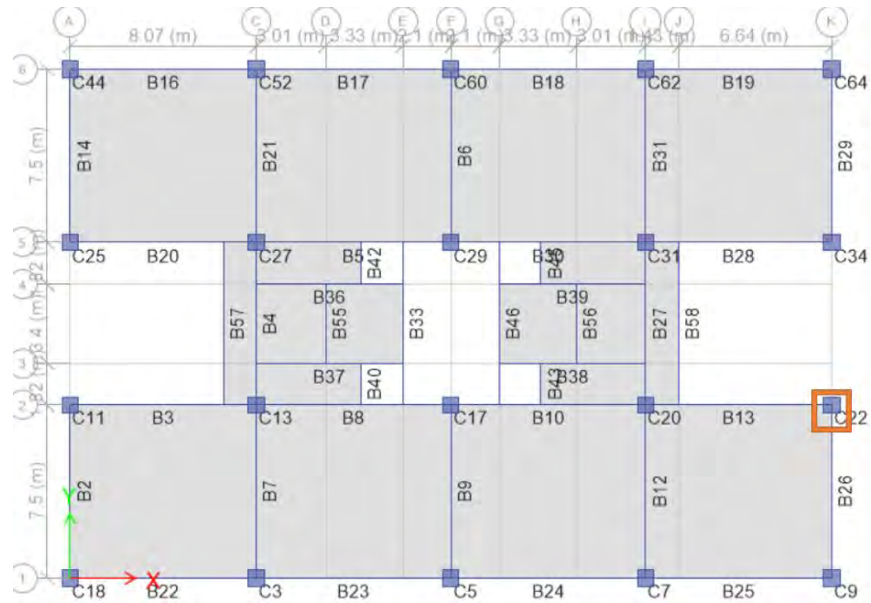


Figura 51: Ubicación de la rótula más girada para la viga (piso 3) y columna (piso 1) en dirección Y-Y.

Derechos reservados

3.2.4. Curvas Ida de Rótulas plásticas de la viga y la columna más girada

En este punto de la tesis se utilizó la metodología presentada en el **Cap. 2.4.2.** utilizando casos de integración directa no lineal. La **Figura 52** muestra las curvas IDA de las rótulas más giradas de la viga B5 (sismo X-X) y viga B26 (sismo Y-Y).

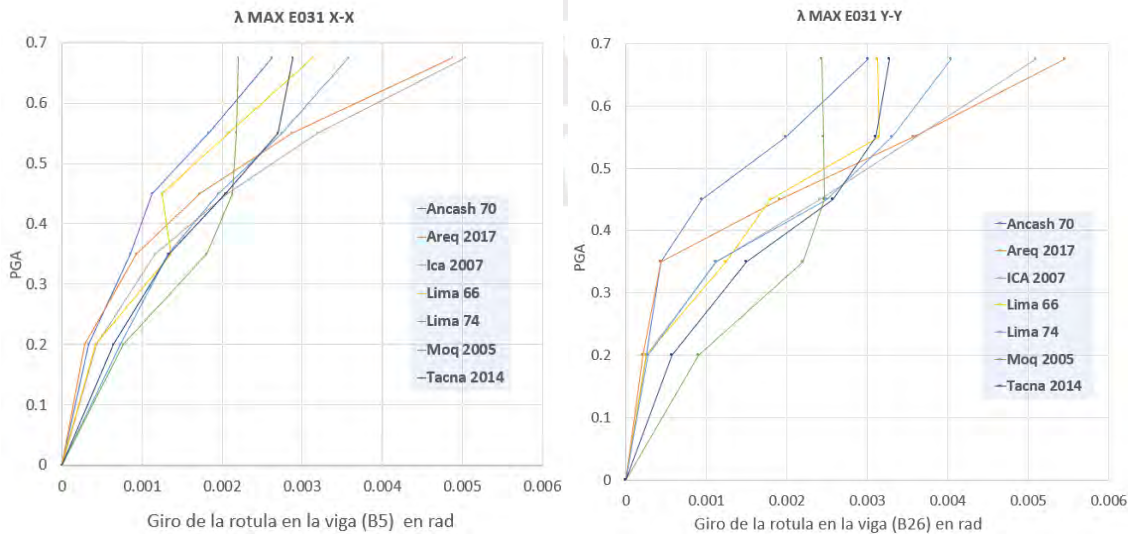


Figura 52: Curva IDA de los máximos giros en las vigas en condiciones lambda máximo en dirección X e Y del piso 3.

Derechos reservados

Se observa que los valores de los giros (rad) van incrementando conforme se incrementa los valores lambda en las rótulas de las vigas. Para una PGA de 0.675g los giros en las rótulas en condición de lambda máximo en dirección X oscila entre (2.2‰ a 5‰) rad y dirección Y oscila entre (2.4‰ a 5.5‰) rad

La **Figura 53** muestra las curvas IDA de las rótulas más giradas de la columna C52 (sismo X-X) y columna C22 (sismo Y-Y).

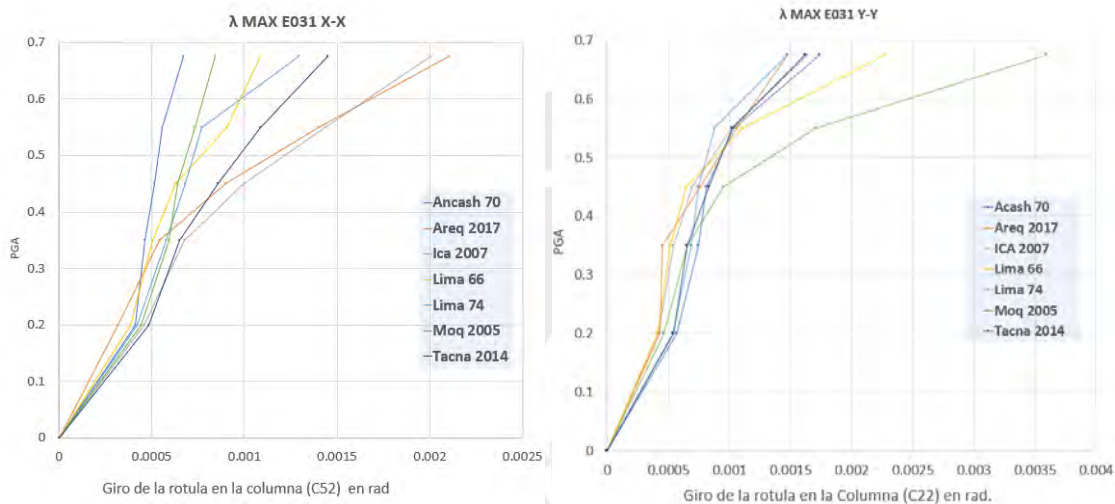


Figura 53: Curva IDA de los máximos giros en las columnas en condiciones lambda máximo en dirección X e Y en el piso 1.

Derechos reservados

Se observa que los valores de los giros (rad) van incrementando conforme se incrementa los valores lambda. Para una PGA de 0.675g los giros en las rótulas en condición de lambda máximo en dirección X oscila entre (0.7‰ a 2.1‰) rad y dirección Y oscila entre (1.6‰ a 3.6‰) rad.

3.3. Evaluación del desempeño

La evaluación de desempeño de la estructura aislada se utilizó los cuatro estados de daño según Hazus-MH-MR4 (leve, moderado, severo y completo), cada uno de estos están asociado a los niveles de desempeño (O, OI, LS y CP) mostrados en el ASCE41-13.

El Manual Hazus-MH-MR4 establece los límites de desplazamientos (indicadores de daño estructural) y los límites de aceleración (indicadores de daño no estructural) para calificar el desempeño sísmico de edificios de base fija, según su clasificación en tipos generales y esenciales. En el caso del estudio en cuestión, que involucra una edificación aislada de 5 niveles con sistema estructural de concreto armado, se aplicaron los límites de desplazamiento para edificios generales de mediana altura (Tabla 6), mientras que para los elementos no estructurales se utilizaron los límites de aceleración (Tabla 7).

Tabla 6: Limite de derivas (daño estructural).

| Estado de Daño | Limite de Deriva |
|----------------|------------------|
| Daño Leve | 0.0033 |
| Daño Moderado | 0.0058 |
| Daño Severo | 0.0156 |
| Daño Completo | 0.04 |

Fuente: Hazus-MH-MR4

Tabla 7: Limite de aceleraciones (daño no estructural).

| Estado de Daño | Limite de Aceleración |
|----------------|-----------------------|
| Daño Leve | 0.25 |
| Daño Moderado | 0.5 |
| Daño Severo | 1 |
| Daño Completo | 2 |

Fuente: Hazus-MH-MR4

El ASCE41-13 nos proporciona los límites de rotación inelástica para los elementos de las vigas **Tabla 8** y para las columnas **Tabla 9**.

Tabla 8: Nivel de desempeño de acuerdo a los límites de rotación para las vigas.

| Niveles de desempeño | Rotación Limite |
|--------------------------|-----------------|
| Ocupación Inmediata (IO) | 0.01 |
| Seguridad de vida (LS) | 0.025 |
| Previo al Colapso (CP) | 0.05 |

Fuente: ASCE 41-13

Tabla 9: Nivel de desempeño de acuerdo a los límites de rotación para las columnas.

| Niveles de desempeño | Rotación Limite |
|--------------------------|-----------------|
| Ocupación Inmediata (IO) | 0.005 |
| Seguridad de vida (LS) | 0.045 |
| Previo al Colapso (CP) | 0.06 |

Fuente: ASCE 41-13

Los percentiles a utilizar para las curvas IDA para el Cap. 4.3 son el 16%, 50% y 84%.

3.3.1. Evaluación del daño estructural asociado a derivas

Se muestra la gráfica de la curva IDA (condiciones nominales) con los límites de derivas para la evaluación del comportamiento de la estructural en dirección X-X e Y-Y (**Figura 54**).

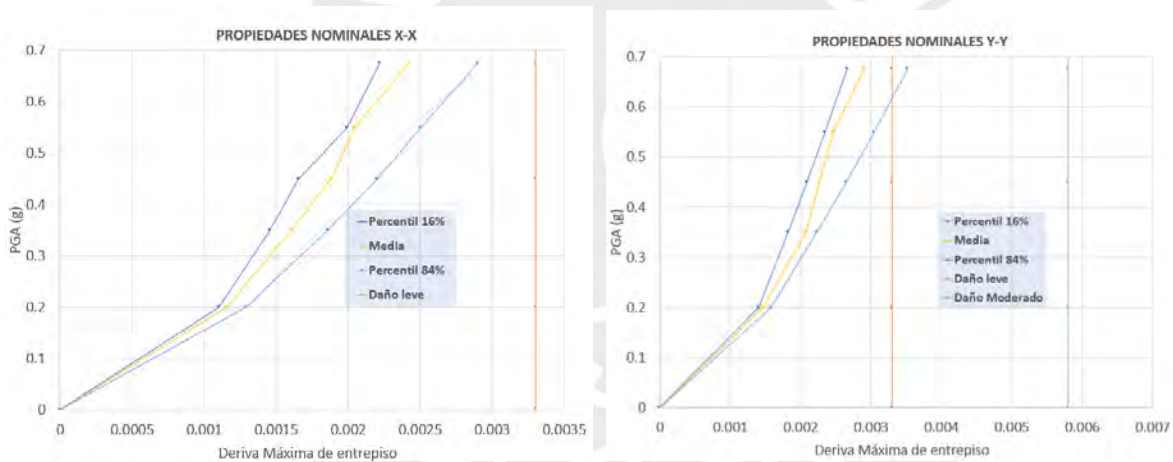


Figura 54: Curva IDA de derivas en condiciones nominales en dirección X e Y.

Derechos reservados

Para un $T_R = 2500$ años en condiciones nominales se muestra en la **Figura 54** que el promedio de las derivas (para ambas direcciones) no pasa el umbral de daño leve, pero el percentil 84% en dirección Y está ubicada entre el daño de leve a moderado.

Se muestra la gráfica de la curva IDA (caso lambda máximo) con los límites de derivas para la evaluación del comportamiento de la estructural en dirección X-X e Y-Y (**Figura 55**).

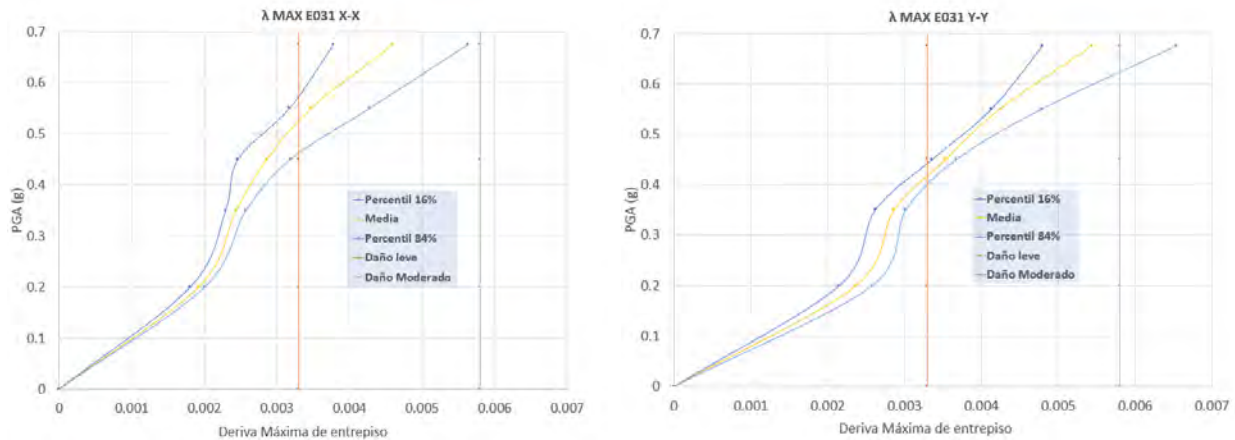


Figura 55: Curva IDA de derivas en condiciones lambda máximo en dirección X e Y.

Derechos reservados

Para un TR = 2500 años en condiciones de lambda máximo **Figura 55** se muestra que la estructura está ubicada entre el umbral de daño de leve a moderado para ambas direcciones, pero el percentil 84% en dirección Y está ubicada entre el daño de leve a moderado.

3.3.2. Evaluación del daño no estructural asociado a aceleraciones máximas de piso.

Se muestra la gráfica de la curva IDA (condiciones nominales) con los límites de aceleración para la evaluación del comportamiento de la estructural en dirección X-X e Y-Y (**Figura 56**).

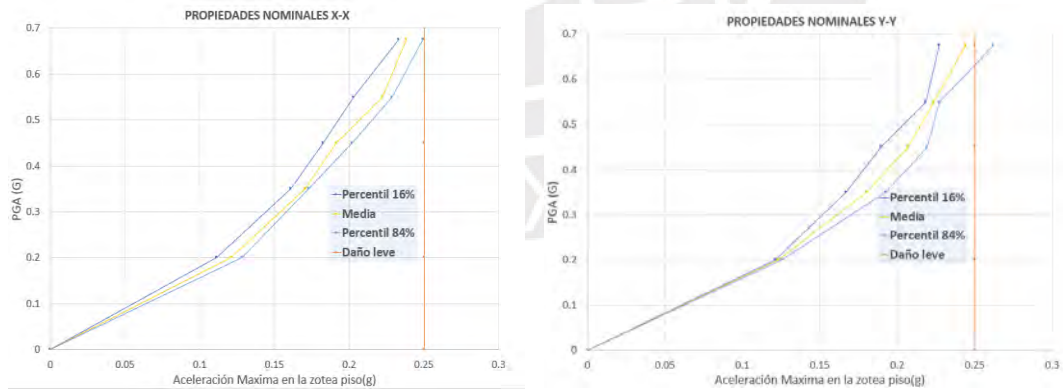


Figura 56: Curva IDA de aceleración en condiciones nominales en dirección X e Y.

Derechos reservados

Para un TR = 2500 años en condiciones de nominales se muestra en la **Figura 56** que los elementos no estructurales no han pasado el umbral de daño de leve.

Se muestra la gráfica de la curva IDA con los límites de aceleración para la evaluación del comportamiento de la estructural en dirección X-X e Y-Y (**Figura 57**).

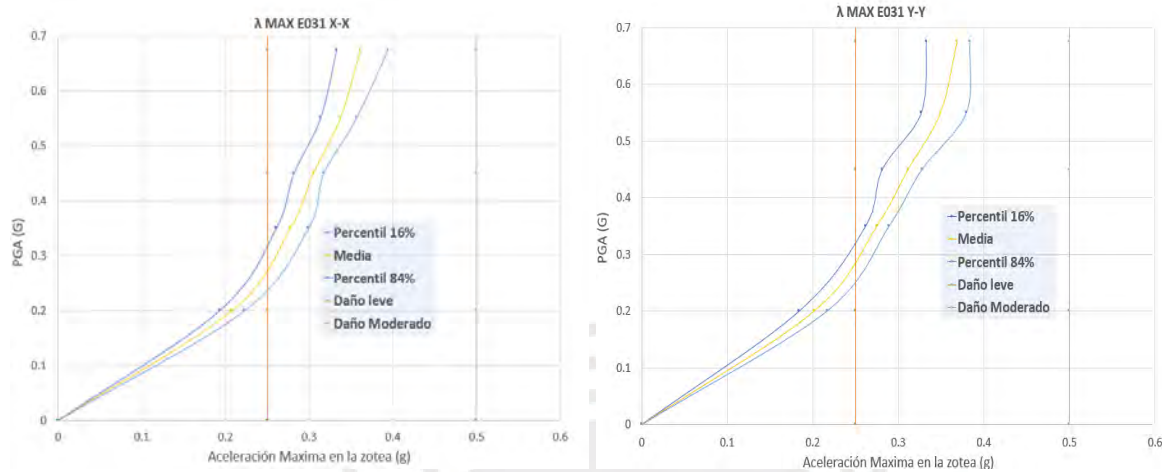


Figura 57: Curva IDA de aceleración en condiciones lambda máximo en dirección X e Y.

Derechos reservados

Para un $T_r = 2500$ años en condiciones de lambda máximo se muestra en la **Figura 57** que los elementos no estructurales están ubicados entre el daño de leve a moderado para ambas direcciones.

3.3.3. Evaluación del comportamiento estructural asociado a la rotación de las rótulas

En este punto de la tesis se evaluó la capacidad de rotación de los componentes inelásticos (rótulas plásticas) definimos por el estado limite dentro de los niveles de desempeño IO, LS y CP **Figura 58**.

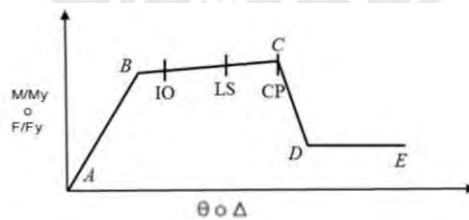


Figura 58: Diagrama Momento-rotación, o, diagrama Fuerza-desplazamiento.

Fuente: FEMA-365, 2000

Para realizar la calificación del desempeño sísmico a la estructura aislada fue necesario tu obtener el asociado a las rotaciones inelásticas. Se utilizó las curvas IDA de ratios rotación inelástica (θ / θ_{IO}) los

cuales no deben ser mayores a 1. Como se muestra la gráfica de la curva IDA de los percentiles de 16%, 50% y 84% (de las columnas y vigas más giradas) respecto al límite de ocupación inmediata (IO) en dirección X-X (**Figura 59**) e Y-Y (**Figura 60**).

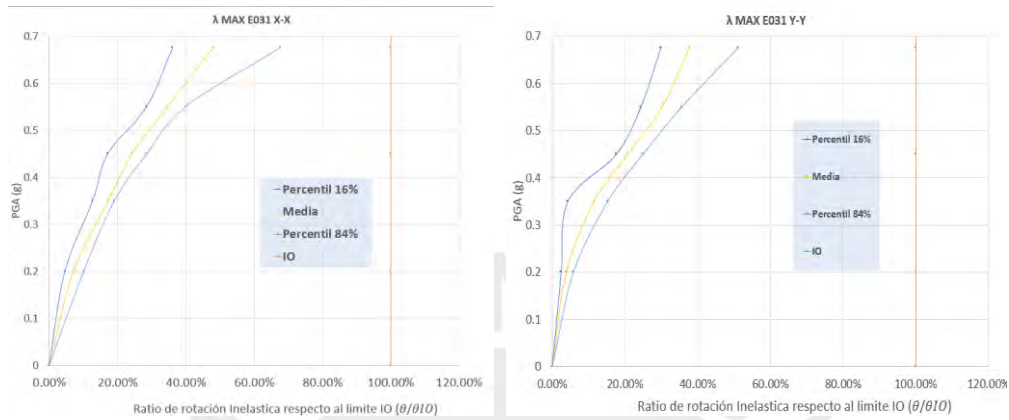


Figura 59: Curva IDA del ratio de rotación Inelástica en las vigas en condiciones lambda máximo en dirección X e Y (piso 3).

Derechos reservados

Para un $T_r = 2500$ años en condiciones de lambda máximo se muestra en la **Figura 60** que la rotación Inelástica para la viga en dirección X (48%) e Y (38%) corresponde dentro IO.

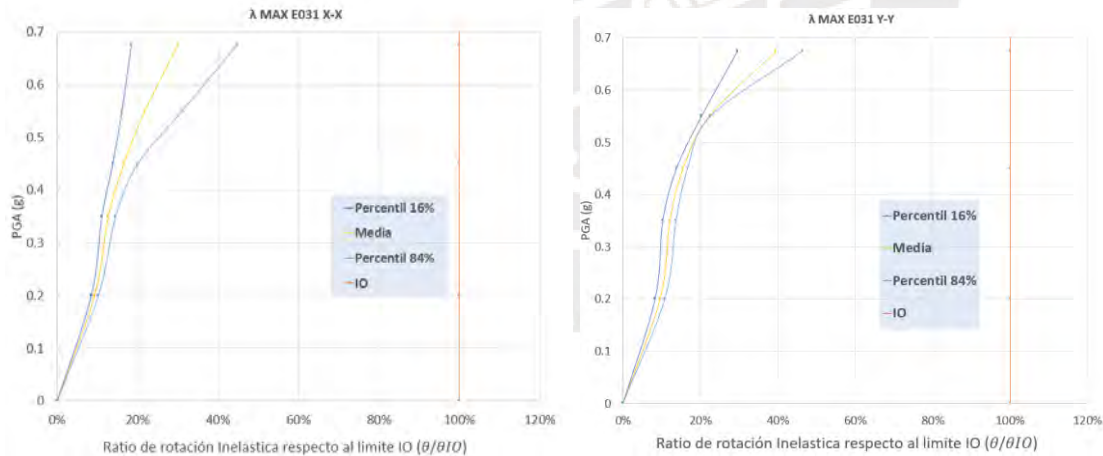


Figura 60: Curva IDA del ratio de rotación Inelástica en las columnas en condiciones lambda máximo en dirección X e Y en el piso 1.

Derechos reservados

Para un $T_r = 2500$ años en condiciones de lambda máximo se muestra en la **Figura 60** que la rotación Inelástica para la columna en dirección X (30%) e Y (39%) corresponde dentro IO.

CONCLUSIONES

Para el edificio utilizado en este estudio, se implementaron aisladores de goma de alto amortiguamiento (HDRB) en el diseño del aislamiento de la estructura multifamiliar. Esto resultó en un alargamiento del periodo T_b a 2.7 segundos (3.7 veces el periodo de base fija) y un aumento del amortiguamiento de la estructura al 15%. Se consideraron las siguientes propiedades ($\lambda_{\text{máx}} K_d = 2$ y $\lambda_{\text{máx}} Q_d = 1.7$, y $\lambda_{\text{min}} K_d = \lambda_{\text{min}} Q_d = 0.8$), siguiendo la norma peruana de aislamiento sísmico (E.031). La superestructura exhibió derivas de 2.37‰, 3.02‰ y 4.76‰, y aceleraciones de piso de 0.21G, 0.25G y 0.43G para un sismo con un periodo de retorno de 2500 años. Los resultados indican que el diseño de la edificación cumple con los requisitos establecidos por las normas peruanas.

Los criterios utilizados para evaluar el desempeño de la superestructura aislada fueron los límites de giros de rotulas, definidos según la normativa ASCE41-13, así como las derivas. Para los elementos no estructurales, se emplearon los límites de aceleraciones relacionados con los niveles de desempeño (IO, LS, CP, C) indicados en el ASCE41-13.

La respuesta de la estructura aislada, considerando el parámetro de deriva de entrepiso, muestra una considerable variabilidad entre los resultados del análisis dinámico no lineal. Por lo tanto, se considera que la curva IDA en condiciones de máximas será lo suficientemente para la evaluación del desempeño. Se estima que la estructura alcanzaría derivas del orden de 5.4‰ en condiciones máximas, frente a un evento de periodo de retorno de 2500 años. Por consiguiente, la deriva alcanzada en condiciones máximas revela un nivel de daño moderado, según lo indicado en el Manual Hazus-MH-MR4.

Los resultados de las curvas IDA de este trabajo indican que los giros plásticos de la rótula más deformada alcanzarían valores de 3.8‰ para vigas y para 1.9‰ para columnas (para un $T_R = 2500$ años). Por lo tanto, se determinó que los elementos estructurales cumplen con el nivel de desempeño de Ocupación Inmediata según lo establecido en el ASCE41-13.

Los resultados de las curvas IDA para los elementos no estructurales muestran que las aceleraciones alcanzarían valores del orden de 0.24g y 0.37g para condiciones nominales y máximas, respectivamente, considerando un periodo de retorno de 2500 años. Por lo tanto, se concluye que el estado de daño de estos componentes se sitúa entre leve y moderado.

Compatibilizando los resultados de este estudio, se observa una discrepancia en la evaluación del daño utilizando la deriva (según Hazus-MH-MR4) y el nivel de rotación (según ASCE41-13). Esto se debe a que la relación entre daño y deriva en Hazus-MH-MR4 está destinada a edificios de base fija, diseñados con factores de reducción de fuerza sísmica convencionales ($R=8$ y $R=6$). En consecuencia, se concluye que el nivel de rotación establecido por ASCE41-13 será suficiente para evaluar el desempeño de la estructura aislada. Por lo tanto, los resultados de este trabajo garantizan la viabilidad de construir edificios de vivienda multifamiliar de 5 pisos con aislamiento sísmico, lo que permite una ocupación inmediata después de un sismo con un periodo de retorno de 2500 años.

RECOMENDACIONES

Se recomienda emplear el daño asociado a las rotulas inelásticas para la evaluación del desempeño sísmico de un edificio aislado. Esto se debe a que la evaluación del daño utilizando la deriva (según Hazus-MH-MR4) está dirigida a edificios de base fija, los cuales son diseñados con factores de reducción de fuerza sísmica convencionales ($R=8$ y $R=6$).

Se recomienda que investigaciones futuras se centren en la continuación del estudio de edificios multifamiliares con sistemas de aislamiento sísmico.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS:

- Aguiar Falconí, R., Almazán, J. L., Dechent, P., & Suárez, V. (2016). Aisladores de base elastoméricos y FPS. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11675/1/Aisladores%20de%20base%20elastomericos%20y%20fps.pdf> (Consulta: 8 de junio del 2021).
- ASCE SEI 7-16 (2018) American Society of Civil Engineers, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.
- Bridgestone (2017). Seismic isolation product line-up (Version 2015 vol.1)
- B.A. Kirikov Ed.50 (1992) History of Earthquake Resistant Construction, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Madrid. http://www.kirikov-boris.de/data/Book_03.pdf (Consulta: 10 de mayo del 2020).
- Chunas, G., & Adolfo, V. (2011). Evaluación del desempeño sismorresistente usando análisis no lineal en el tiempo <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/1099> (Consulta: 15 de marzo del 2021).
- Felipe O. C., & Rodrigo A. E. (2018) Análisis de estructuras aisladas con el método de múltiples subestructuras. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/151309> (Consulta: 19 de Octubre del 2020).
- FEMA 356 (2000) Federal Emergency Management Agency, Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings.
- Instituto Nacional de Defensa Civil INDECI (2006) Sismos ocurridos en el Perú a través del tiempo. https://www.indeci.gob.pe/compend_estad/2006/7_ otras_estad/7.1_sismos/7.1.4_hist_sismos.pdf (Consulta: 8 de junio del 2020).
- Mendoza, P. M. B., Galíndez, E. E., & Pavoni, (2014) S. B. Modelación numérica de columnas de hormigón armado sometidas a cargas cíclicas. <https://jornadasaie.org.ar/jornadas-aie-antiores/2014/contenidos/trabajos/079.pdf> (Consulta: 23 de setiembre del 2022).
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2018). Norma Técnica Peruana E.020 (Cargas).
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2018). Norma Técnica Peruana E.030 (Diseño Sismorresistente).
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2018). Norma Técnica Peruana E.031 (Aislamiento Sísmico).
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2018). Norma Técnica Peruana E.060 (Concreto Armado).
- Naeim & Kelly, (1999), Design of Seismic Isolated Structures from Theory to Practice
- Nielson, B. G., & DesRoches, R. (2007). Analytical seismic fragility curves for typical bridges in the central and southeastern United States. Earthquake Spectra, Vol23(N°3), 615-633
- Peralta Álvarez, M. G. (2012). Análisis estático no lineal y análisis dinámico no lineal del hospital de Vielha (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Revista Perú Construye Ed.39 (2018) Edificios seguros: Construcciones con protección sísmica. <https://peruconstruye.net/2018/11/16/edificios-seguros-construcciones-con-proteccion-sismica/> (Consulta: 30 de mayo del 2020).

SEAOC. (1995). Vision 2000: Performance based seismic design of buildings. Structural Engineers Association of California, Sacramento CA.

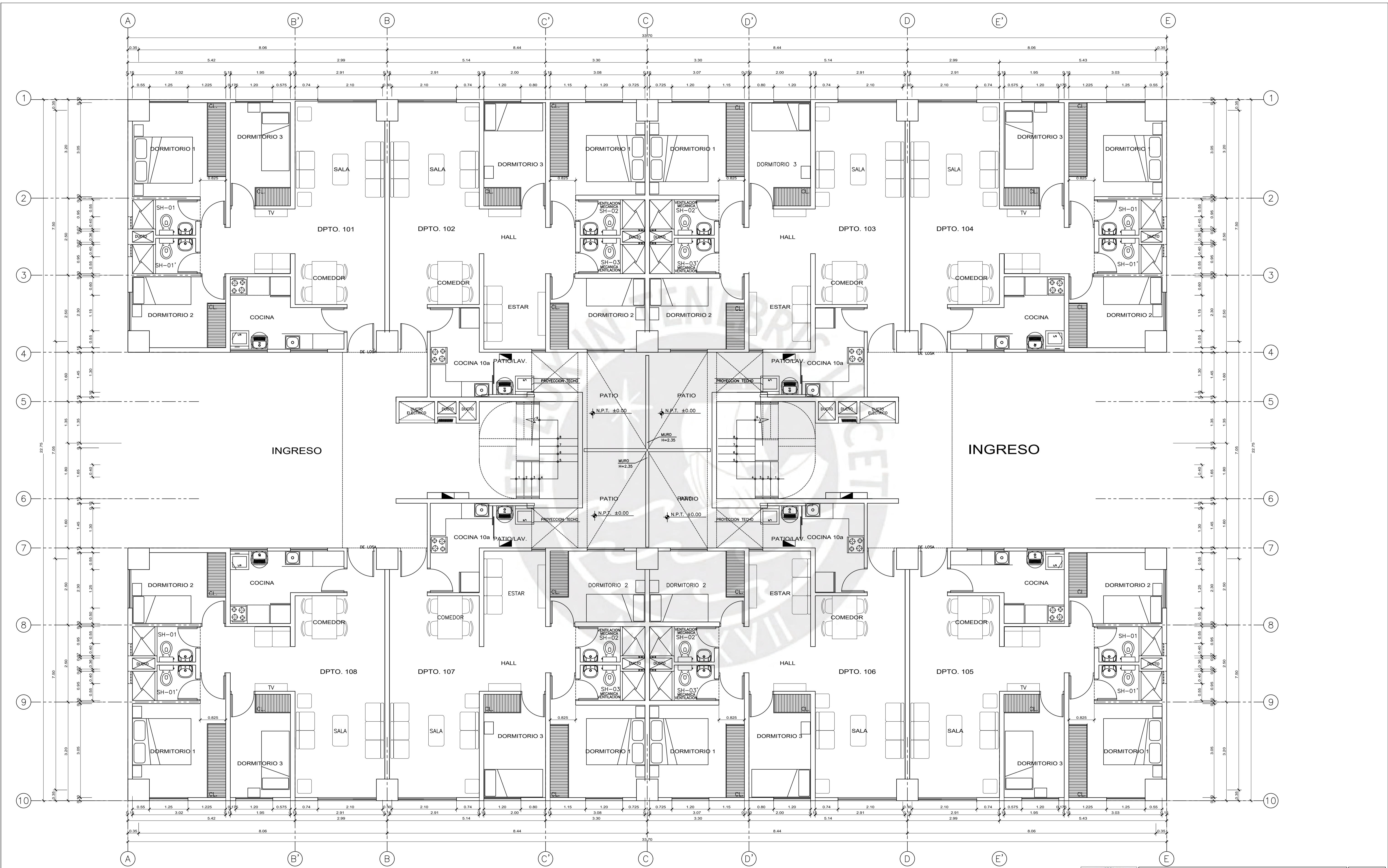
Skinner R., Robinson W. & McVerry G. (1992) An Introduction to Seismic Isolation. John Wiley y Sons

Symans, M. D. (2009). Seismic protective systems: seismic isolation. Instructional Material Complementing FEMA, 451.

Vamvatsikos, D., & Cornell, C. A. (2002). Incremental dynamic analysis. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 31(3), 491-514 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/eqe.141> (Consulta: 30 de mayo del 2022).

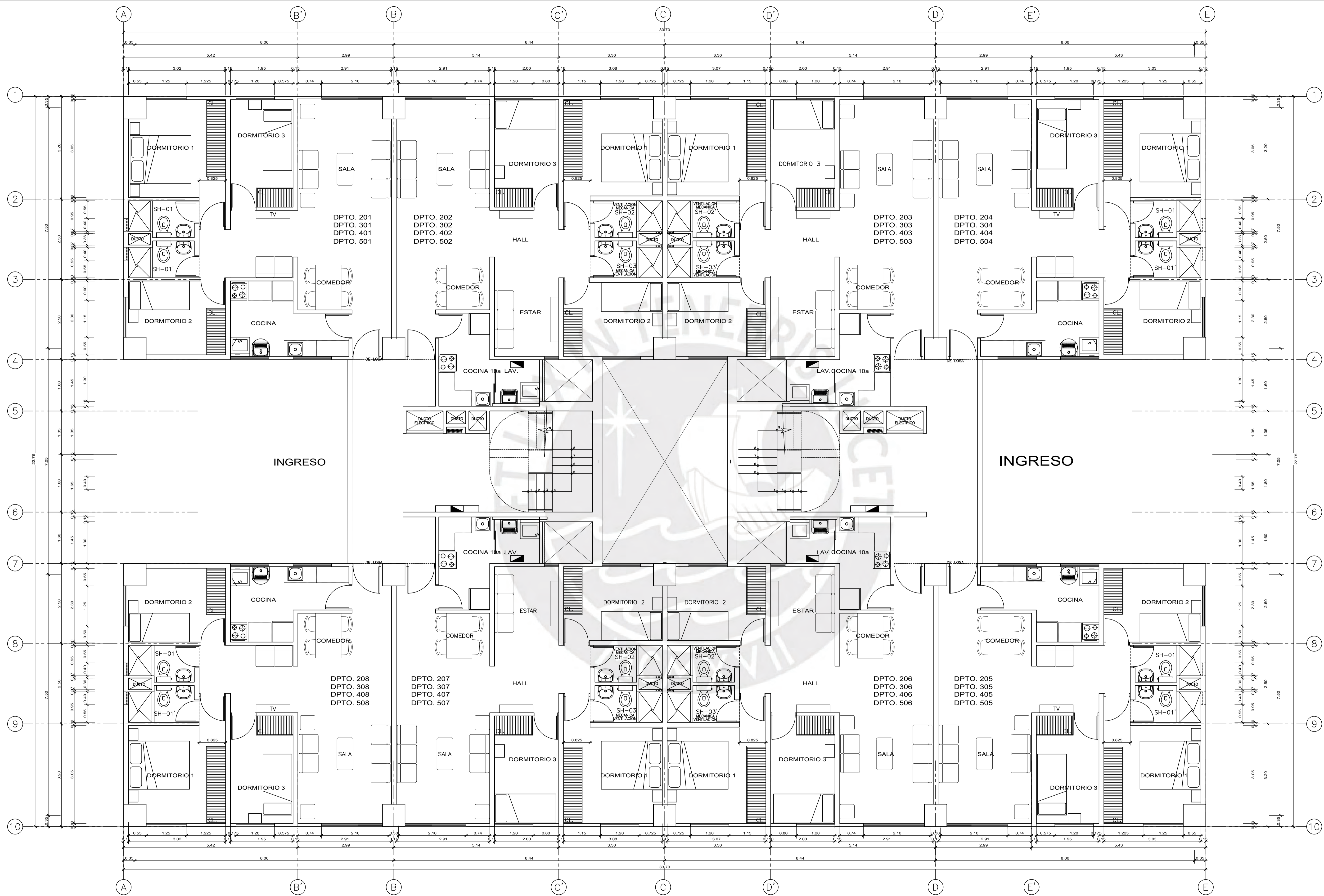
Zellat, Kaoutar, & Kadri, Tahar. (2015). Influencia del sistema de aislación sísmica en la respuesta de los puentes. Revista ingeniería de construcción, Vol30 (N°3), 210-214. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732015000300006> (Consulta: 30 de noviembre del 2020).





PLANTA PISO 1

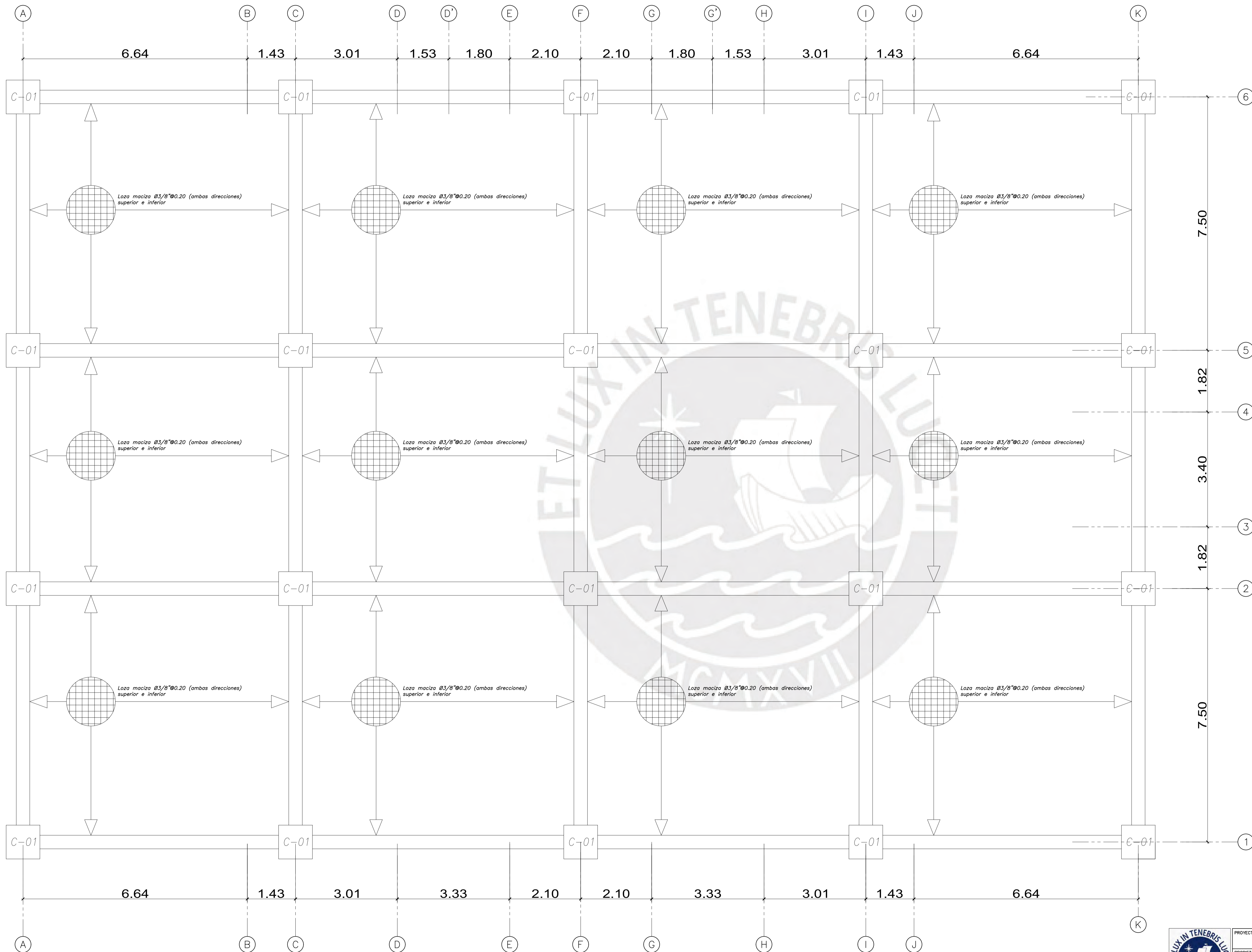
| | | | | |
|--|--------------|--|--------|-----------|
| | PROYECTO | VIVIENDA MULTIFAMILIAR | ESCALA | 1:25 |
| | PROPIETARIO | MIRAFLORES | FECHA | MAR 2022 |
| | UBICACION | MIRAFLORES | PLANO | 1/2 |
| | ESPECIALIDAD | ARQUITECTURA: PLANTA DEL PISO 1 | | |
| | PROFESIONAL | ARQ. YVAN ANTONIO SOTO TINTAYA CAP 19650 | | |
| | | | | A1 |



PLANTA DEL PISO TÍPICO 2, 3, 4 Y 5

| | | | | |
|--|--------------|--|--------|-----------|
| | PROYECTO | VIVIENDA MULTIFAMILIAR | ESCALA | 1:25 |
| | PROPIETARIO | MIRAFLORES | FECHA | MAR 2022 |
| | UBICACION | MIRAFLORES | PLANO | 2/2 |
| | ESPECIALIDAD | ARQUITECTURA: PLANTA DEL PISO 2 AL 5 | | |
| | PROFESIONAL | ARQ. YVAN ANTONIO SOTO TINTAYA CAP 19650 | | |
| | | | | A2 |

Anexo 2: PLANOS DE PROYECTO (ESTRUCTURA)



ESPECIFICACIONES CONCRETO ARMADO

1.- CEMENTO :
 - Cemento de concreto en contacto con el terreno: Portland tipo 1
 - Resto: Portland tipo 1

2.- RESISTENCIA DEL CONCRETO :
 - Sólido: Mezcla CEMENTO: HORMIGÓN 1:1:2
 - Zapatas: Mezcla CEMENTO: HORMIGÓN 1:1.2 + 30% DE P.G. (8" Max.)
 - Cimentas Armados: $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
 - Vigas de Cimentación: $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
 - Columnas, Lozas y Vigas: $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
 - Losa de Parilla: $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

3.- ACERO DE REFUERZO:
 - Barras corrugadas: ASTM A-615 (Grado 60) $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ (428 MPa)

4.- RECURRIMIENTOS :
 - Zapatas: 7.5 cm.
 - Concreto en contacto con el terreno (Superficies encofradas):
 - Barras de $5/8"$ o menores: 4.0 cm.
 - Barras de $3/4"$ o mayores: 5.0 cm.
 - Losas macizas y Escaleras: 2.0 cm.
 - Columnas y Vigas Estructurales: 4.0 cm.
 - Muros de Sosténimiento: 4.0 cm.
 - Cara lisa/cara contra el terreno: 4.0 cm.
 - Cara Encofrada: 3.0 cm.

NORMAS : E.060 : CONCRETO ARMADO
 NORMAS : E.030 : DISEÑO SISMORRESISTENTE
 NORMAS : E.031 : AISLAMIENTO SISMICO

CARGAS PERMANENTES
 - Piso terminado y Muros de Drywall

LONGITUDES DE ANCLAJE Y TRASLAPE (en centímetros)

| DIÁMETRO | ANCLAJE EN COMPRESIÓN | ANCLAJE EN TRACCIÓN | TRASLAPE |
|----------|-----------------------|---------------------|----------|
| 1/4" | 30 | 30 | 30 |
| 3/8" | 30 | 30 | 40 |
| 1/2" | 30 | 40 | 50 |
| 5/8" | 40 | 55 | 60 |
| 3/4" | 55 | 70 | 70 |
| 1" | 75 | 90 | 120 |

No se deberá traspasar más del 50% del refuerzo de una copa en una misma sección. Se recomienda revisar los detalles correspondientes.

PARAMETROS PARA EL ANALISIS ESTRUCTURAL EDIFICIO 5 PISOS

SISTEMA ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE:
 MV 5 PISOS
 MX: MUROS DE CONCRETO ARMADO
 MY: MUROS DE CONCRETO ARMADO

PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACION (T) Seg.
 MV 5 PISOS
 Txx: 2.70 Seg.
 Tyy: 2.70 Seg.

PARAMETROS PARA DEFINIR FUERZA SISMICA O EL ESPECTRO DE DISEÑO EDIFICIOS MVB Y MVE, 15 PISOS
 FACTOR DE ZONA: Zona 4 Z= 0.45
 FACTOR DE USO: Viviendas U= 1.0
 FACTOR DE SUELO
 Suelo S1 (Suelo Muy Rígido) S= 1.00
 T₀= 0.4 segundos T₀>2.5 segundos

COEFICIENTES BÁSICO DE REDUCCION SISMICA (R₀)
 R_{0XX} (Muros Estructurales) R₀= 1
 R_{0YY} (Muros Estructurales) R₀= 1

REGULARIDAD ESTRUCTURAL
 Factor de Irregularidad en Altura I_a= 1.0
 Factor de Irregularidad en Planta I_p= 1.0

COEFICIENTES DE REDUCCION DE FUERZAS SISMICAS (R=(R₀·I_a·I_p))
 R₀= 5.40
 R_y= 5.40

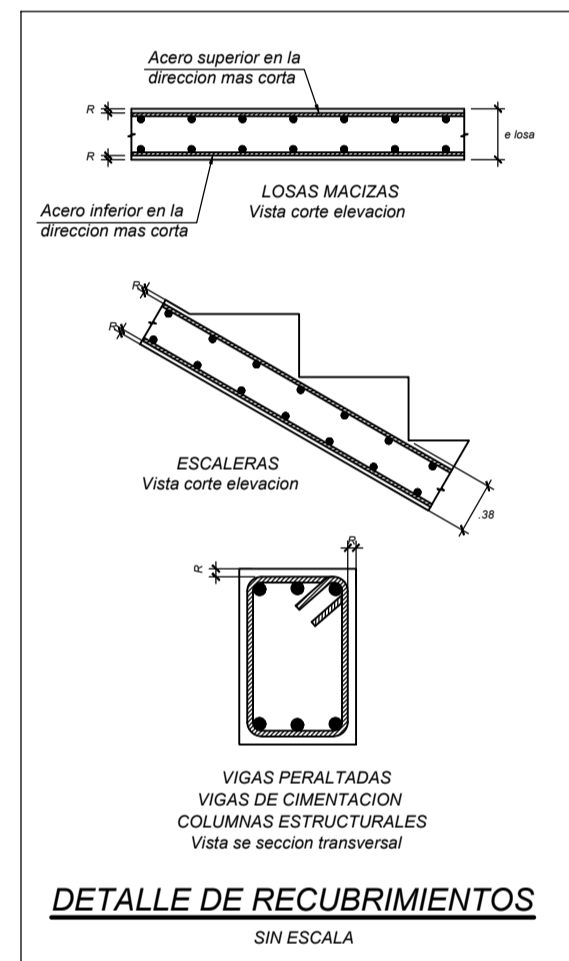
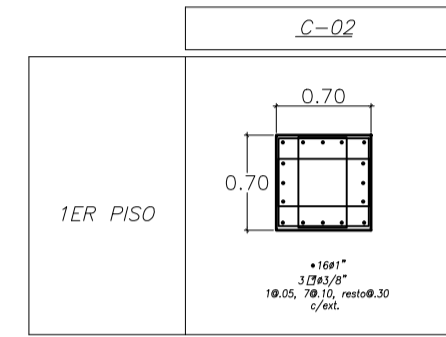
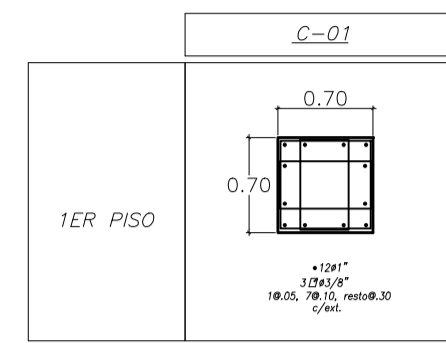
FACTORES DE AMPLIACION SISMICA
 En X, Cvx = 2.50
 En Y, Cvy = 2.50

FUERZA CORTANTE EN LA BASE, USADA EN EL DISEÑO
 MV 5 PISOS
 En X, V_{bx}=3495 Ton.
 En Y, V_{by}=3495 Ton.

MÁXIMOS DESPLAZAMIENTOS, USADA EN EL DISEÑO
 MV 5 PISOS
 DIR. XX: Desplazamiento Absoluto del último Nivel: 24.90cm
 DIR. YY: Desplazamiento Absoluto del último Nivel: 25.40cm
 Máxima Deriva de Entrepiso: 0.00255 < 0.0035
 Máxima Deriva de Entrepiso: 0.00302 < 0.0035

SISTEMA DE EJES PARA EL ANALISIS
 Eje X corresponde al eje A de la arquitectura.
 Eje Y corresponde al eje 1 de la arquitectura.

| | | |
|--|------------------------------------|-----------------|
| | PROYECTO: VIVIENDA MULTIFAMILIAR | ESCALA: 1:25 |
| | PROPIETARIO: | FECHA: MAR 2022 |
| | UBICACION: MIRAFLORES | PLANO: 1/16 |
| | ESPECIALIDAD: ESTRUCTURAS: PARILLA | E1 |
| PROFESIONAL: ING. DANTE ALBERTO ALVARADO CASTILLO CIP 232621 | | |



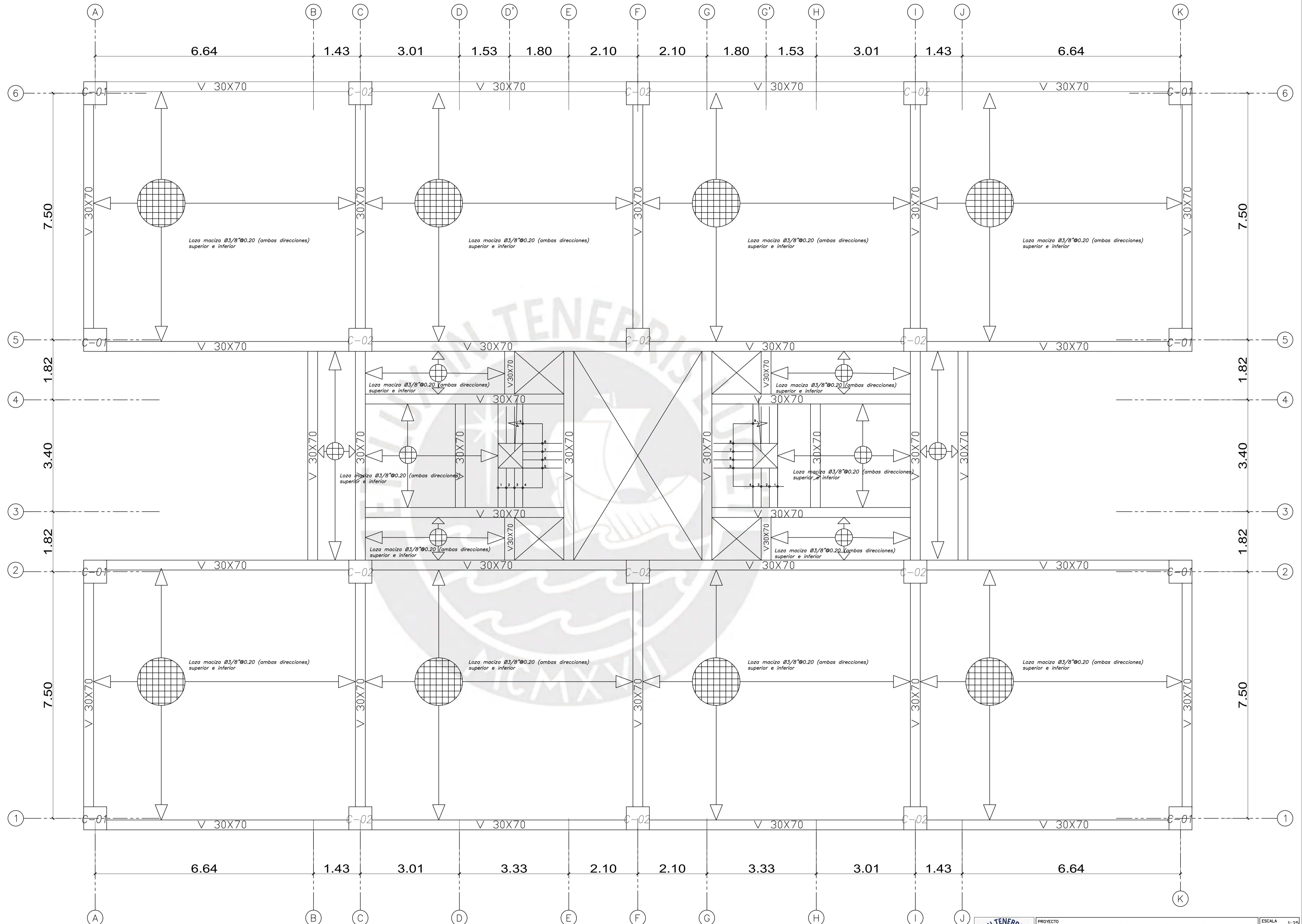
Detalle de Estribos SIN ESCALA

| Barra | D | L |
|--------|-------|--------|
| Ø 6mm | 24 mm | 60 mm |
| Ø 1/4" | 24 mm | 60 mm |
| Ø 8mm | 32 mm | 80 mm |
| Ø 3/8" | 38 mm | 90 mm |
| Ø 12mm | 48 mm | 120 mm |
| Ø 1/2" | 51 mm | 150 mm |
| Ø 5/8" | 64 mm | 160 mm |


Detalle de ganchos estandar en barras de refuerzo SIN ESCALA

| Barra | D | 90° | | 180° | |
|----------|--------|--------|--------|------|---|
| | | L | L | L | L |
| Ø 6mm | 36 mm | 75 mm | 60 mm | | |
| Ø 1/4" | 36 mm | 75 mm | 60 mm | | |
| Ø 8mm | 48 mm | 100 mm | 75 mm | | |
| Ø 3/8" | 57 mm | 150 mm | 100 mm | | |
| Ø 12mm | 72 mm | 200 mm | 120 mm | | |
| Ø 1/2" | 76 mm | 200 mm | 125 mm | | |
| Ø 5/8" | 95 mm | 250 mm | 150 mm | | |
| Ø 3/4" | 114 mm | 300 mm | 175 mm | | |
| Ø 1" | 152 mm | 350 mm | 200 mm | | |
| Ø T-1/8" | 229 mm | 400 mm | 225 mm | | |
| Ø T-1/4" | 254 mm | 450 mm | 250 mm | | |
| Ø T-3/8" | 279 mm | 500 mm | 275 mm | | |

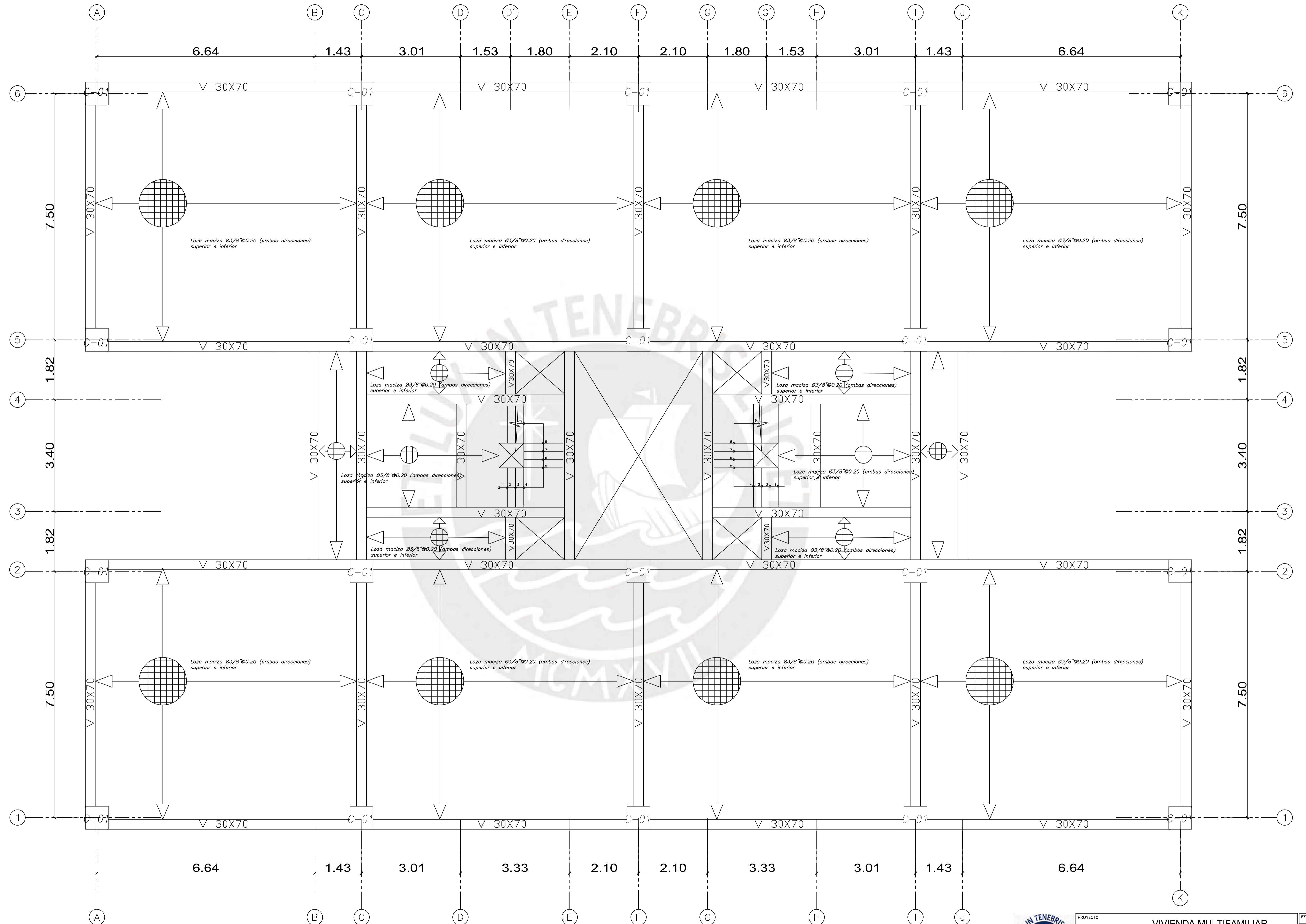
NOTA: Estos valores son mínimos, se usara en en caso en los planos no se indique una medida mayor de acuerdo al calculo estructural.



PISO 1

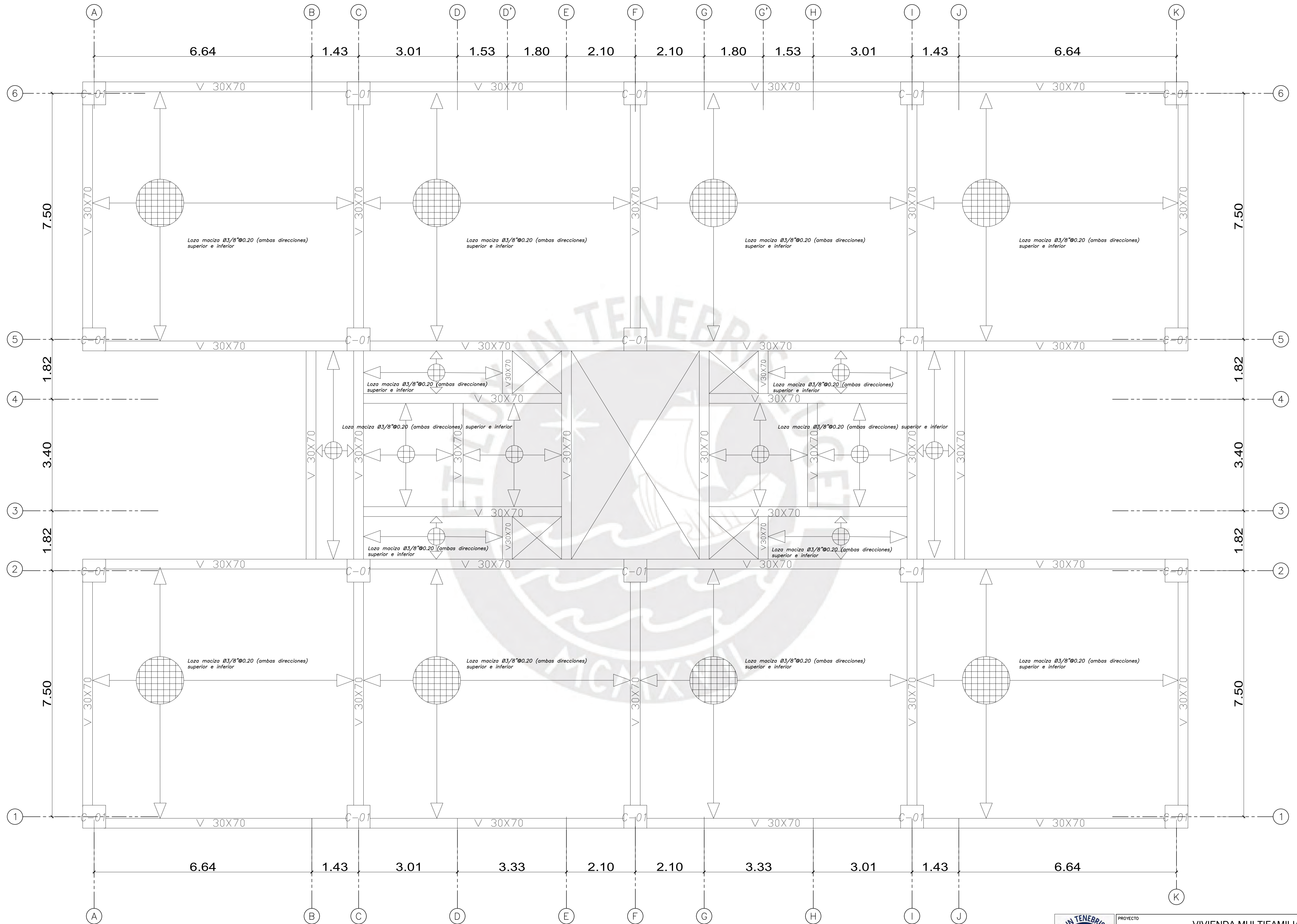
| | | | | |
|---|--------------|---|--------|----------|
|  | PROYECTO | VIVIENDA MULTIFAMILIAR | ESCALA | 1:25 |
| | PROPIETARIO | | FECHA | MAR 2022 |
| | UBICACION | MIRAFLORES | PLANO | 2/16 |
| | ESPECIALIDAD | ESTRUCTURAS: PLANTA DE PISO 1 | | |
| | PROFESIONAL | ING. DANTE ALBERTO ALVARADO CASTILLO CIP 232621 | | |

| | C-01 |
|----------|------|
| 2DO PISO | |
| 3ER PISO | |
| 4TO PISO | |
| 4TO PISO | |




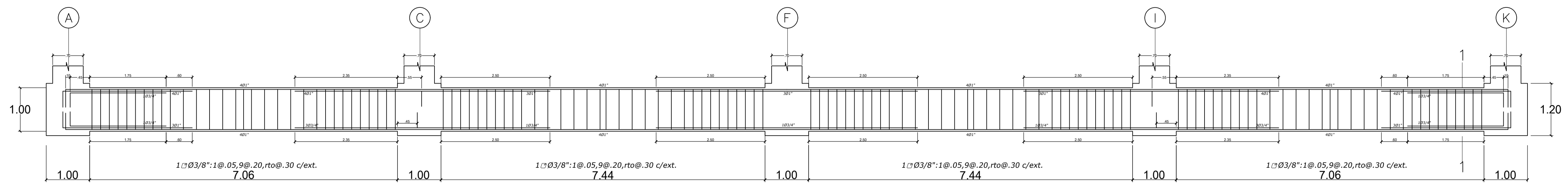
PISO 2-4

| | | | | |
|--|--------------|---|--------|-----------|
| | PROYECTO | VIVIENDA MULTIFAMILIAR | ESCALA | 1:25 |
| | PROPIETARIO | MIRAFLORES | FECHA | MAR 2022 |
| | UBICACION | MIRAFLORES | PLANO | 3/16 |
| | ESPECIALIDAD | ESTRUCTURAS: PLANTA DE PISO 2 AL 4 | | |
| | PROFESIONAL | ING. DANTE ALBERTO ALVARADO CASTILLO CIP 232621 | | |
| | | | | E3 |

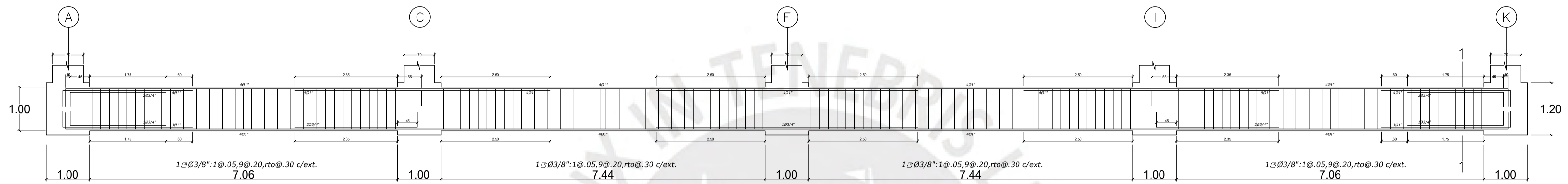
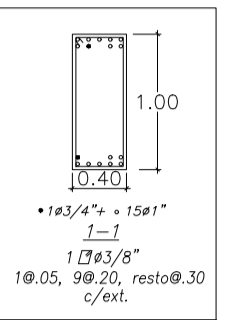


PISO 5

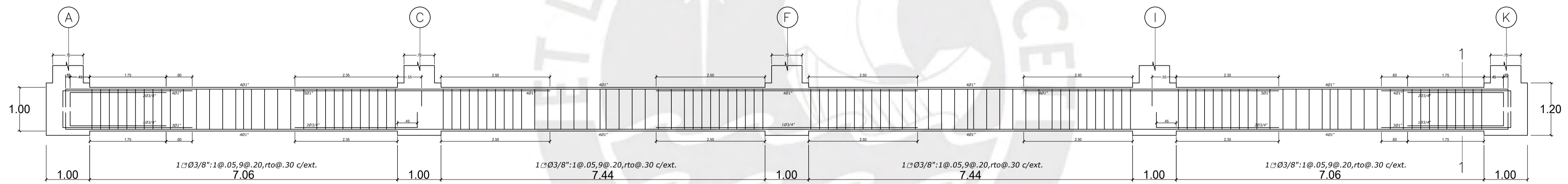
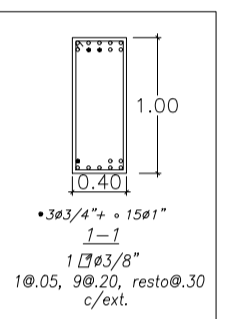
| | | | | |
|---|--------------|---|--------|-----------|
|  | PROYECTO | VIVIENDA MULTIFAMILIAR | ESCALA | 1:25 |
| | PROPIETARIO | MIRAFLORES | FECHA | MAR 2022 |
| | UBICACION | MIRAFLORES | PLANO | 4/16 |
| | ESPECIALIDAD | ESTRUCTURAS: PLANTA DE PISO 5 | | |
| | PROFESIONAL | ING. DANTE ALBERTO ALVARADO CASTILLO CIP 232621 | | |
| | | | | E4 |



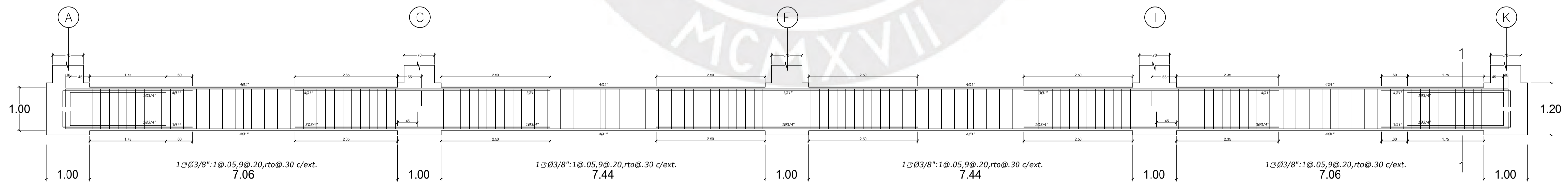
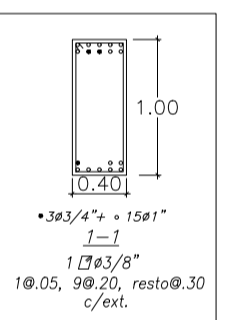
VIGA 6-6 40X100



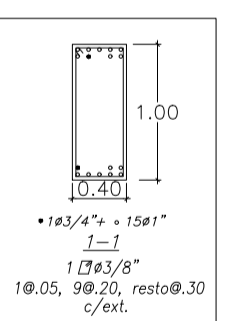
VIGA 5-5 40X100




VIGA 2-2 40X100

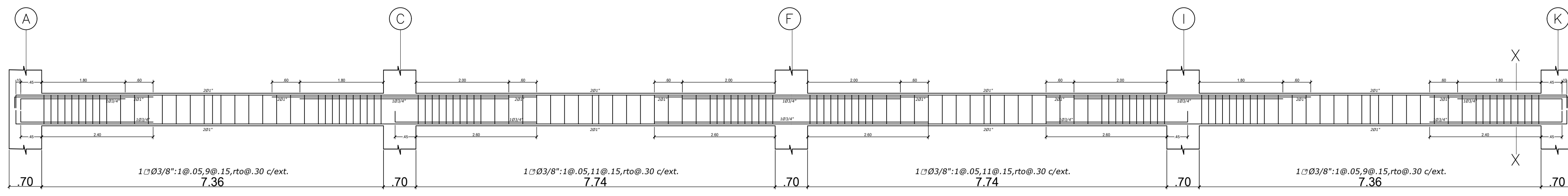


VIGA 1-1 40X100

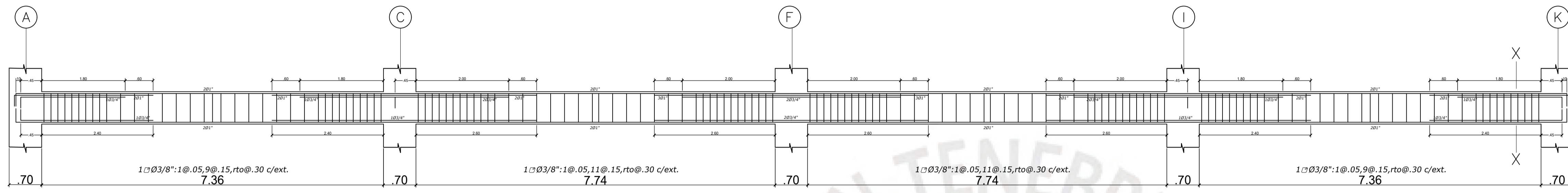


BASE AISLADA

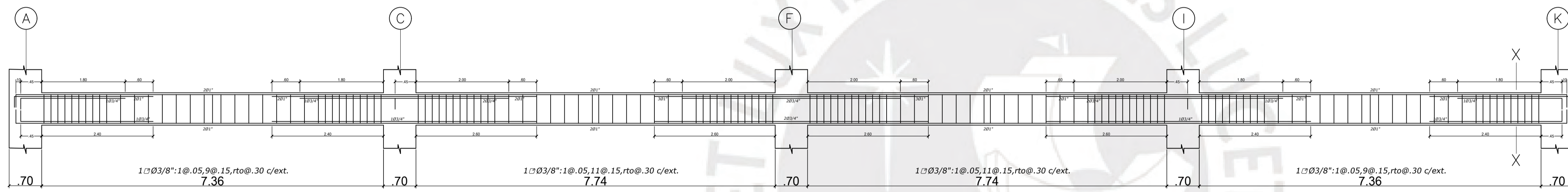
| | | | | |
|---|--------------|---|--------|-----------|
|  | PROYECTO | VIVIENDA MULTIFAMILIAR | ESCALA | 1:25 |
| | PROPIETARIO | MIRAFLORES | FECHA | MAR 2022 |
| | ESPECIALIDAD | ESTRUCTURAS: VIGAS DE LA BASE AISLADA | PLANO | 5/16 |
| | PROFESIONAL | ING. DANTE ALBERTO ALVARADO CASTILLO CIP 232621 | | E5 |



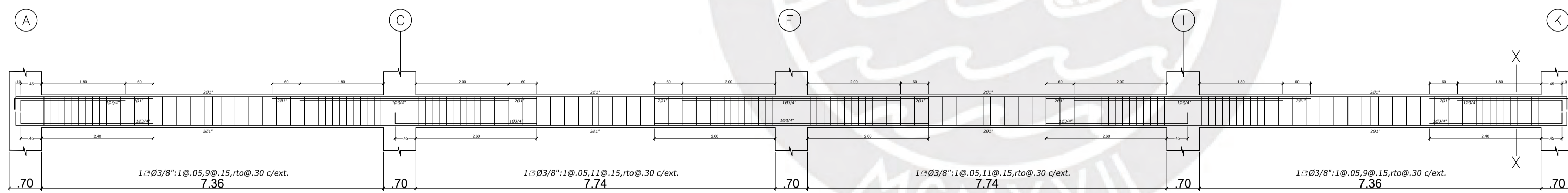
VIGA 6-6 30X70



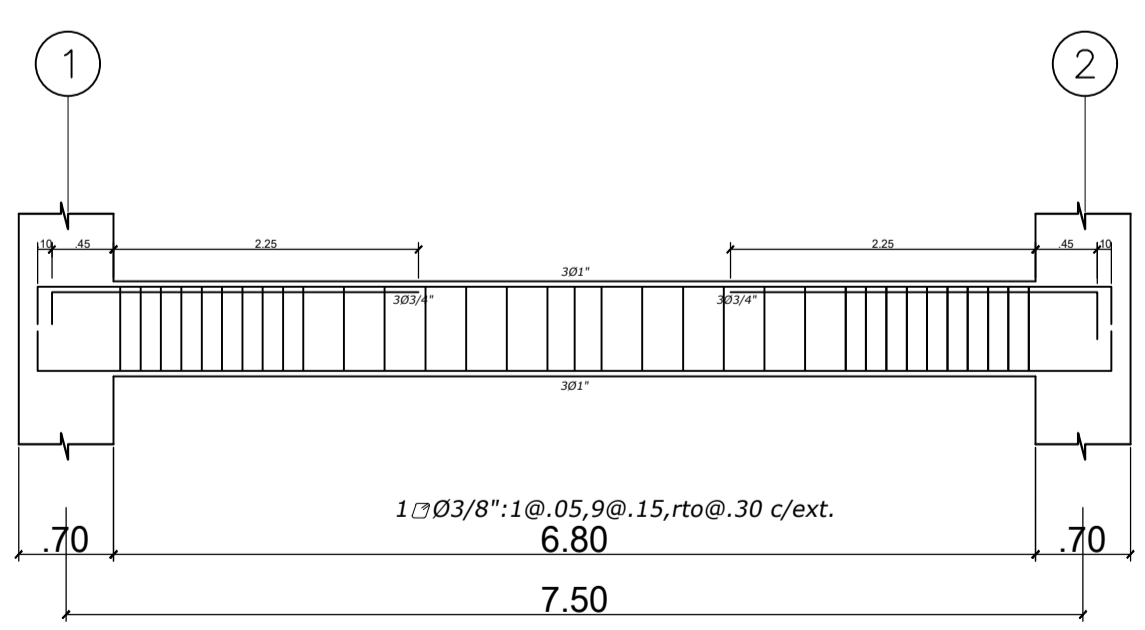
VIGA 5-5 30X70



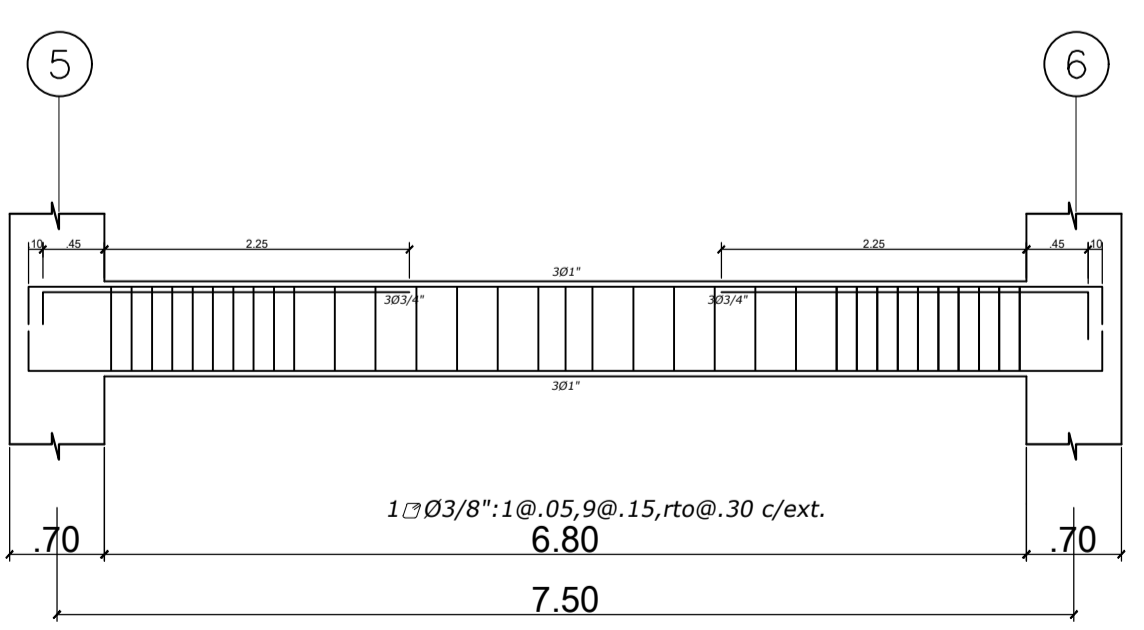
VIGA 2-2 30X70



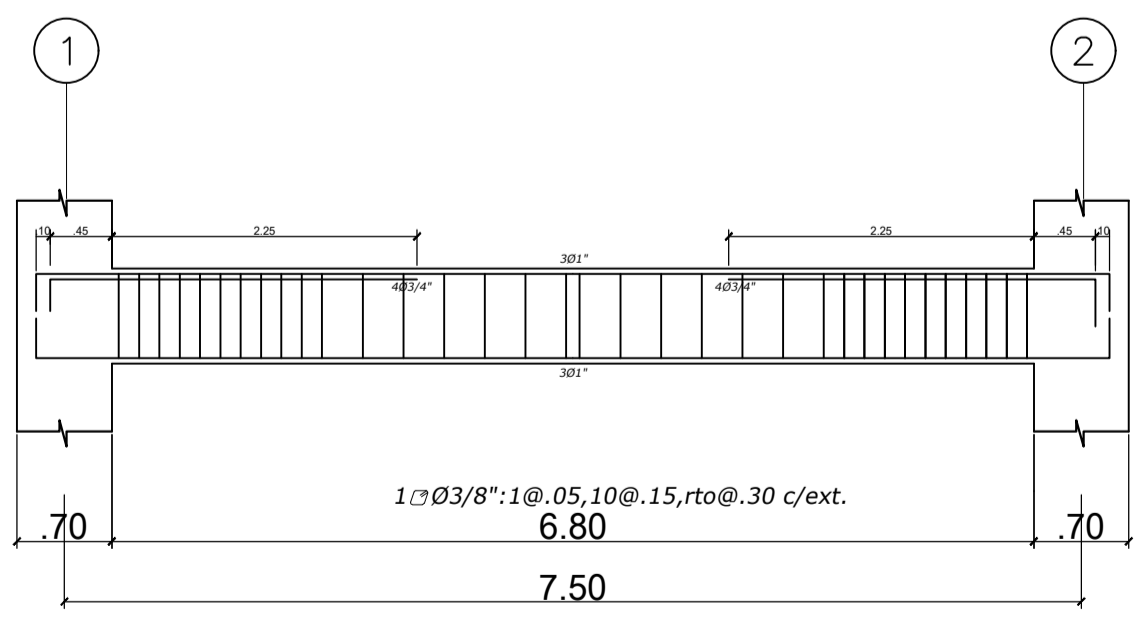
VIGA 1-1 30X70



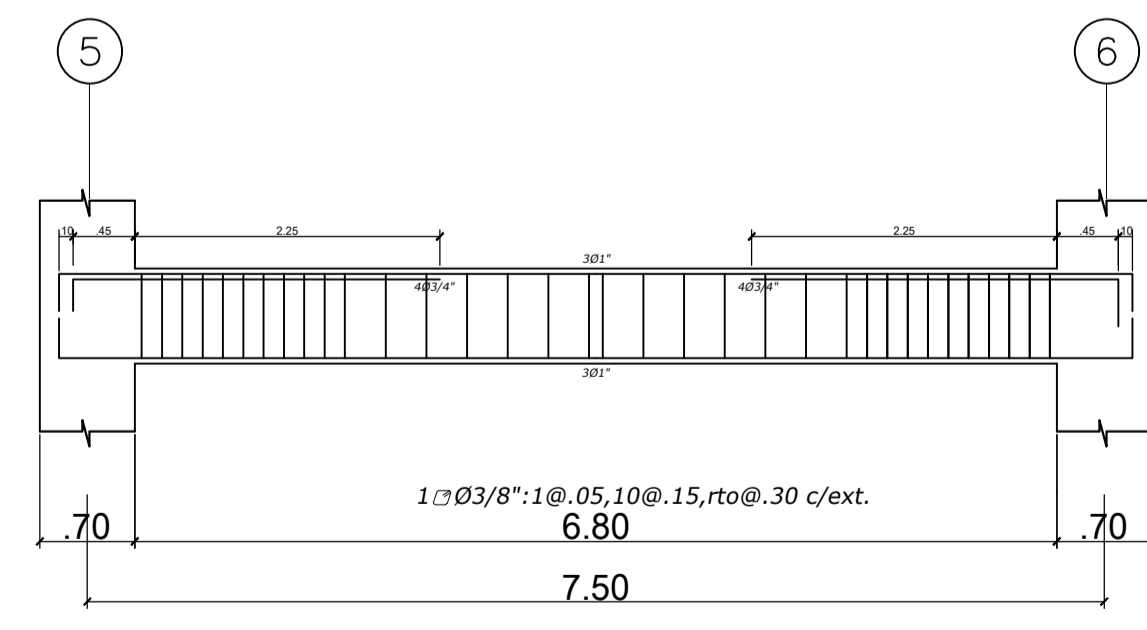
VIGA A-A 30X70



VIGA A-A 30X70




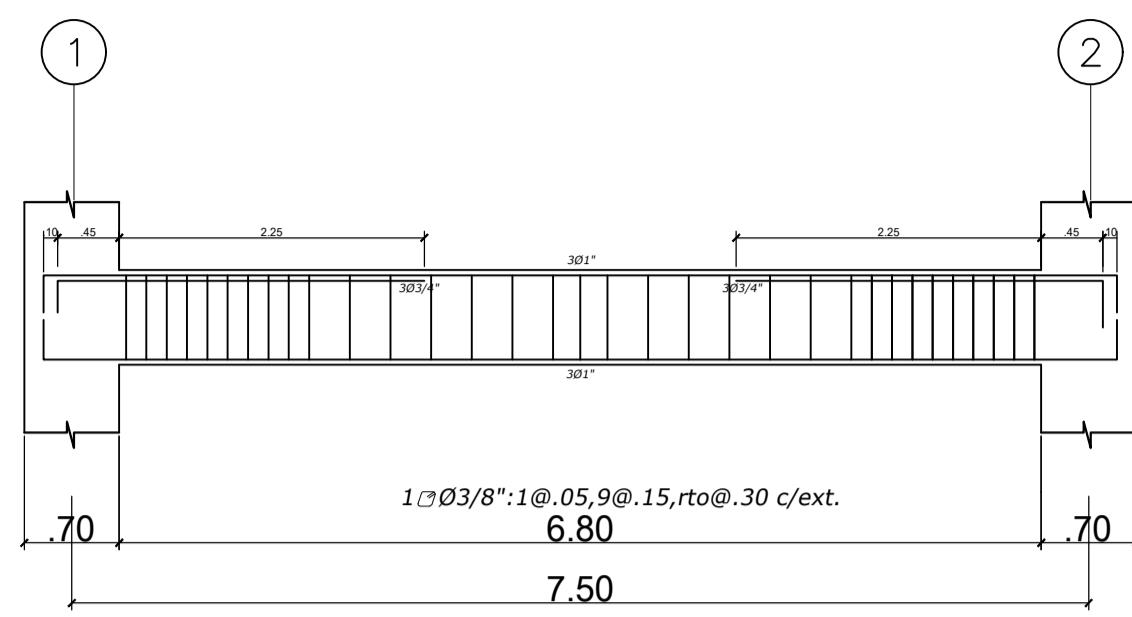
VIGA F-F 30X70



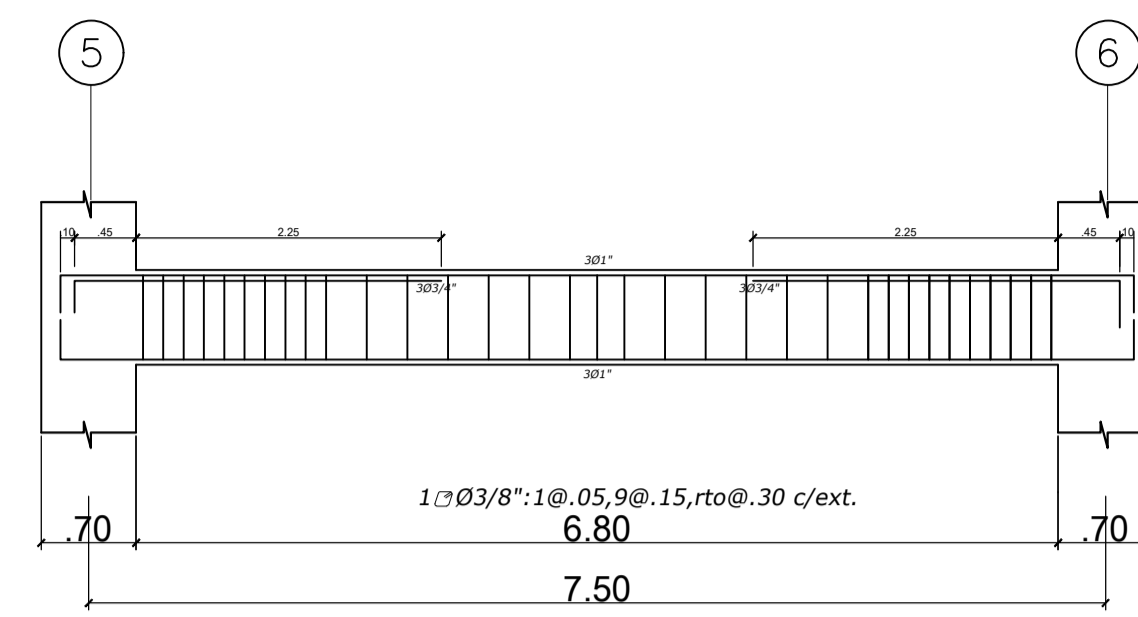
VIGA F-F 30X70

PISO 1

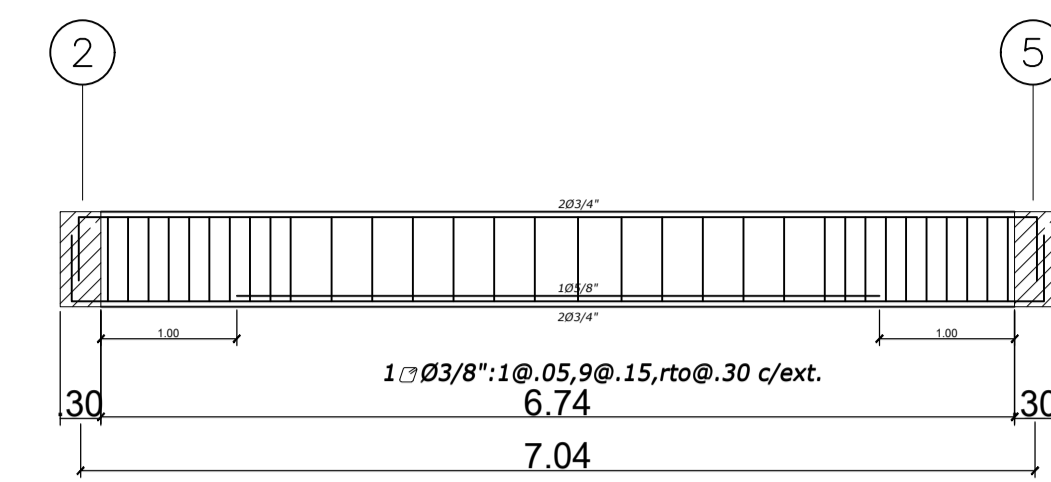
| | | | | |
|---|--------------|---|--------|-----------|
|  | PROYECTO | VIVIENDA MULTIFAMILIAR | ESCALA | 1:25 |
| | PROPIETARIO | MIRAFLORES | FECHA | MAR 2022 |
| | UBICACION | MIRAFLORES | PLANO | 7/16 |
| | ESPECIALIDAD | ESTRUCTURAS: VIGAS DEL PISO 1 | | |
| | PROFESIONAL | ING. DANTE ALBERTO ALVARADO CASTILLO CIP 232621 | | |
| | | | | E7 |



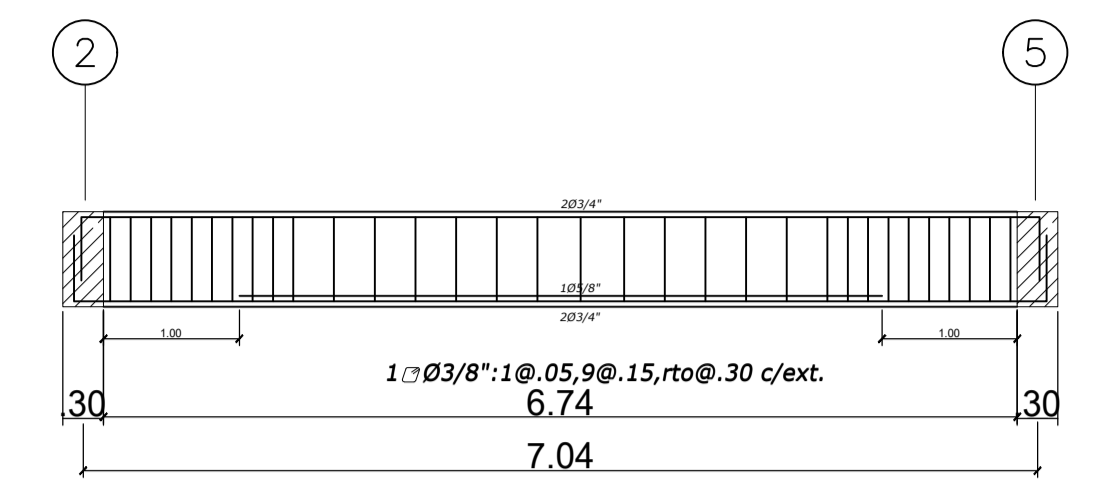
VIGA K-K 30X70



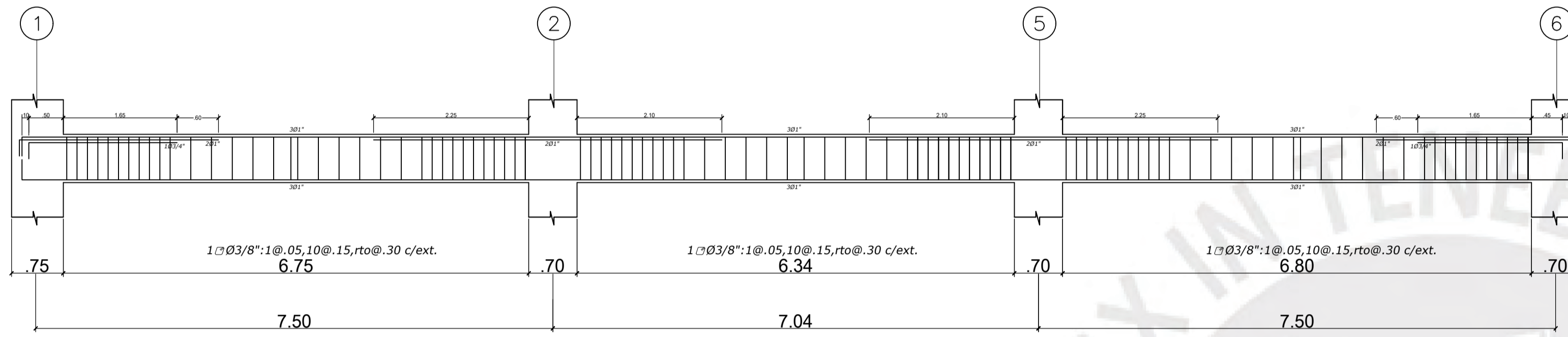
VIGA K-K 30X70



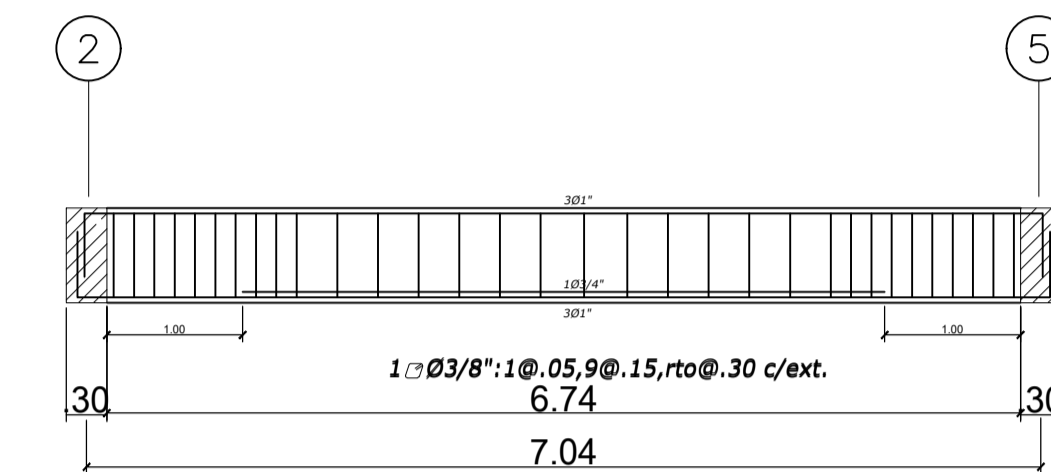
VIGA B-B 30X70



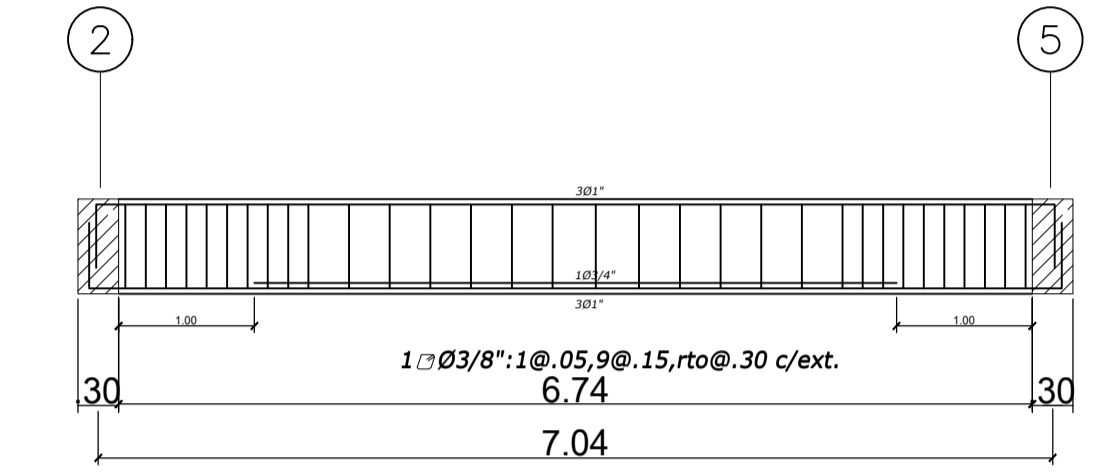
VIGA J-J 30X70



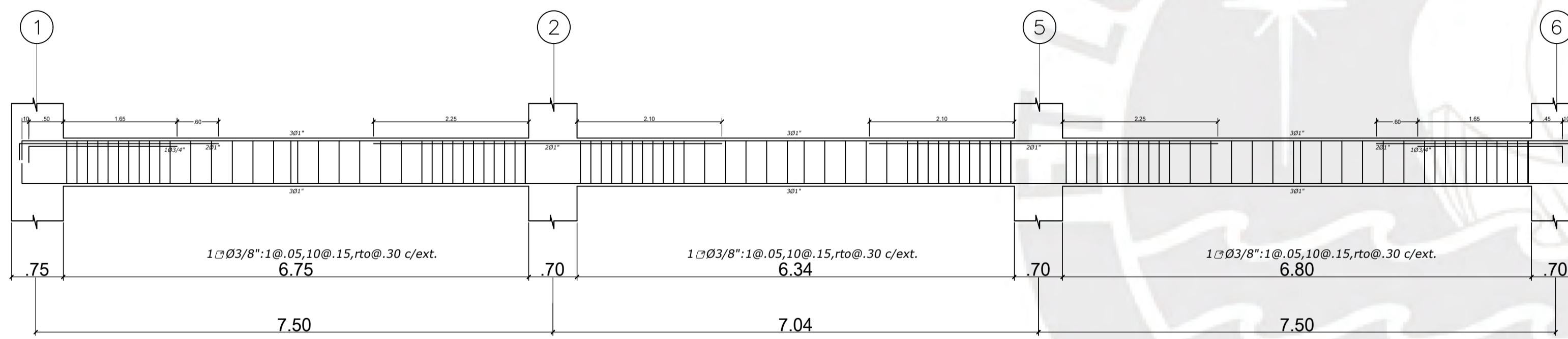
VIGA C-C 30X70



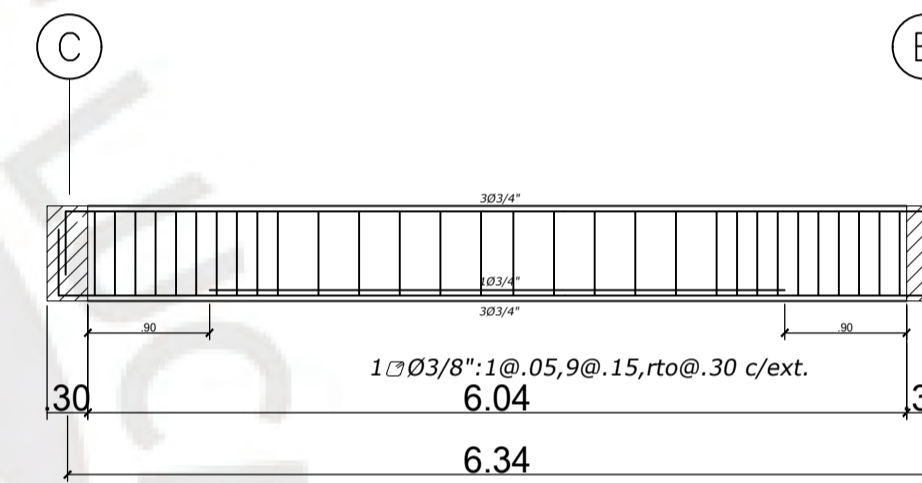
VIGA E-E 30X70



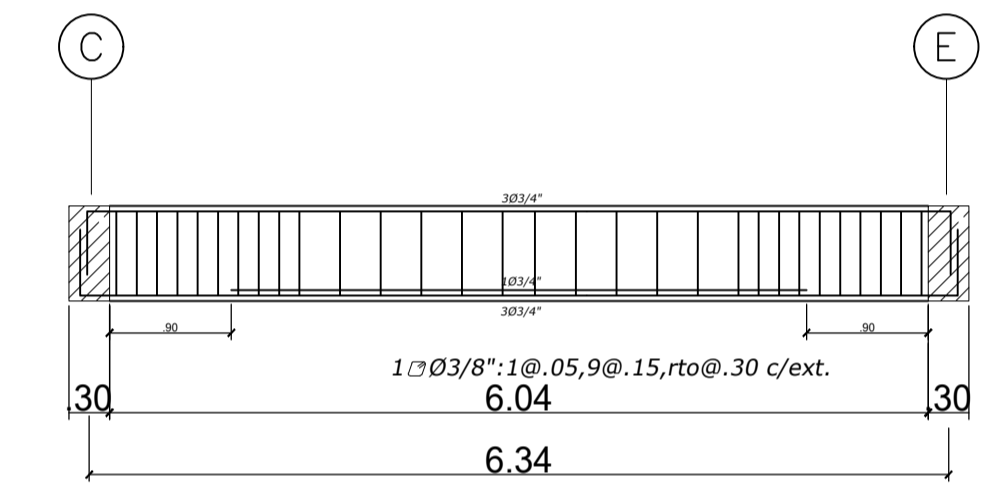
VIGA G-G 30X70



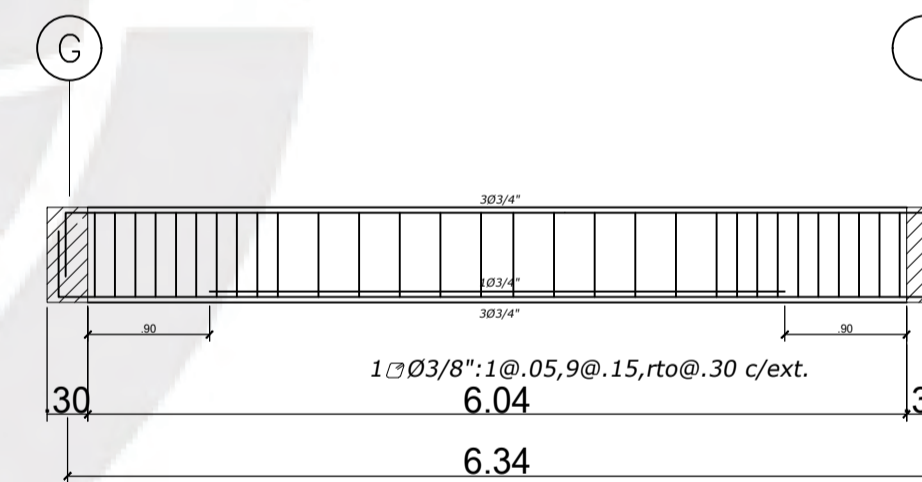
VIGA I-I 30X70



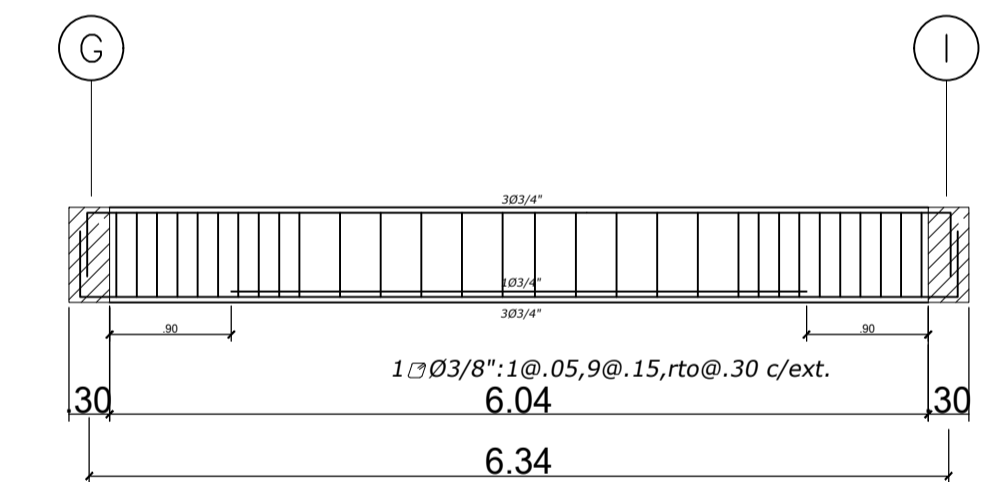
VIGA 4-4 30X70



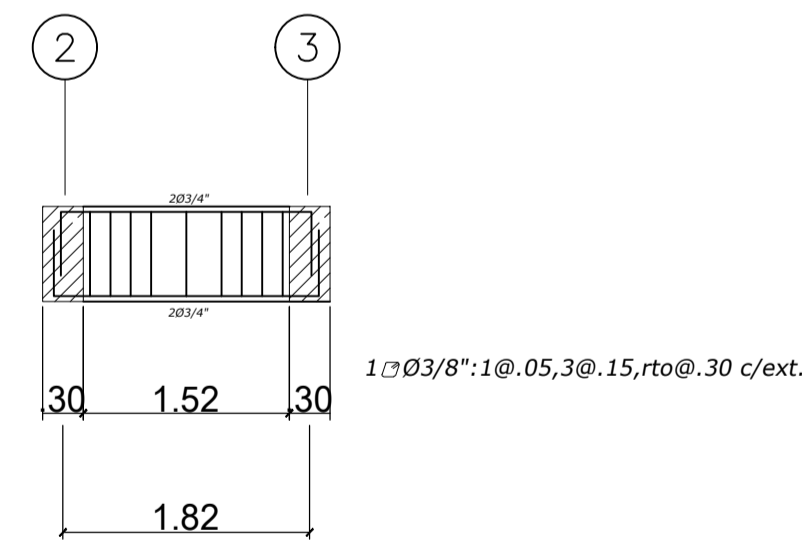
VIGA 3-3 30X70



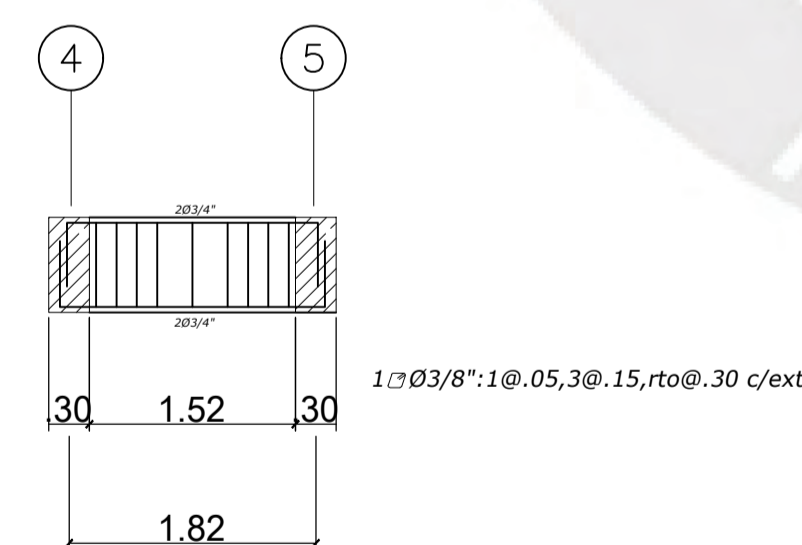
VIGA 4-4 30X70



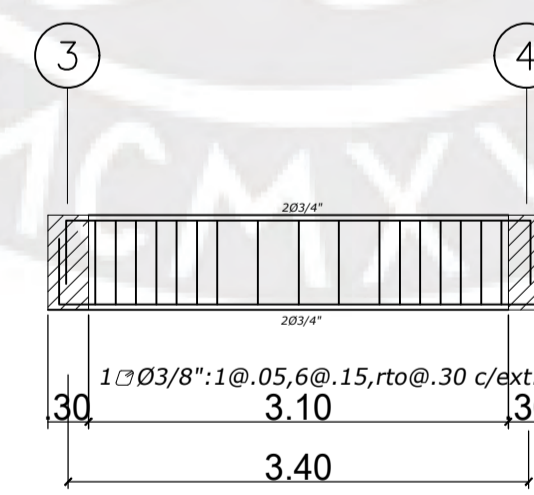
VIGA 3-3 30X70



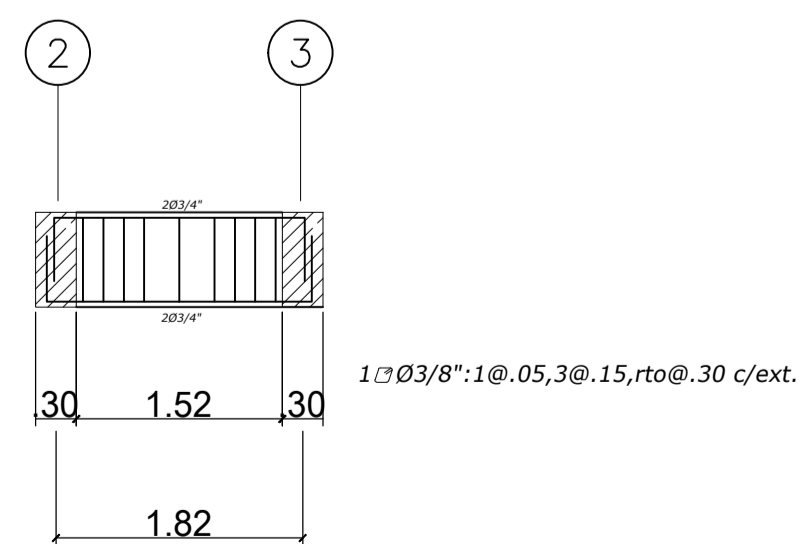
VIGA D'-D' 30X70



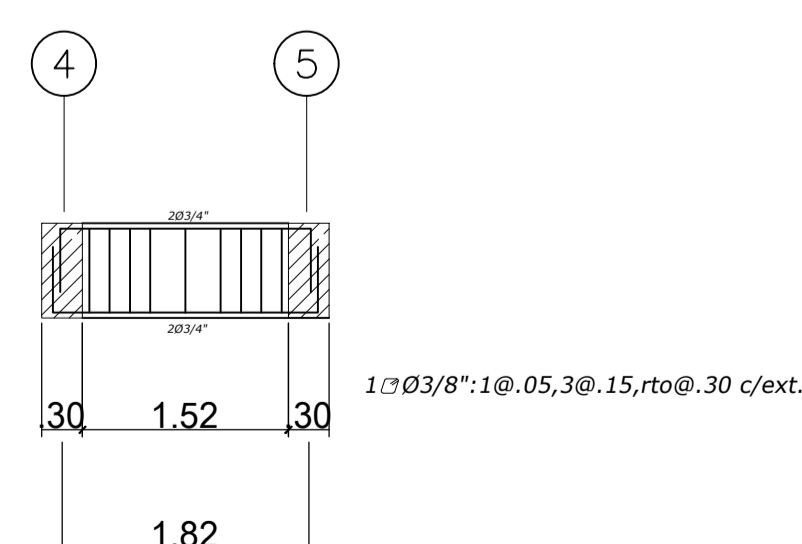
VIGA D'-D' 30X70



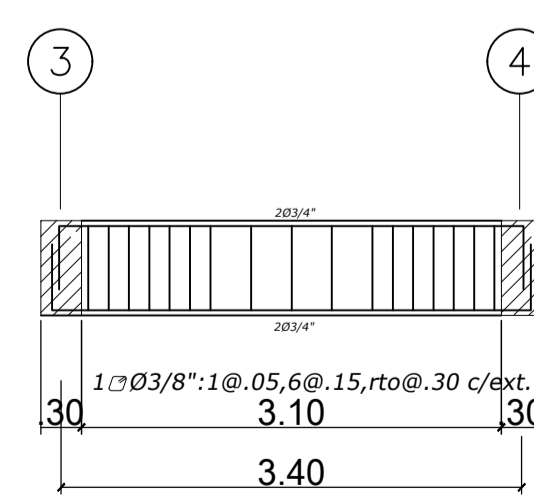
VIGA D-D 30X70



VIGA G'-G' 30X70




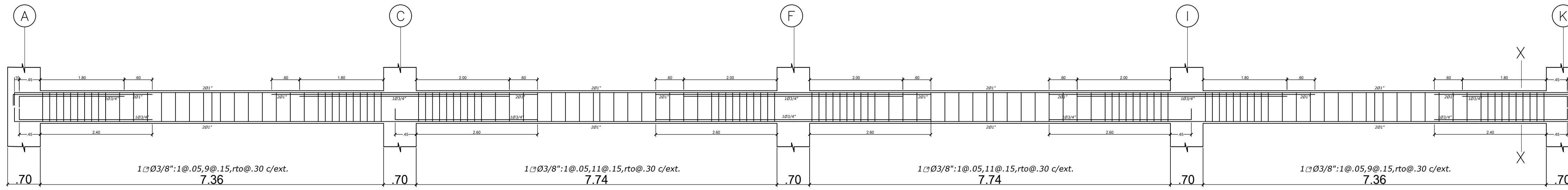
VIGA G'-G' 30X70



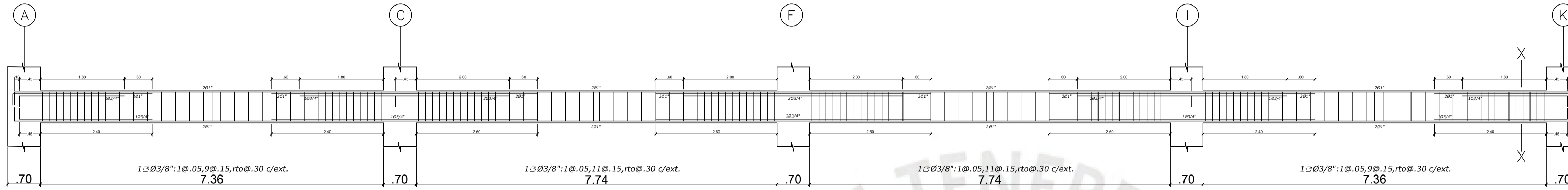
VIGA H-H 30X70

PISO 1

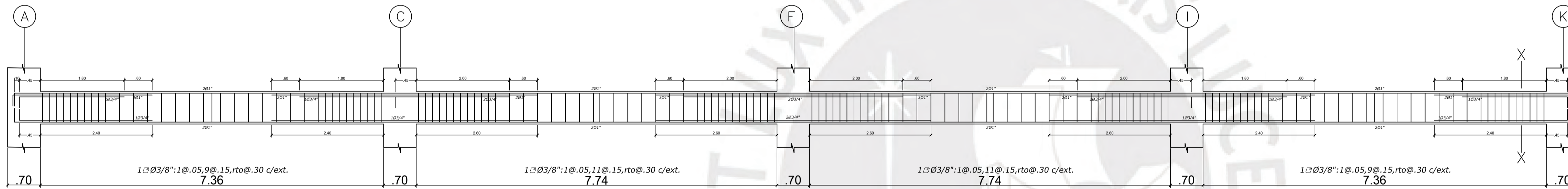
| | | | | |
|---|--------------|---|--------|-----------|
|  | PROYECTO | VIVIENDA MULTIFAMILIAR | ESCALA | 1:25 |
| | PROPIETARIO | | FECHA | MAR 2022 |
| | UBICACION | MIRAFLORES | PLANO | 8/16 |
| | ESPECIALIDAD | ESTRUCTURAS: VIGAS DEL PISO 1 | | |
| | PROFESIONAL | ING. DANTE ALBERTO ALVARADO CASTILLO CIP 232621 | | |
| | | | | E8 |



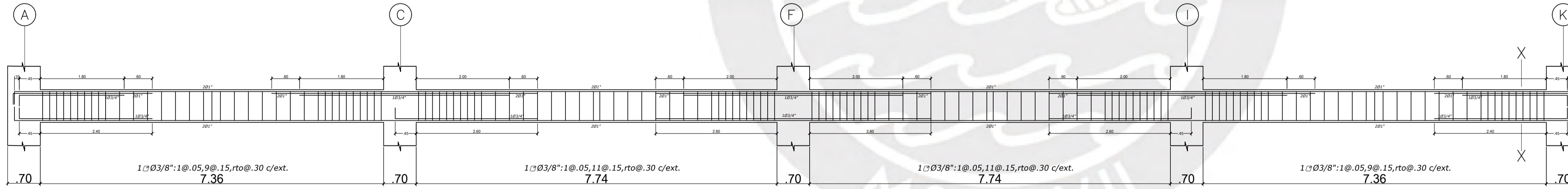
VIGA 6-6 30X70



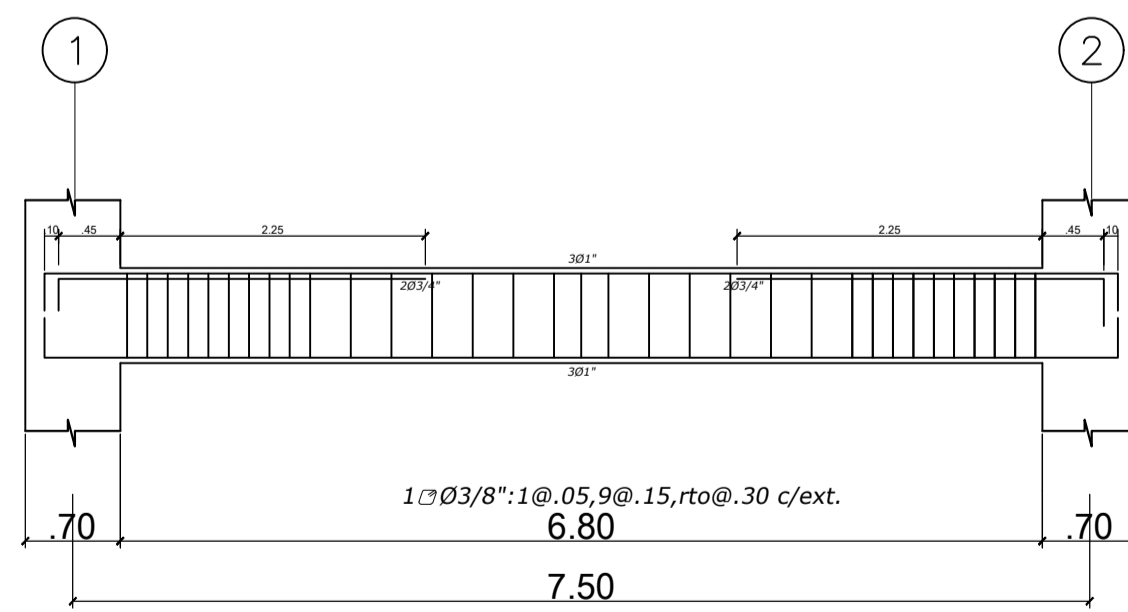
VIGA 5-5 30X70



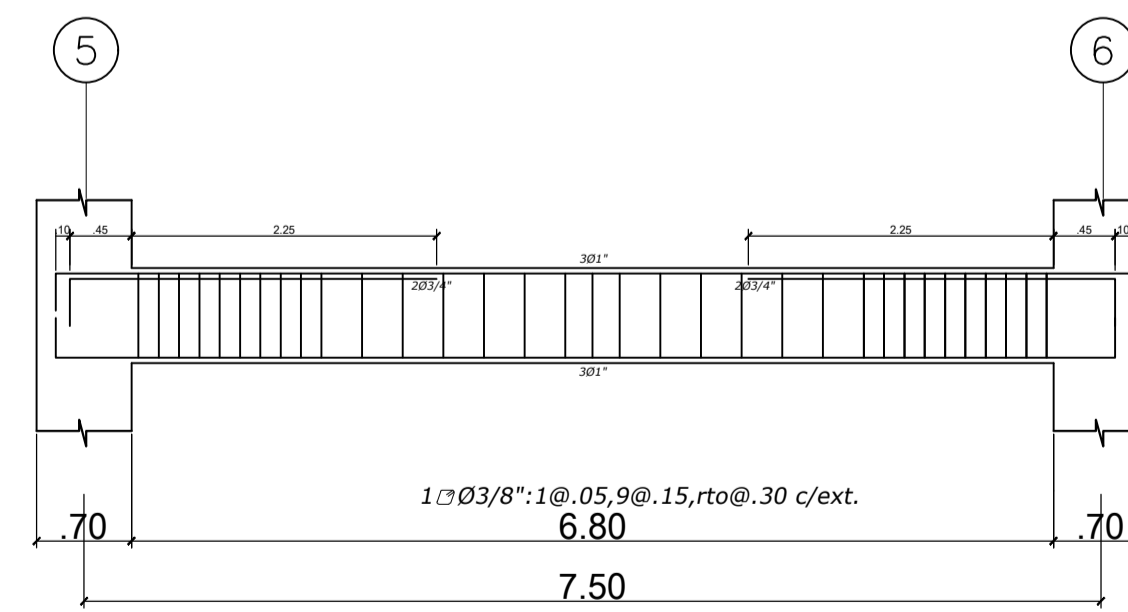
VIGA 2-2 30X70



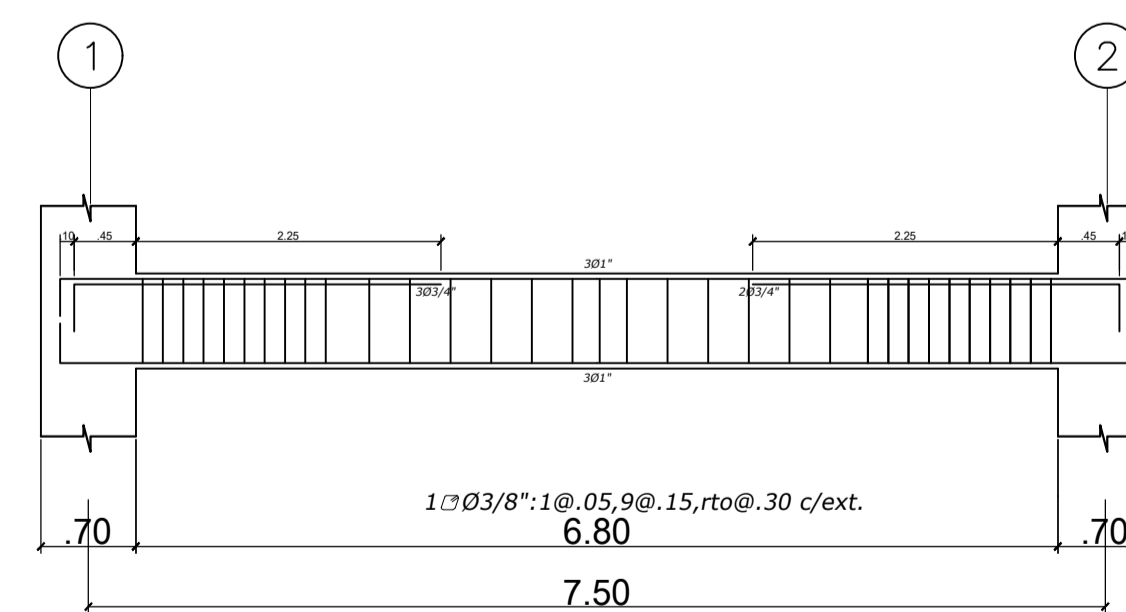
VIGA 1-1 30X70



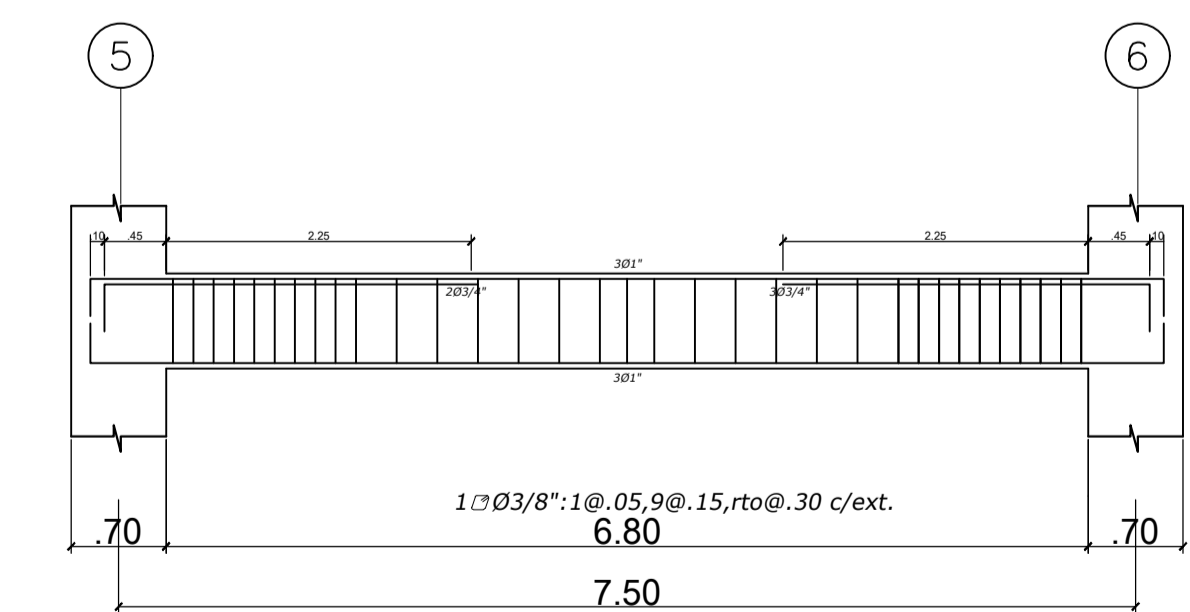
VIGA A-A 30X70



VIGA A-A 30X70



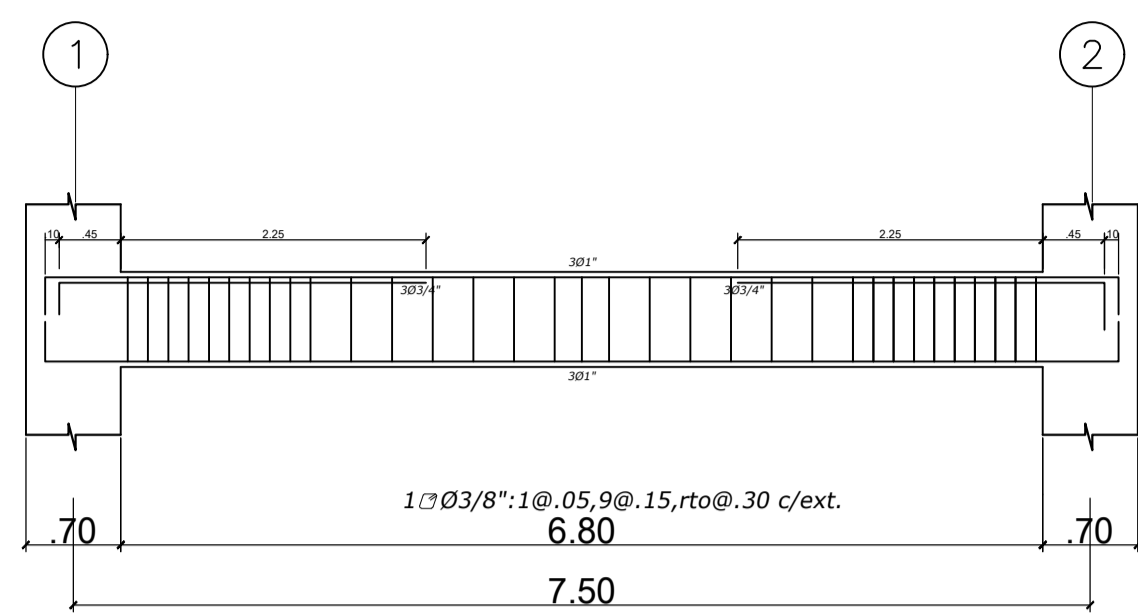
VIGA F-F 30X70



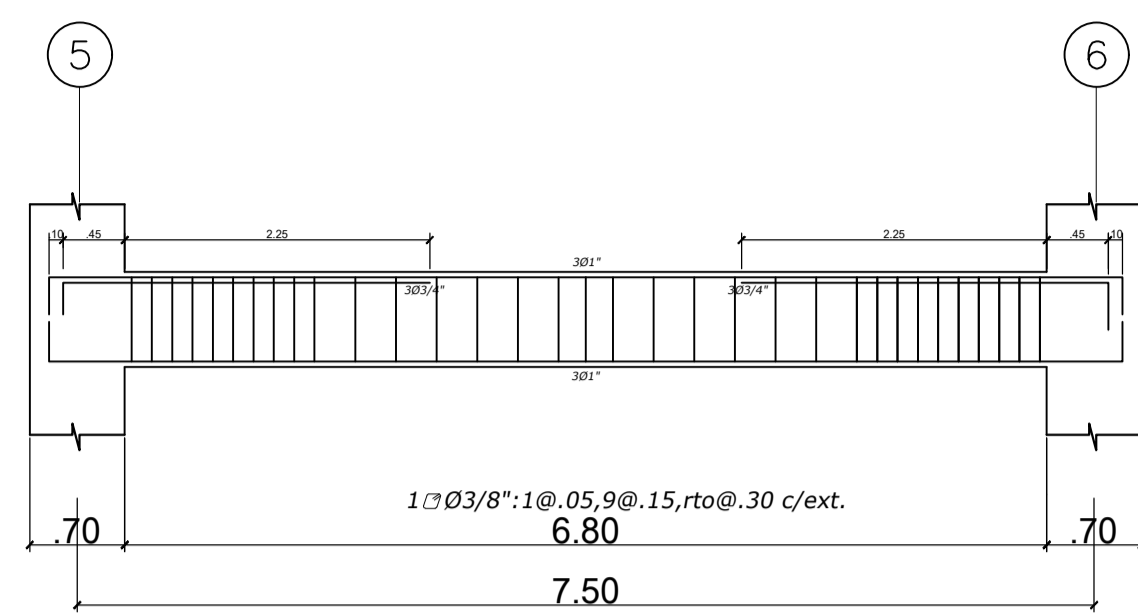
VIGA F-F 30X70

PISO 2

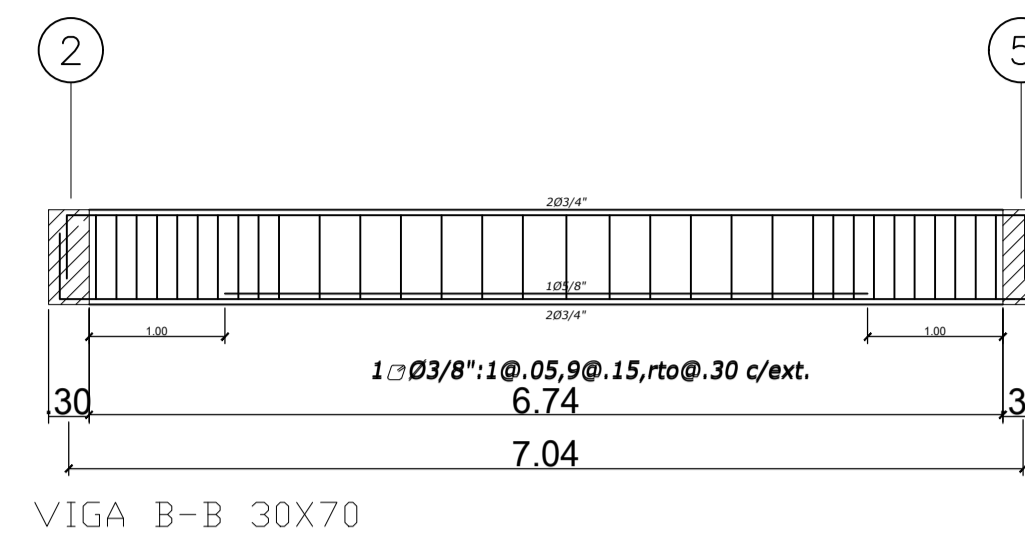
| | | | | |
|--|--------------|---|--------|-----------|
| | PROYECTO | VIVIENDA MULTIFAMILIAR | ESCALA | 1:25 |
| | PROPIETARIO | | FECHA | MAR 2022 |
| | UBICACION | MIRAFLORES | PLANO | 9/16 |
| | ESPECIALIDAD | ESTRUCTURAS: VIGAS DEL PISO 2 | | |
| | PROFESIONAL | ING. DANTE ALBERTO ALVARADO CASTILLO CIP 232621 | | E9 |



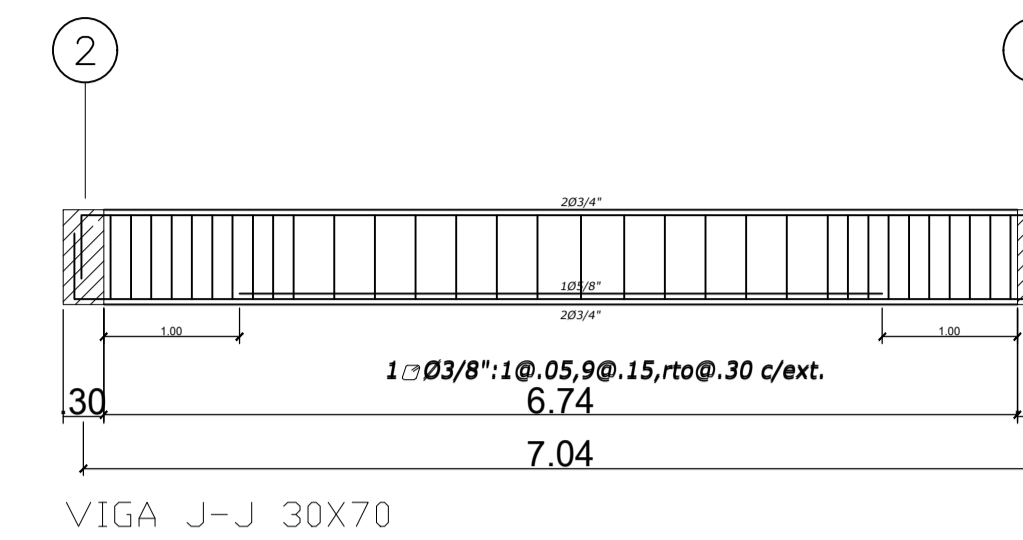
VIGA K-K 30X70



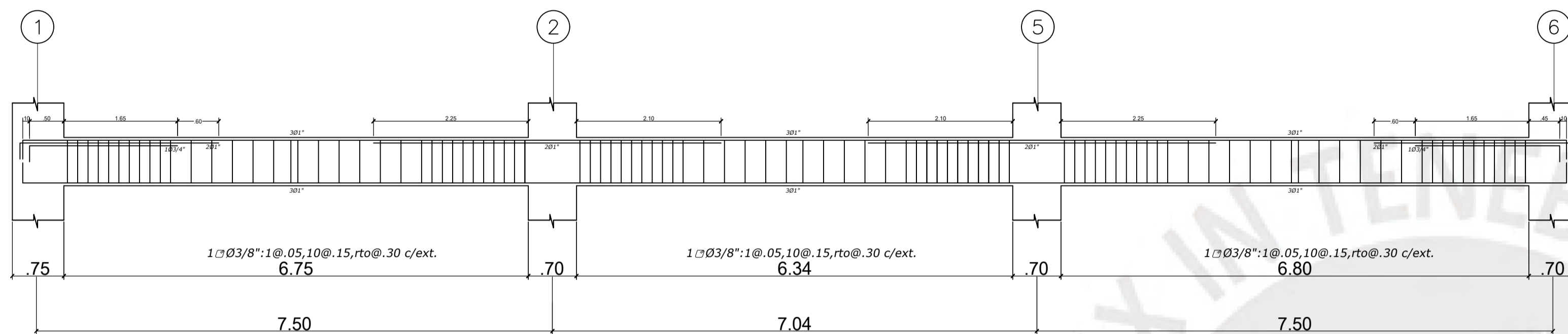
VIGA K-K 30X70



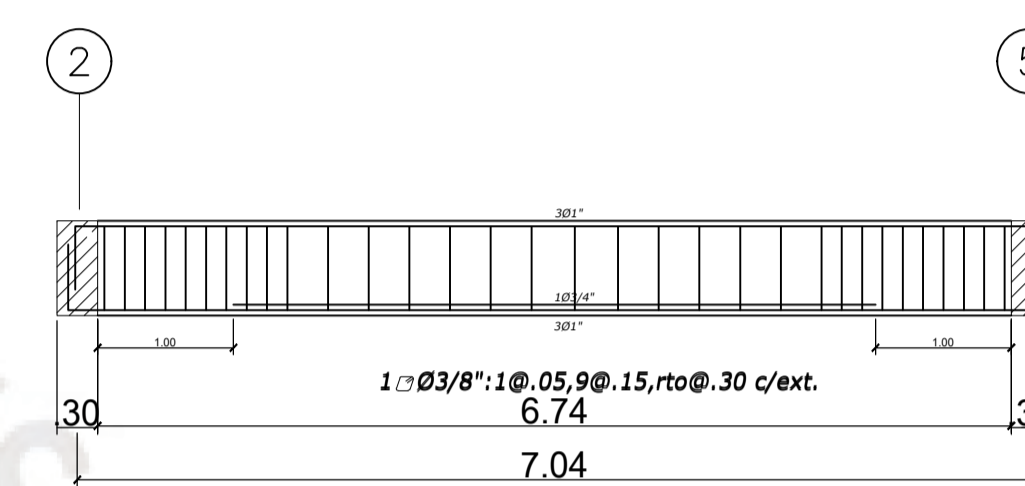
VIGA B-B 30X70



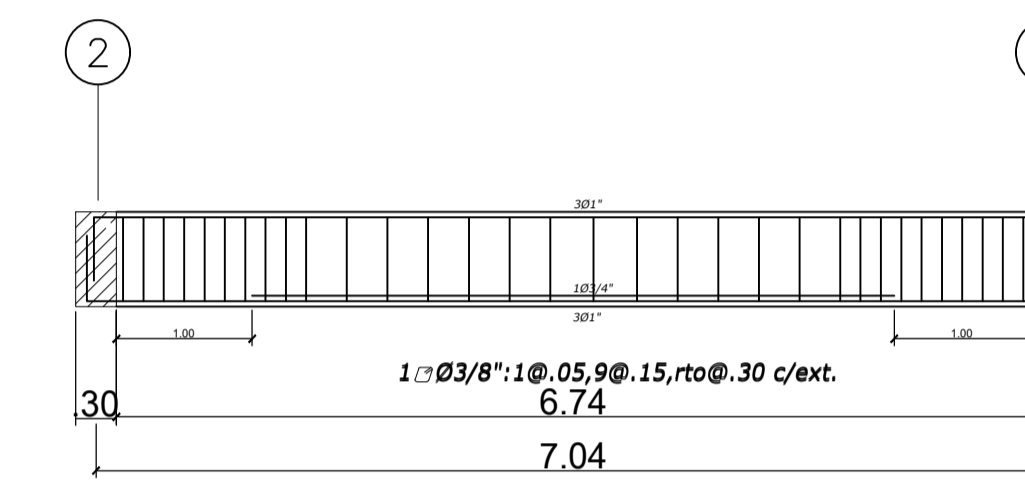
VIGA J-J 30X70



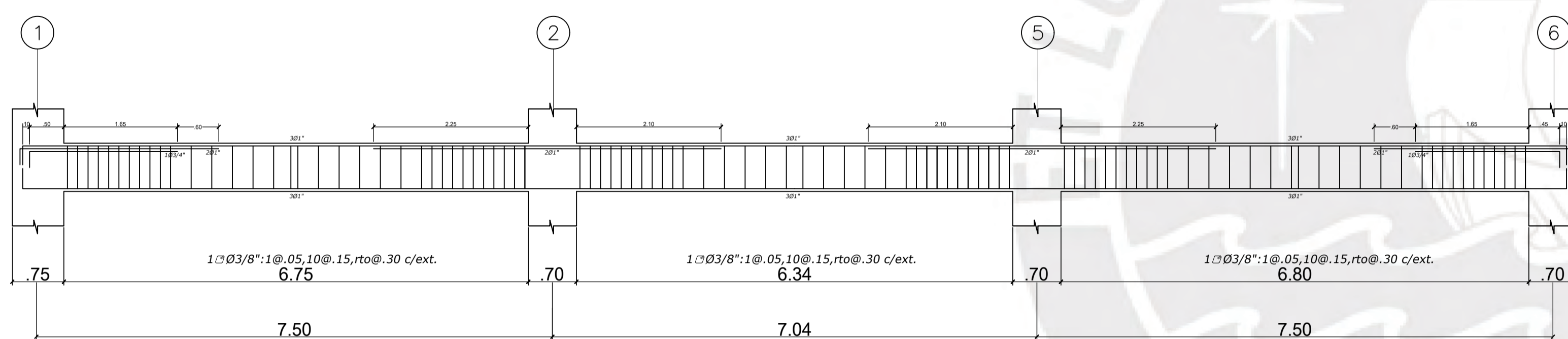
VIGA C-C 30X70



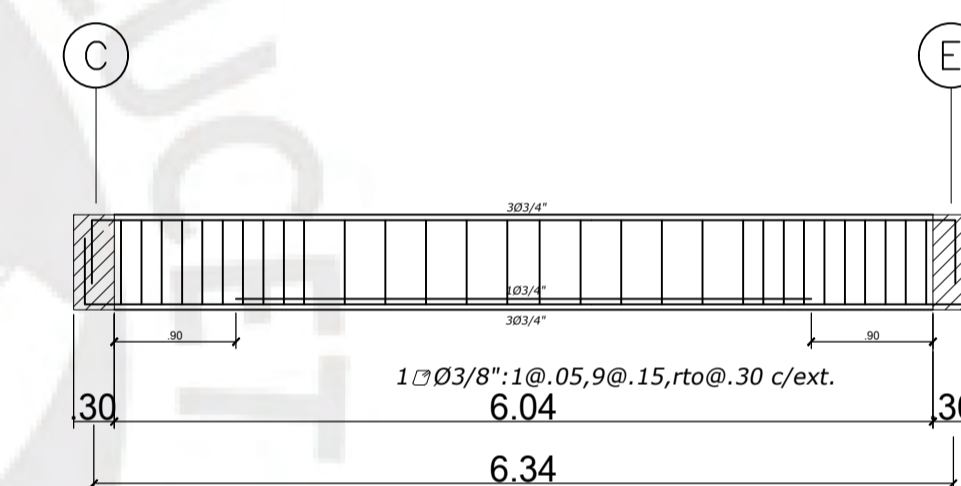
VIGA E-E 30X70



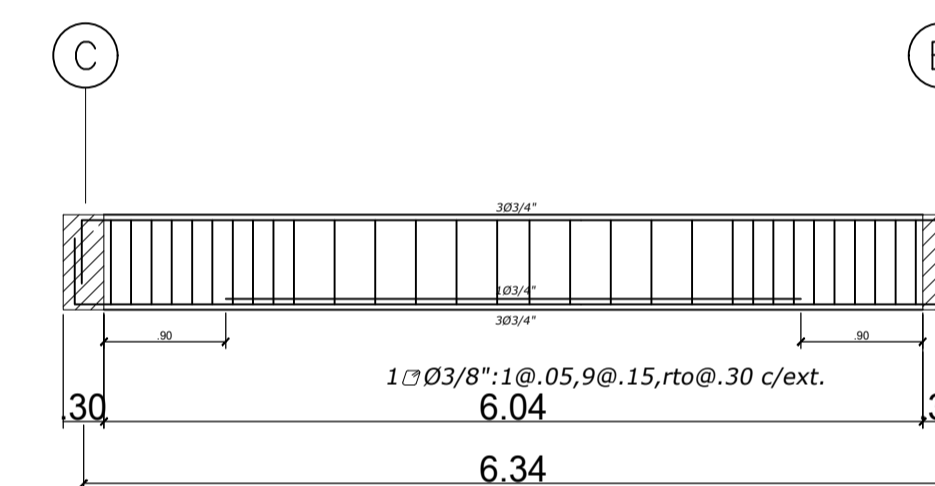
VIGA G-G 30X70



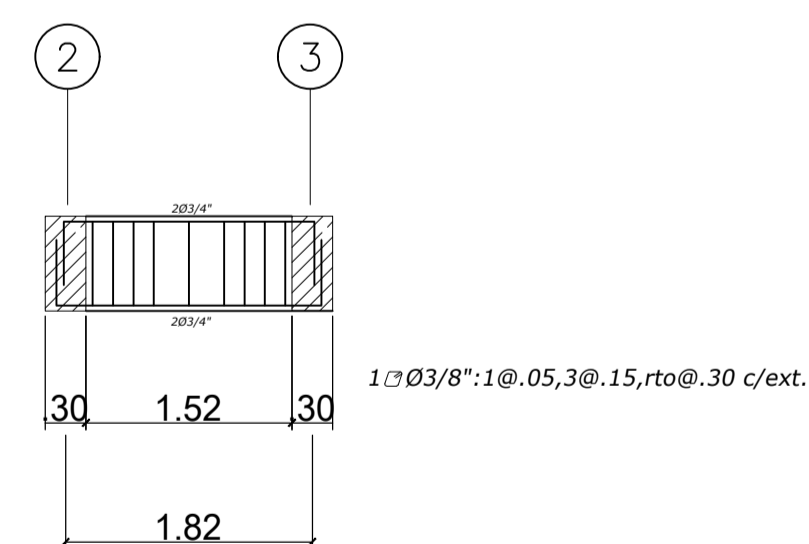
VIGA I-I 30X70



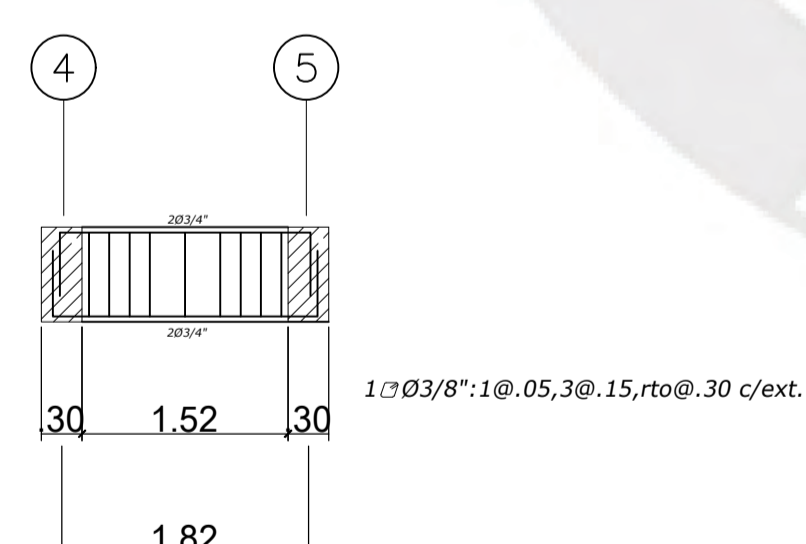
VIGA 4-4 30X70



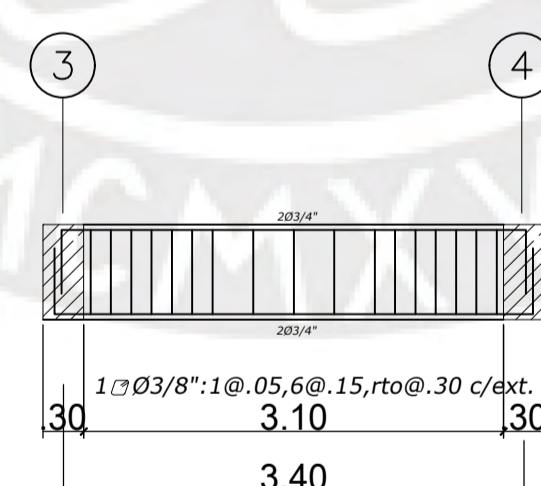
VIGA 3-3 30X70



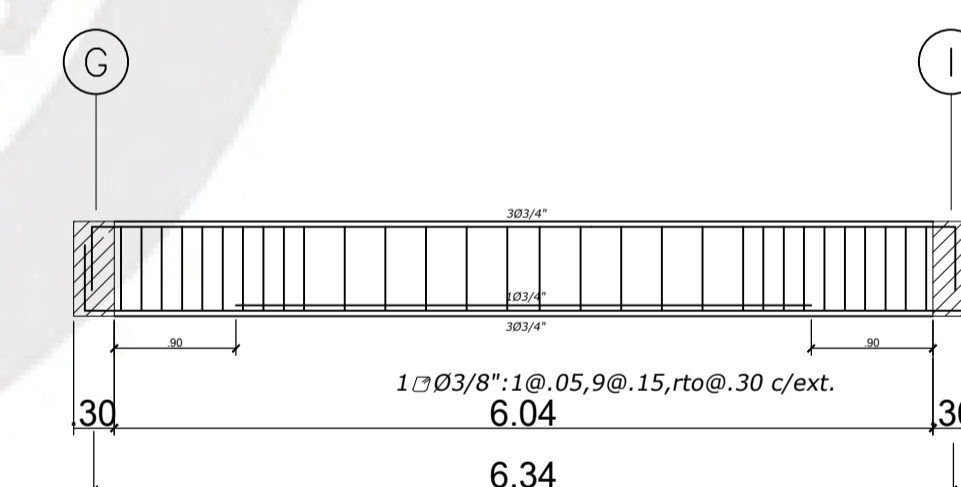
VIGA D'-D' 30X70



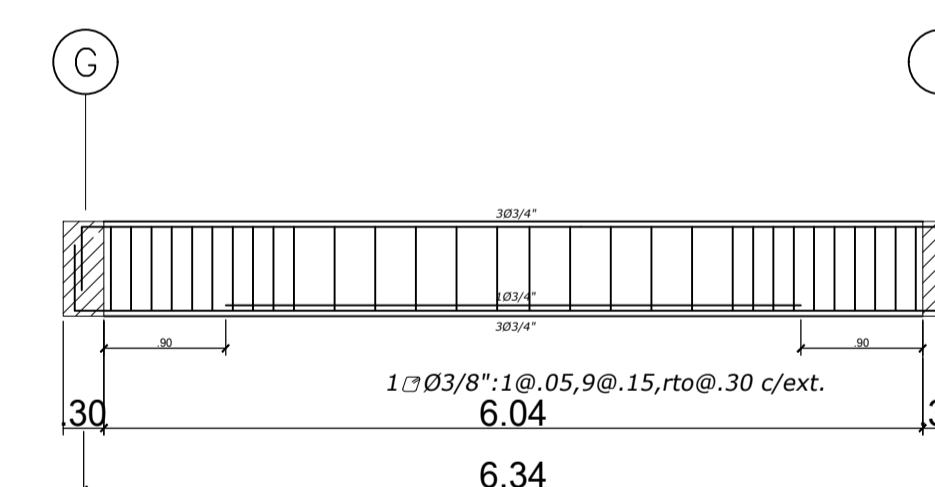
VIGA D'-D' 30X70



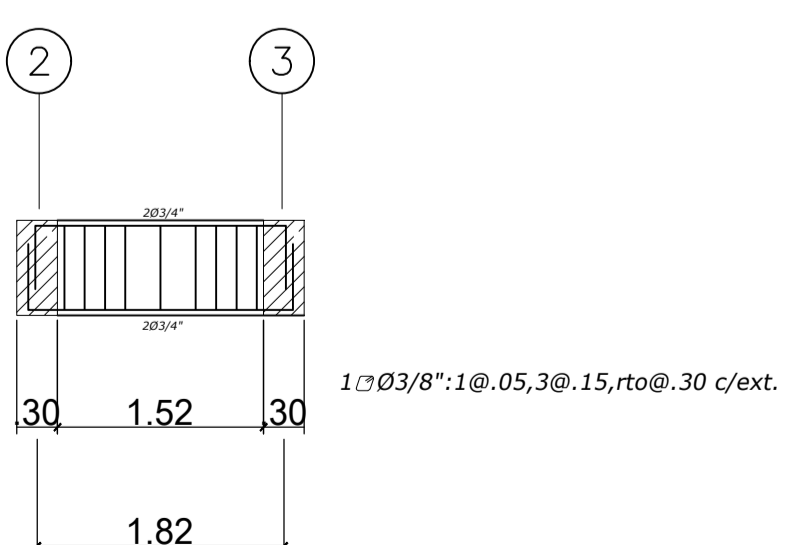
VIGA D-D 30X70



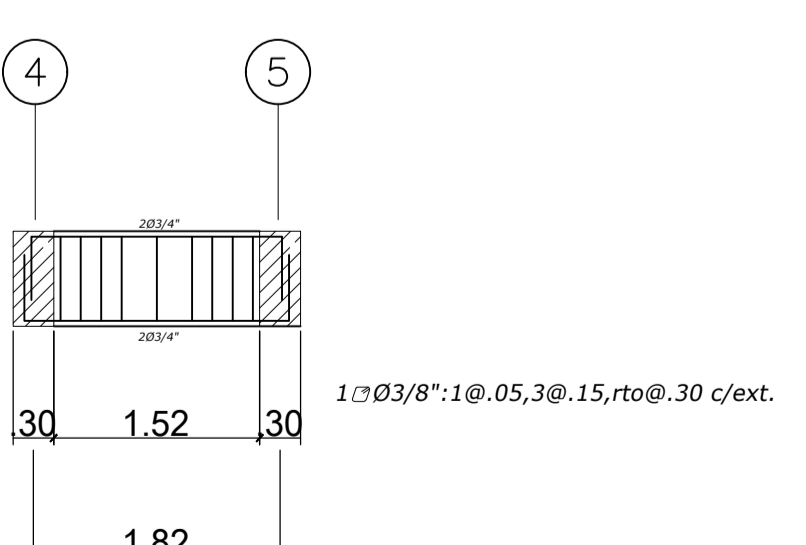
VIGA 4-4 30X70



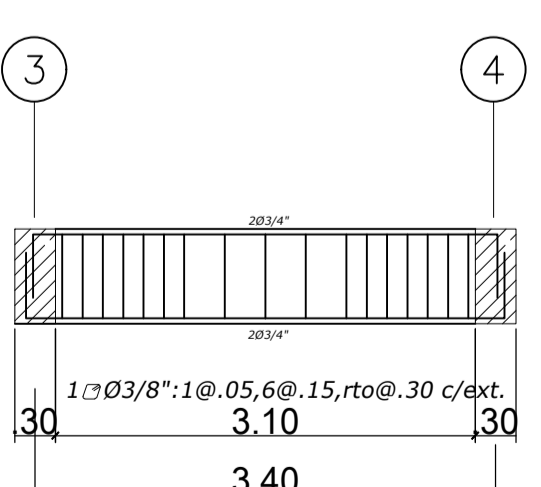
VIGA 3-3 30X70



VIGA G'-G' 30X70




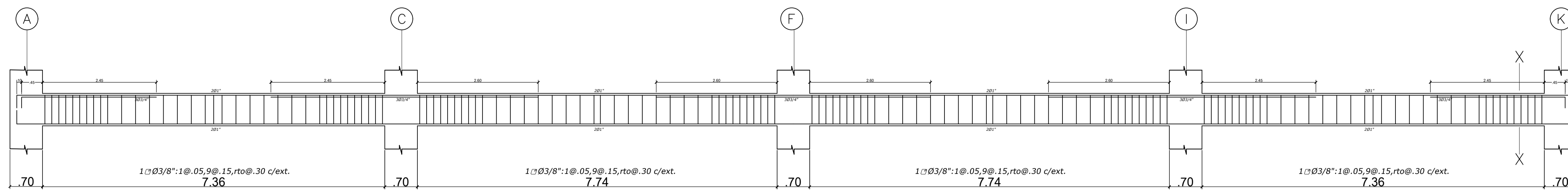
VIGA G'-G' 30X70



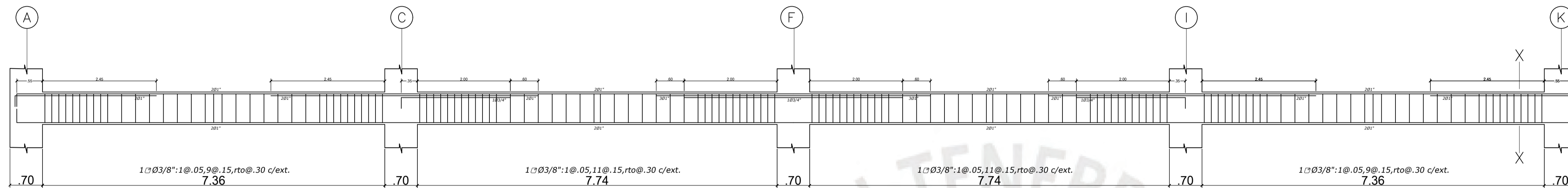
VIGA H-H 30X70

PISO 2

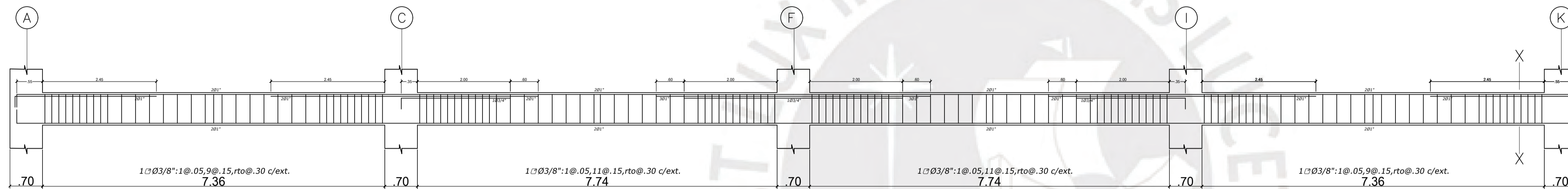
| | | | | |
|---|--------------|---|--------|------------|
|  | PROYECTO | VIVIENDA MULTIFAMILIAR | ESCALA | 1:25 |
| | PROPIETARIO | | FECHA | MAR 2022 |
| | UBICACION | MIRAFLORES | PLANO | 10/16 |
| | ESPECIALIDAD | ESTRUCTURAS: VIGAS DEL PISO 2 | | |
| | PROFESIONAL | ING. DANTE ALBERTO ALVARADO CASTILLO CIP 232621 | | |
| | | | | E10 |



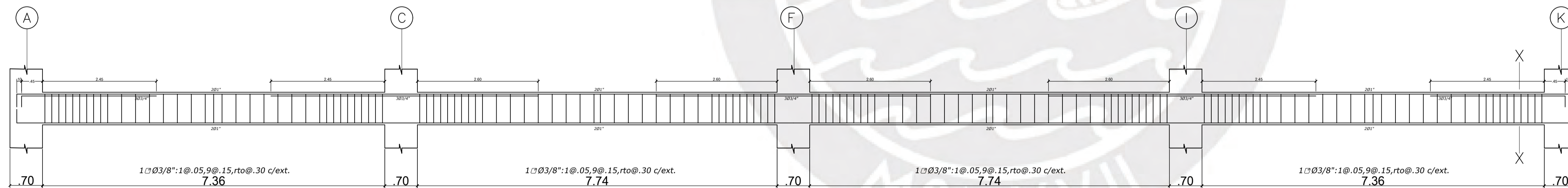
VIGA 6-6 30X70



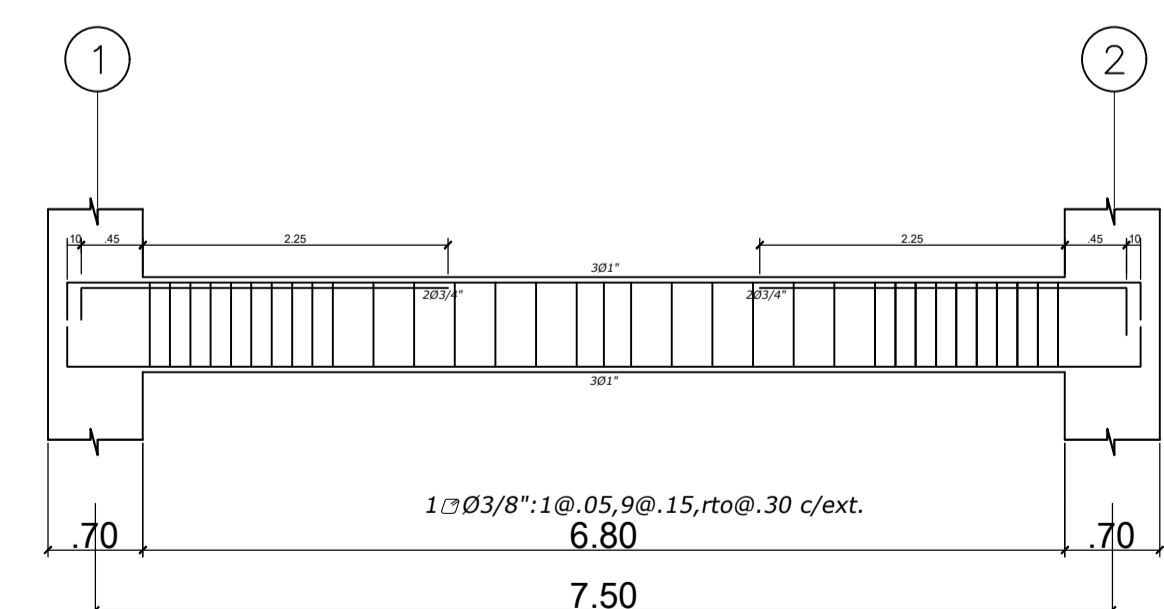
VIGA 5-5 30X70



VIGA 2-2 30X70



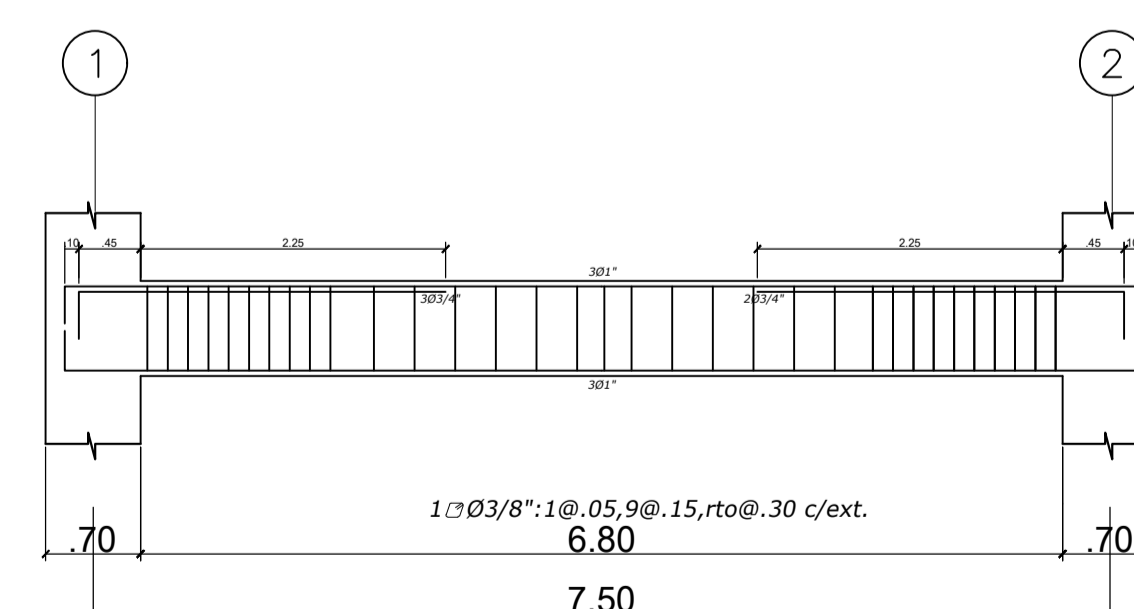
VIGA 1-1 30X70



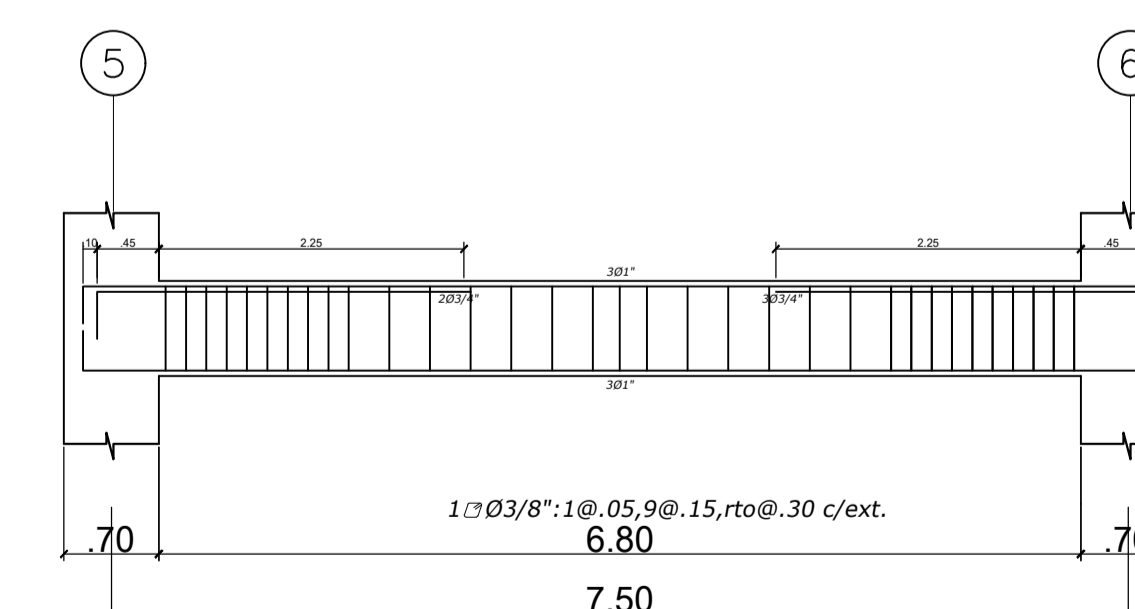
VIGA A-A 30X70



VIGA A-A 30X70



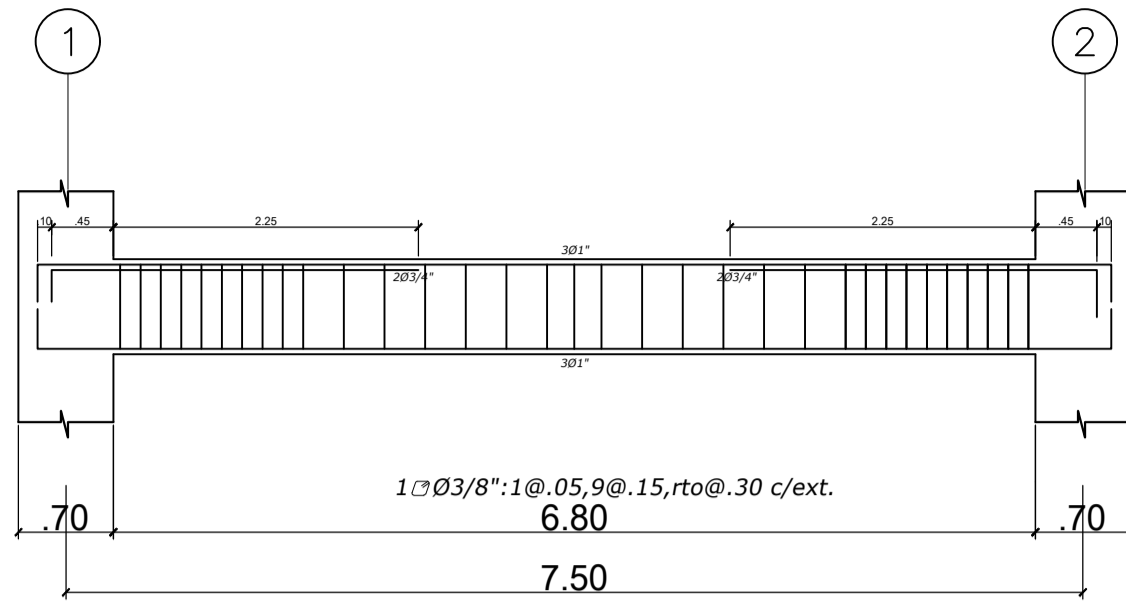
VIGA F-F 30X70



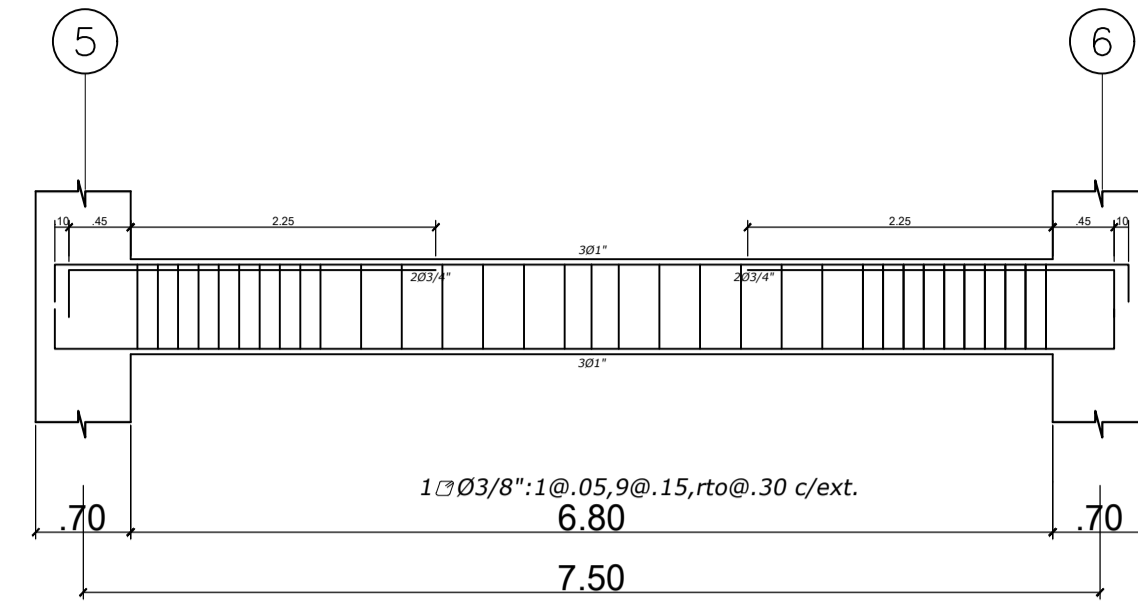
VIGA F-F 30X70

PISO 3

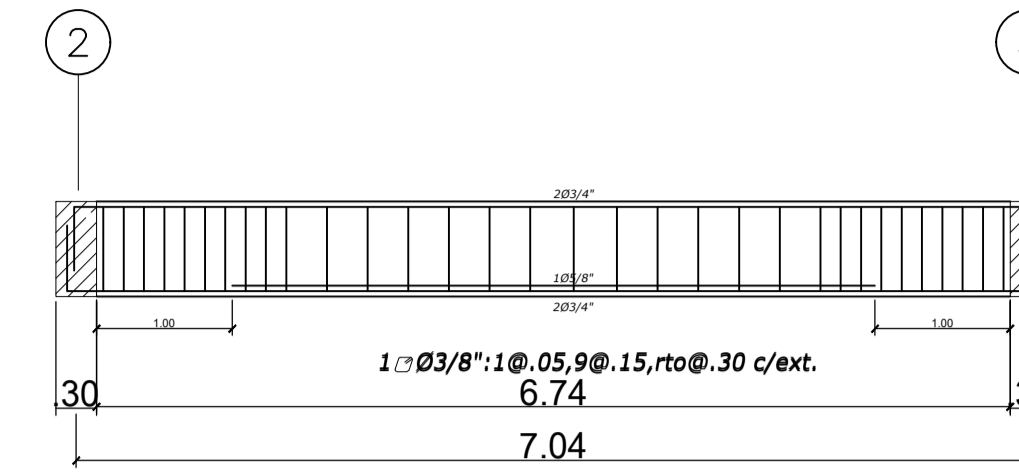
| | | | | |
|-------------|---|-------------------------------|------------|----------|
| | PROYECTO | VIVIENDA MULTIFAMILIAR | ESCALA | 1:25 |
| | PROPIETARIO | | FECHA | MAR 2022 |
| | UBICACION | MIRAFLORES | PLANO: | 11/16 |
| | ESPECIALIDAD | ESTRUCTURAS: VIGAS DEL PISO 3 | E11 | |
| PROFESIONAL | ING. DANTE ALBERTO ALVARADO CASTILLO CIP 232621 | | | |



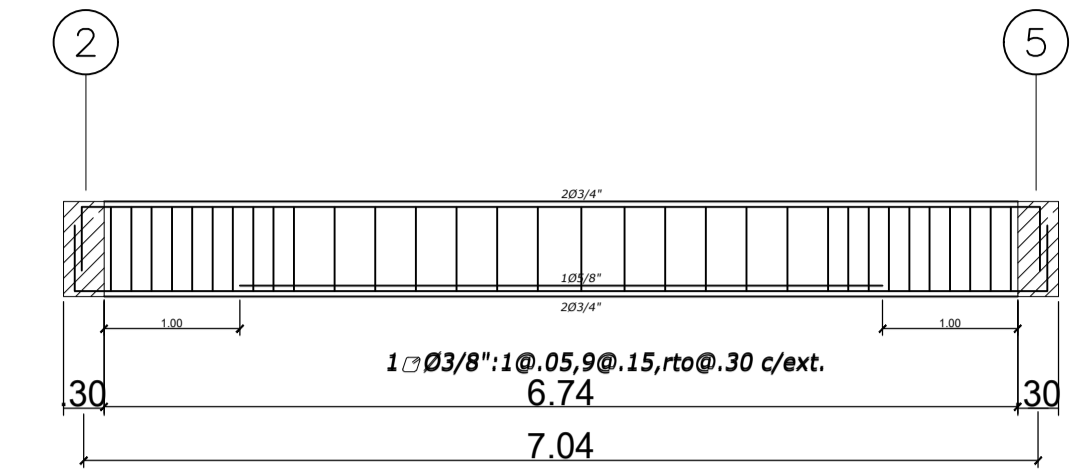
VIGA K-K 30X70



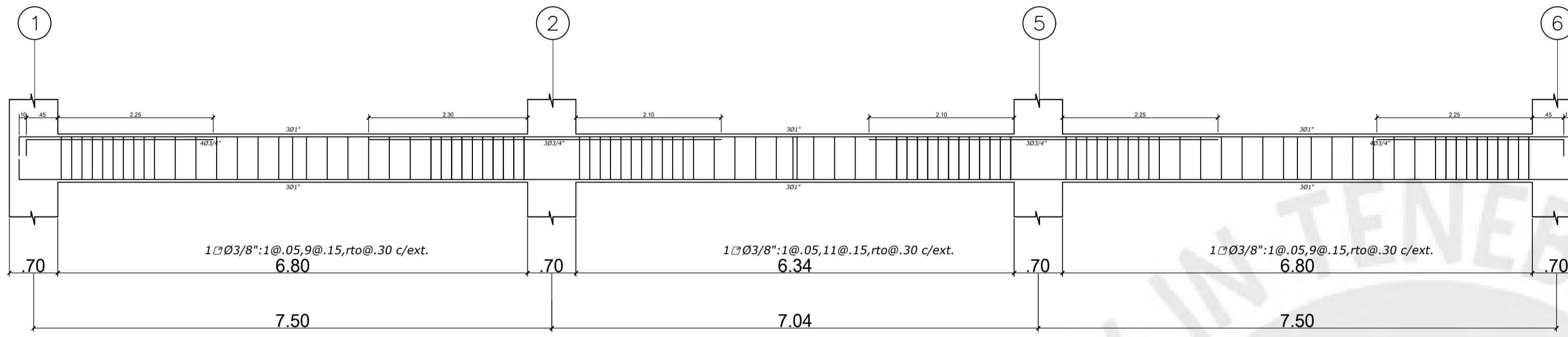
VIGA K-K 30X70



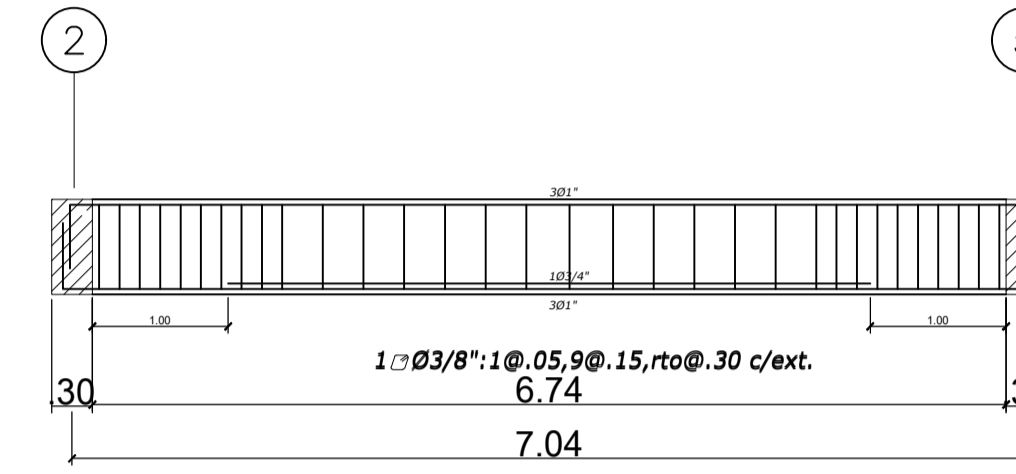
VIGA B-B 30X70



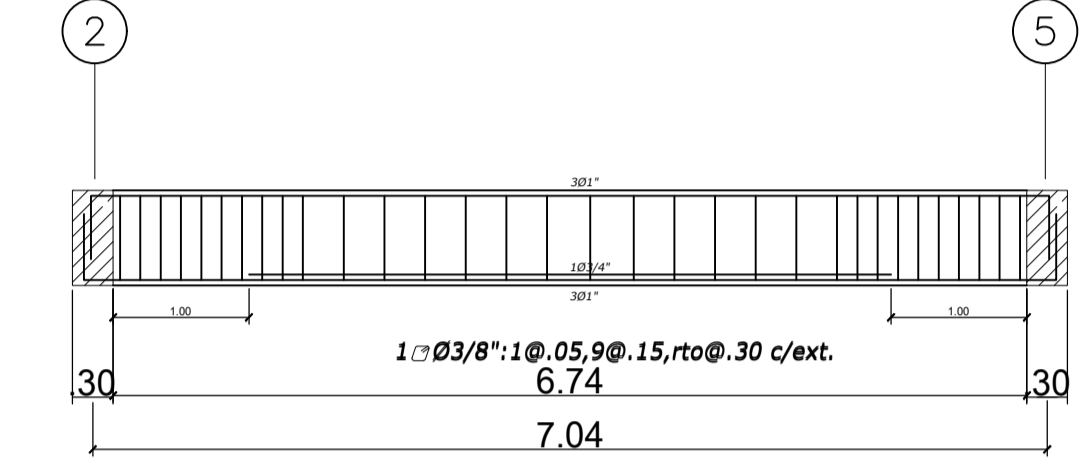
VIGA J-J 30X70



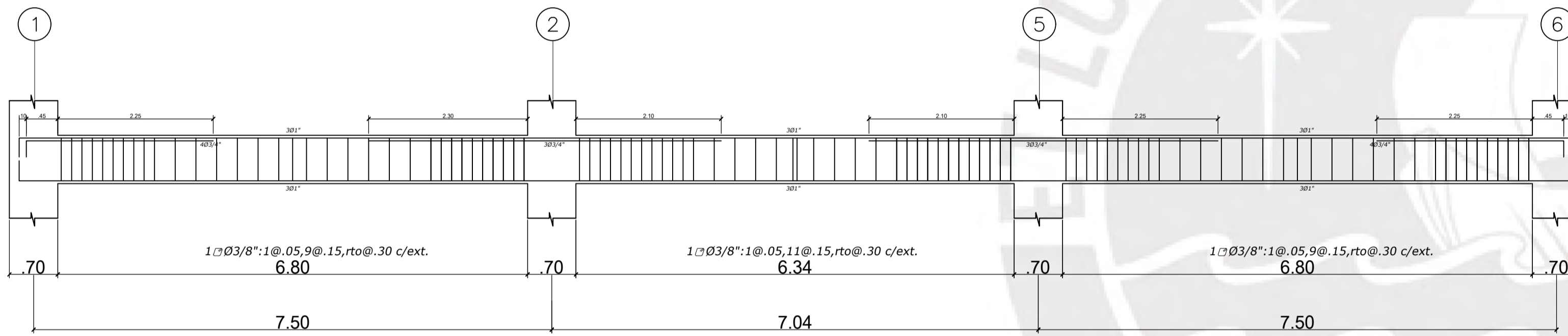
VIGA C-C 30X70



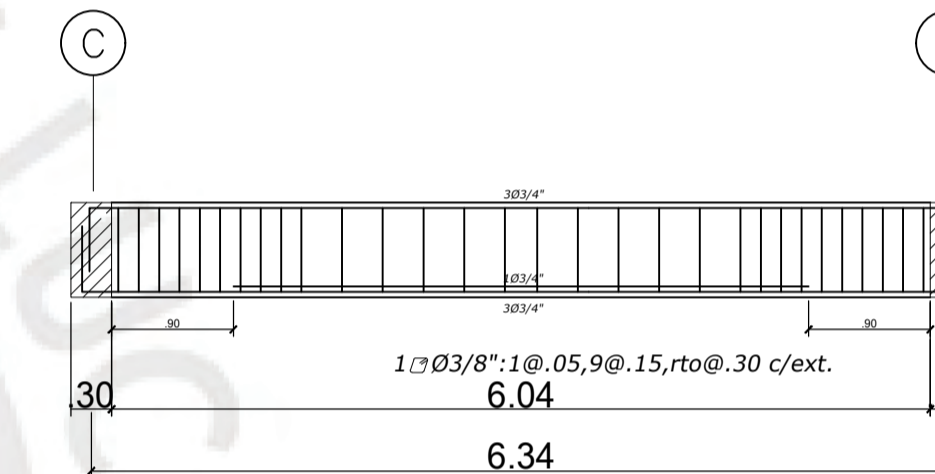
VIGA E-E 30X70



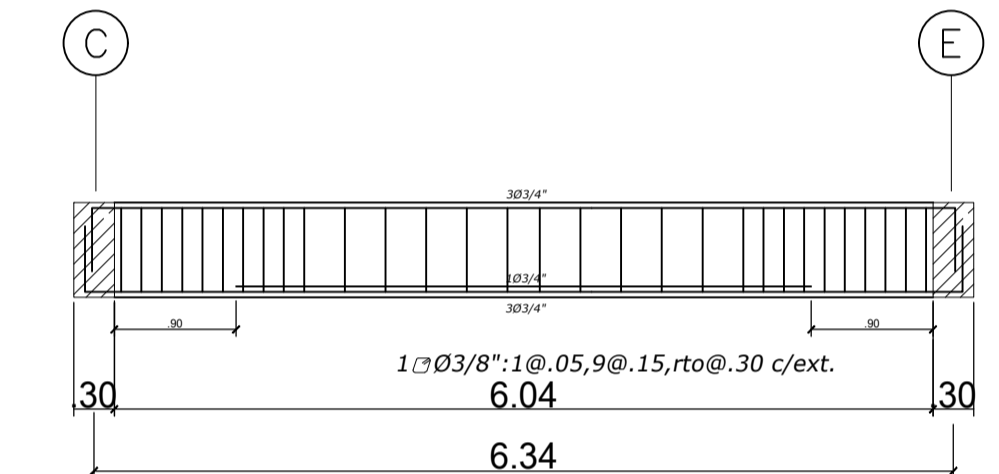
VIGA G-G 30X70



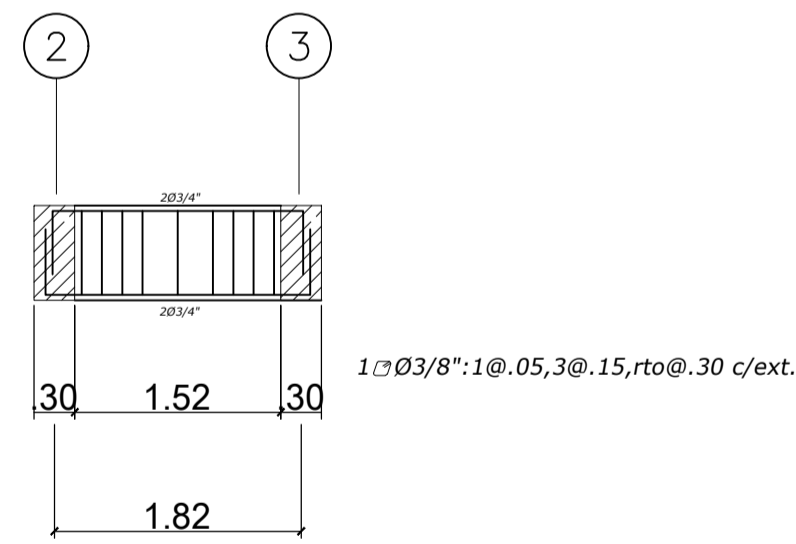
VIGA I-I 30X70



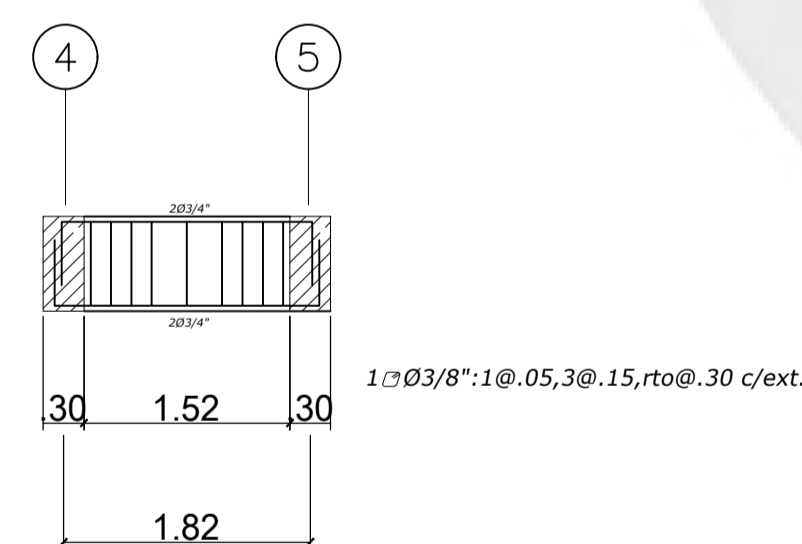
VIGA 4-4 30X70



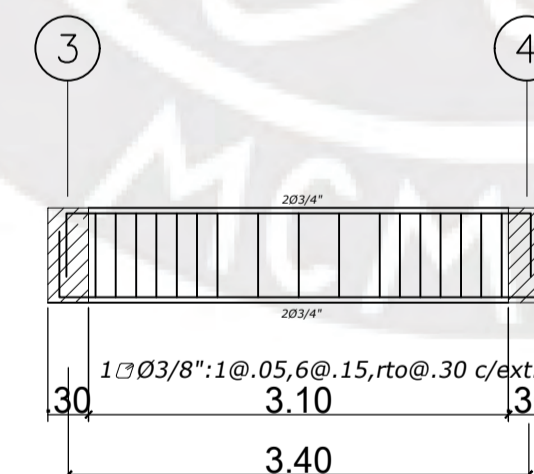
VIGA 3-3 30X70



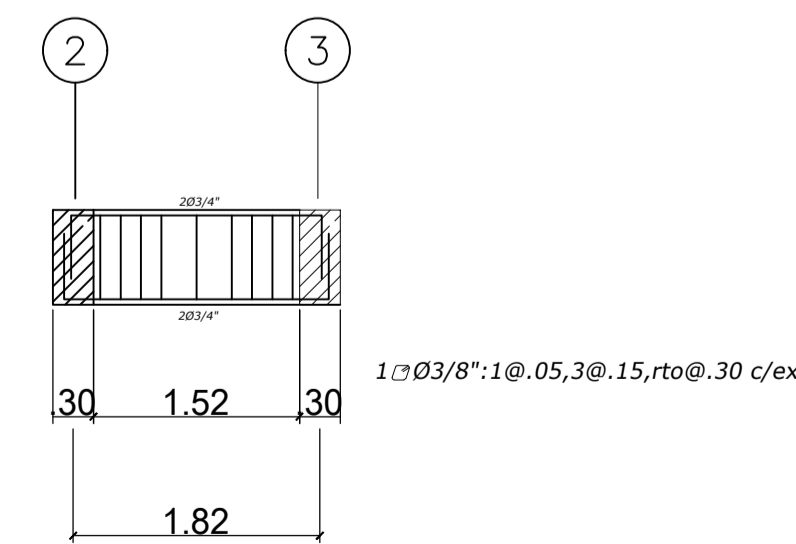
VIGA D'-D' 30X70



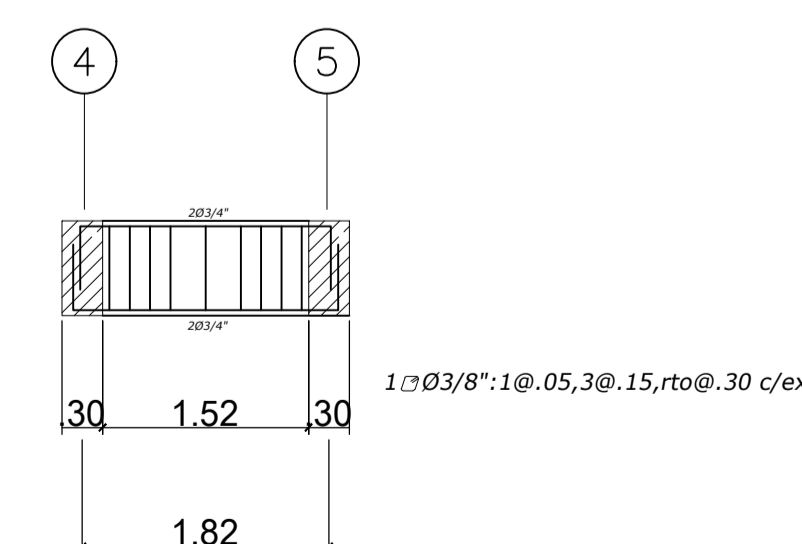
VIGA D'-D' 30X70



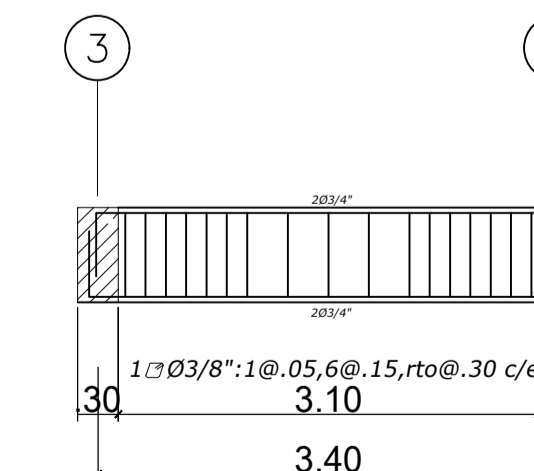
VIGA D-D 30X70



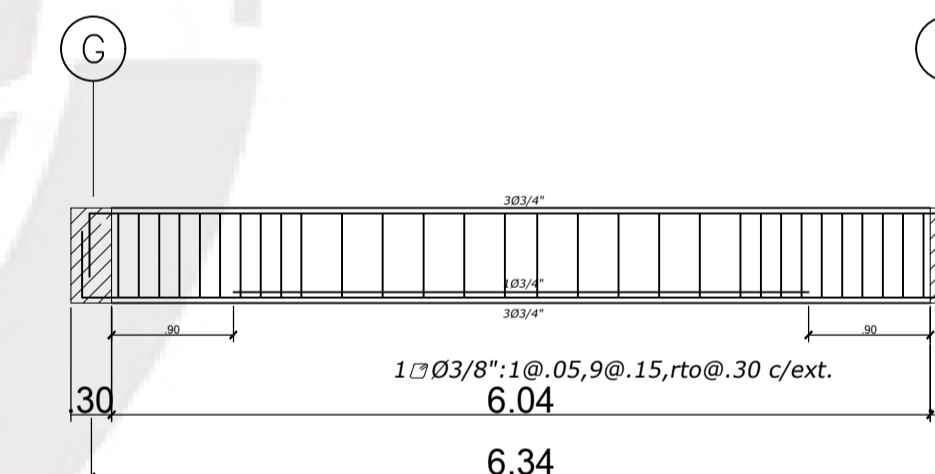
VIGA G'-G' 30X70



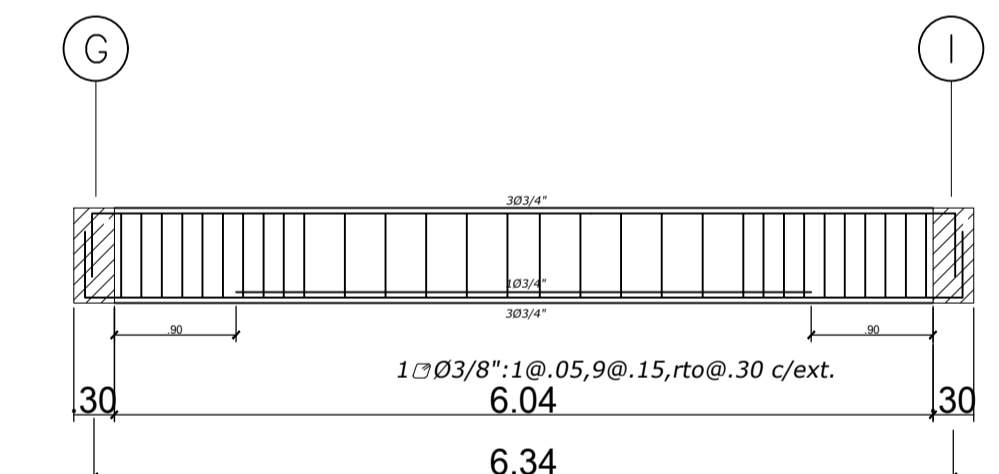
VIGA G'-G' 30X70



VIGA H-H 30X70




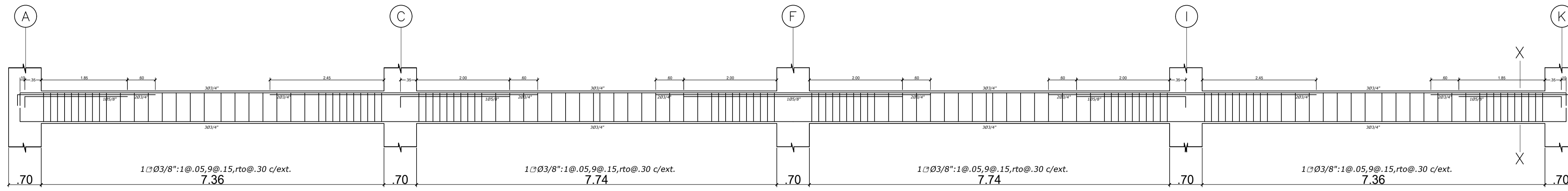
VIGA 4-4 30X70



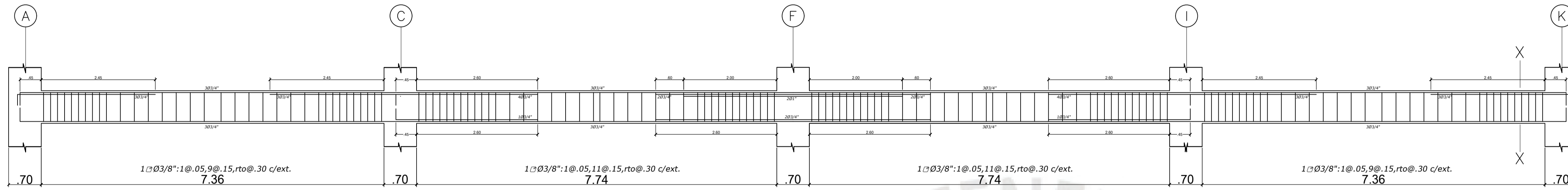
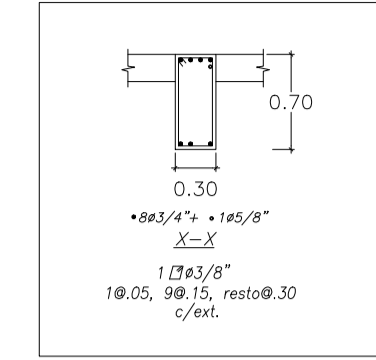
VIGA 3-3 30X70

PISO 3

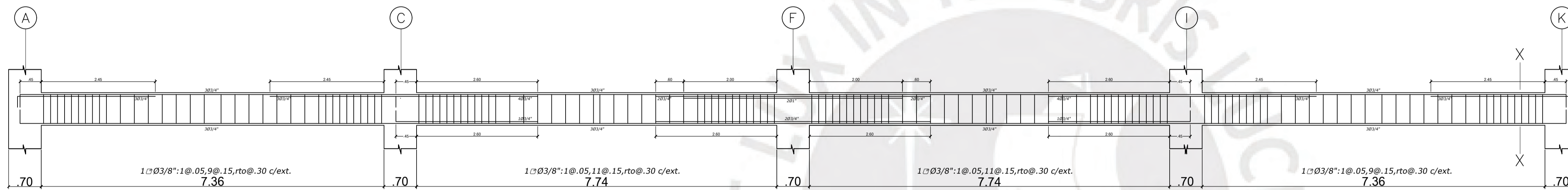
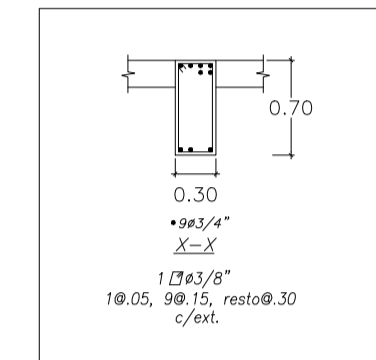
| | | | | |
|---|--------------|---|--------|------------|
|  | PROYECTO | VIVIENDA MULTIFAMILIAR | ESCALA | 1:25 |
| | PROPIETARIO | | FECHA | MAR 2022 |
| | LUBICACION | MIRAFLORES | PLANO | 12/76 |
| | ESPECIALIDAD | ESTRUCTURAS: VIGAS DEL PISO 3 | | |
| | PROFESIONAL | ING. DANTE ALBERTO ALVARADO CASTILLO CIP 232621 | | |
| | | | | E12 |



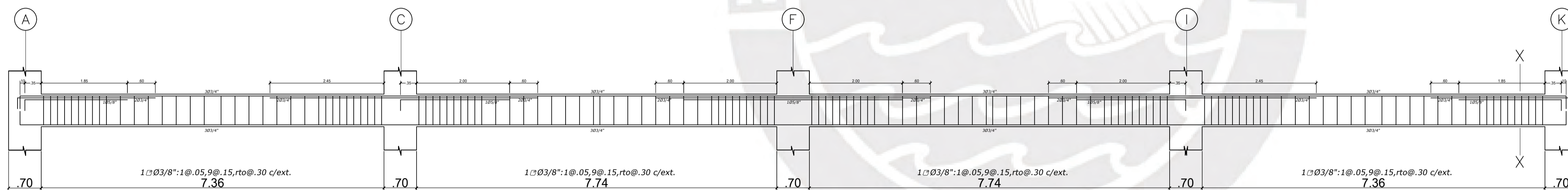
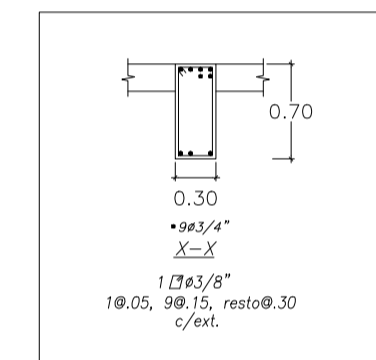
VIGA 6-6 30X70



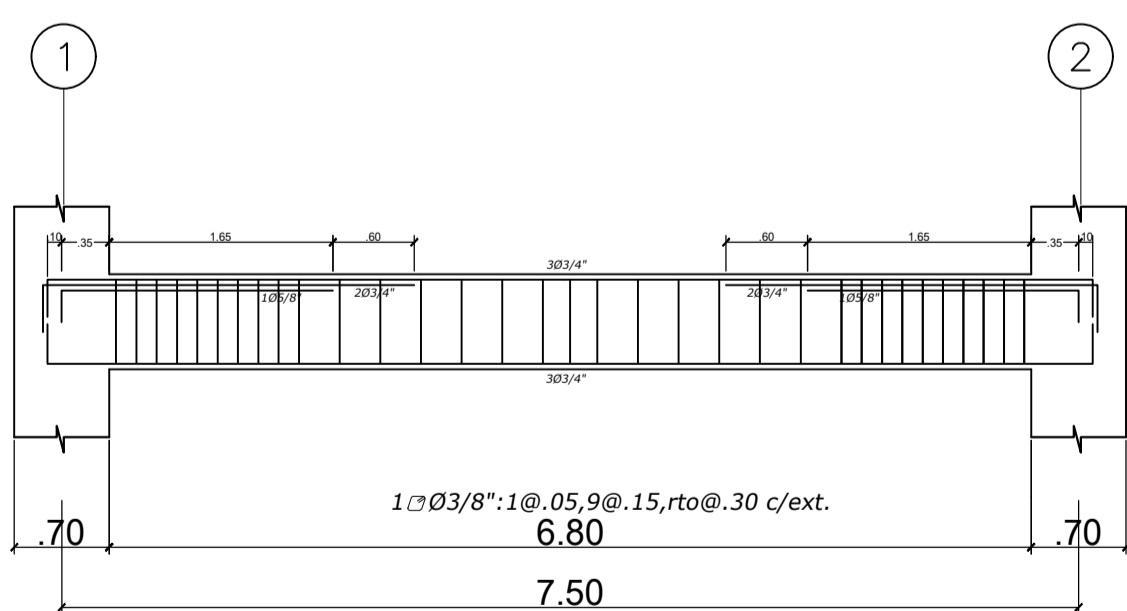
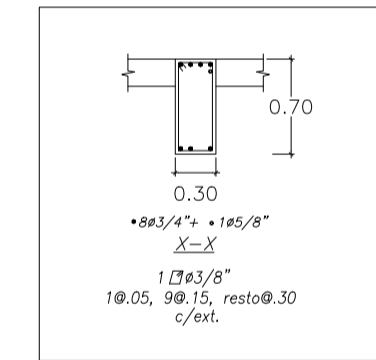
VIGA 5-5 30X70



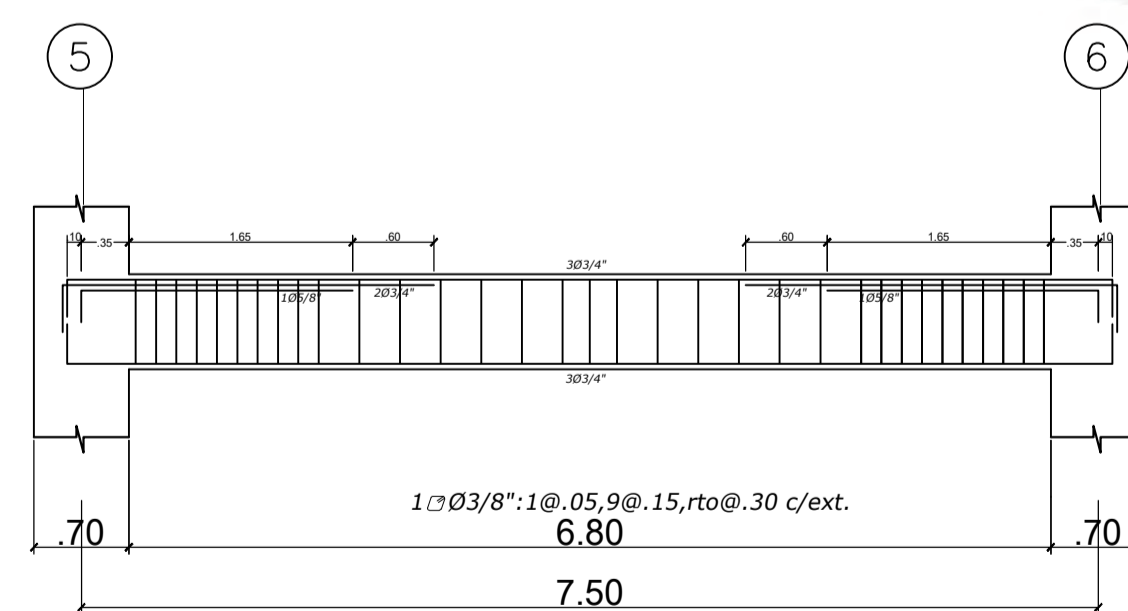
VIGA 2-2 30X70



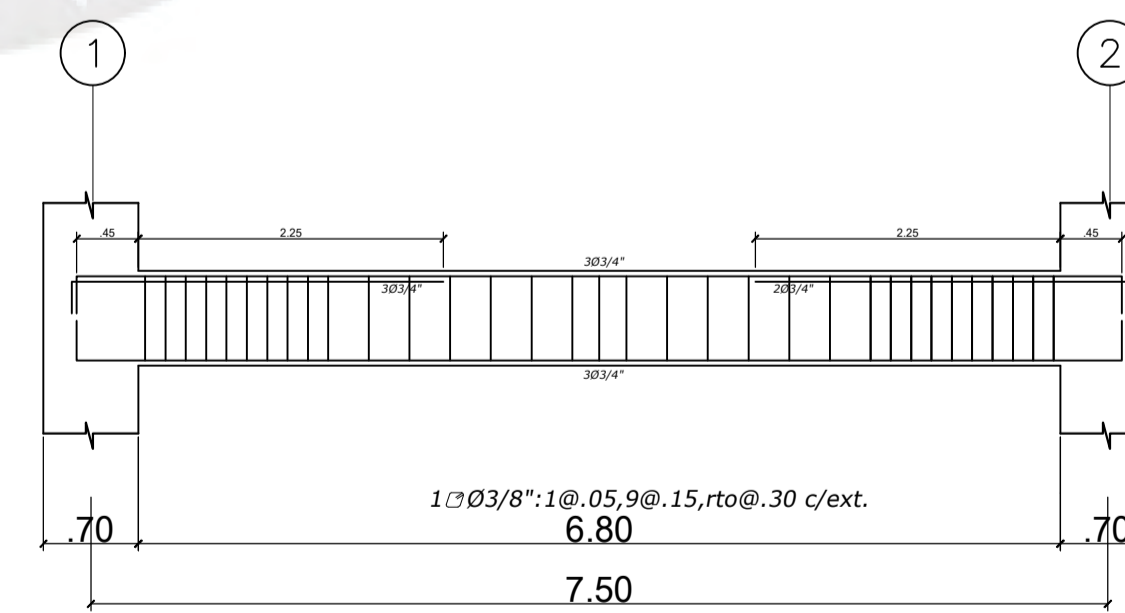
VIGA 1-1 30X70



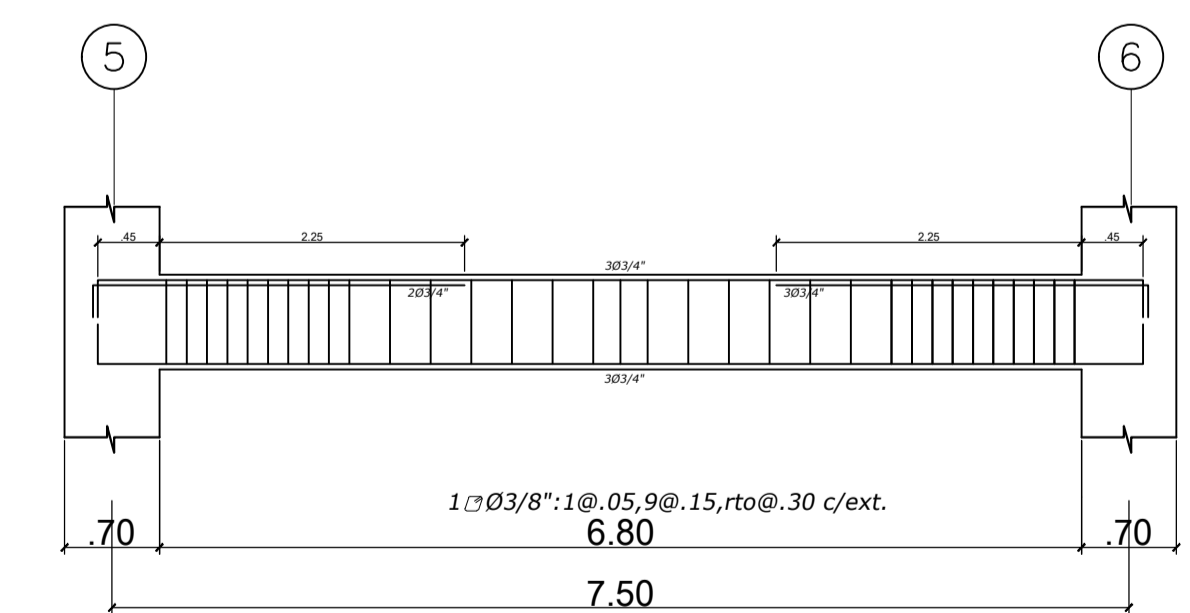
VIGA A-A 30X70



VIGA A-A 30X70




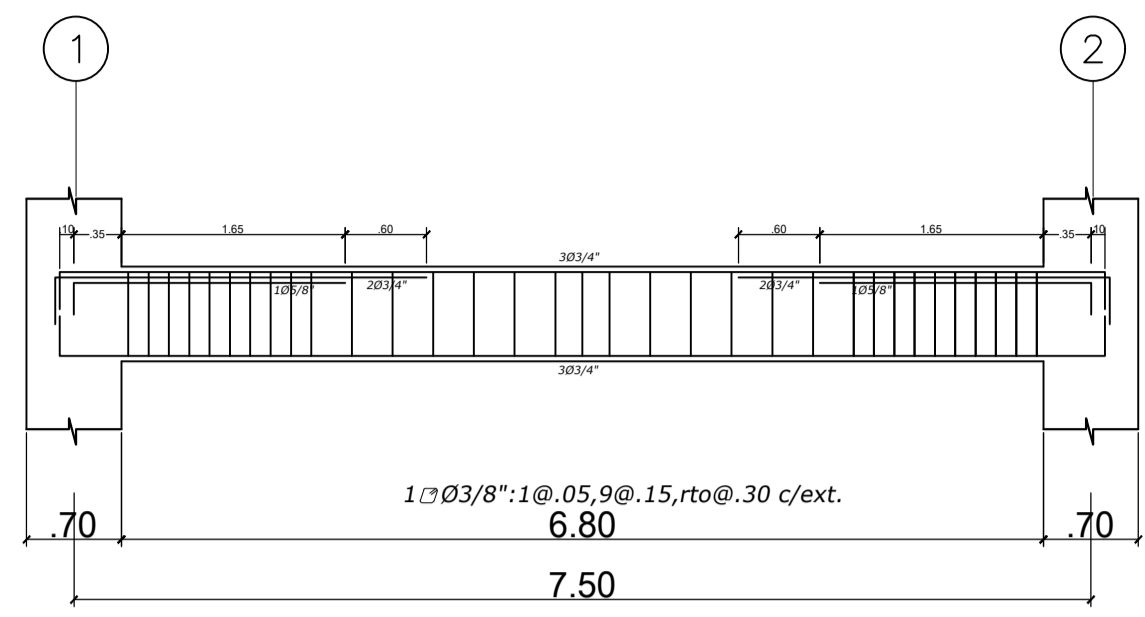
VIGA F-F 30X70



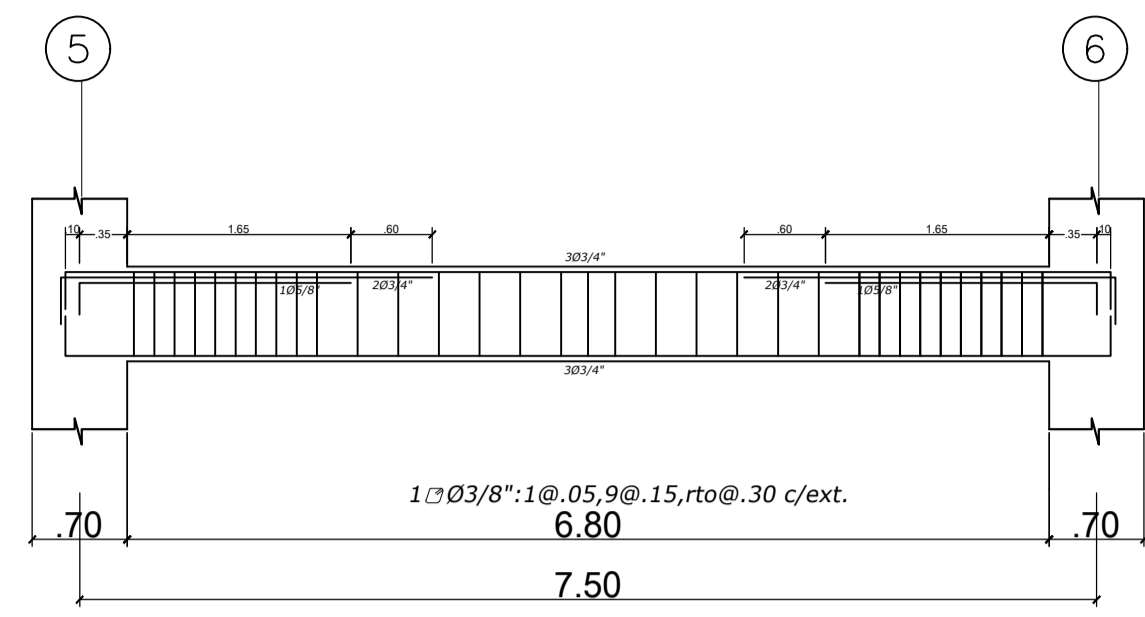
VIGA F-F 30X70

PISO 4

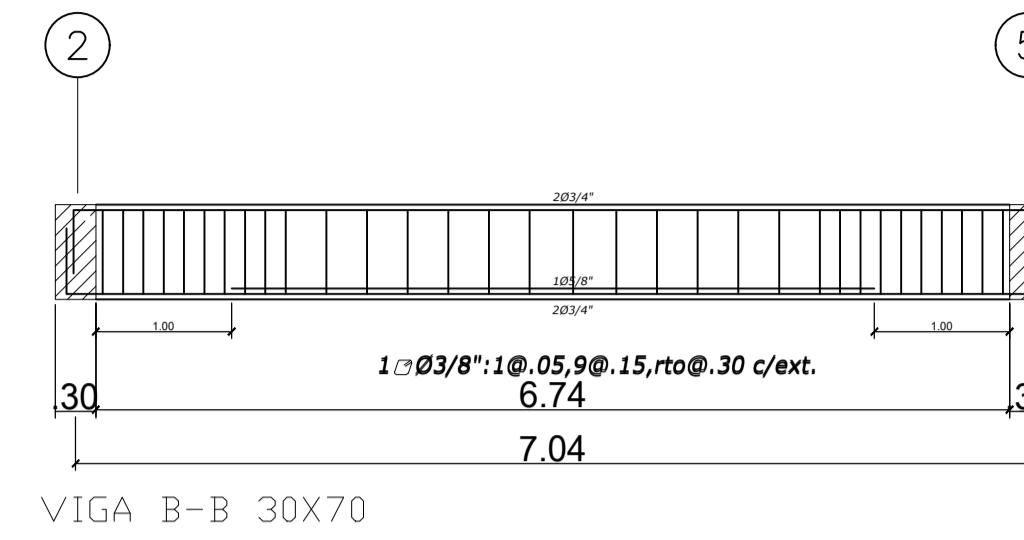
| | | | | |
|---|--------------|---|--------|------------|
|  | PROYECTO | VIVIENDA MULTIFAMILIAR | ESCALA | 1:25 |
| | PROPIETARIO | | FECHA | MAR 2022 |
| | UBICACION | MIRAFLORES | PLANO | 13/16 |
| | ESPECIALIDAD | ESTRUCTURAS: VIGAS DEL PISO 4 | | |
| | PROFESIONAL | ING. DANTE ALBERTO ALVARADO CASTILLO CIP 232621 | | |
| | | | | E13 |



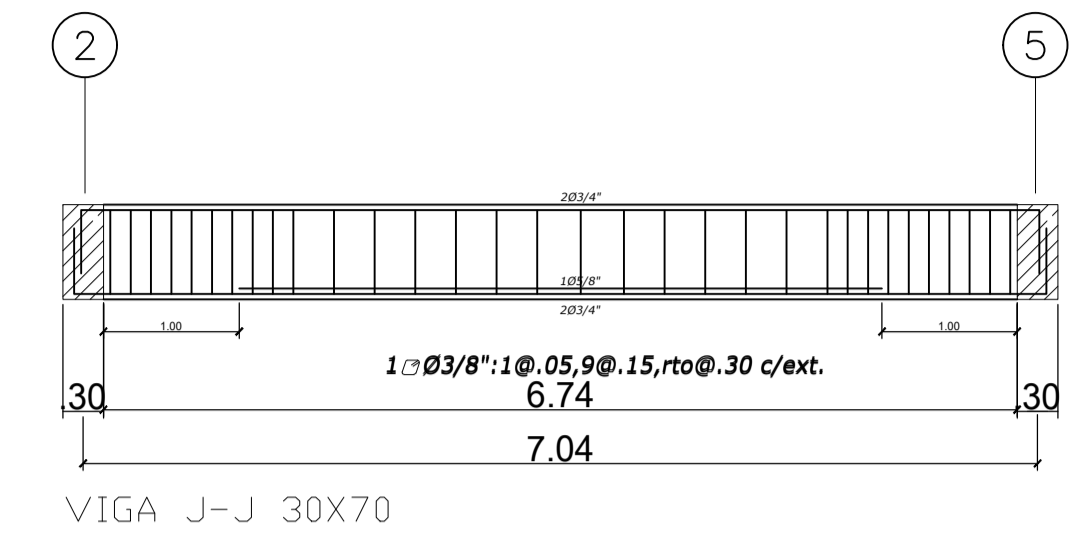
VIGA K-K 30X70



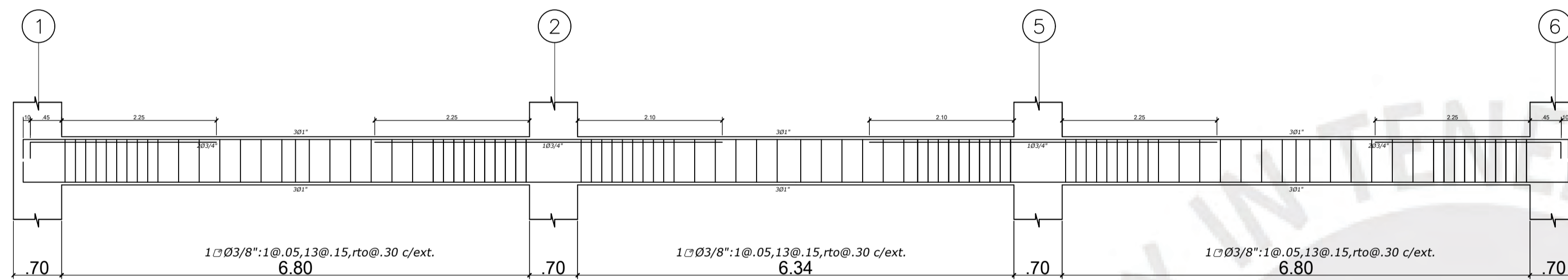
VIGA K-K 30X70



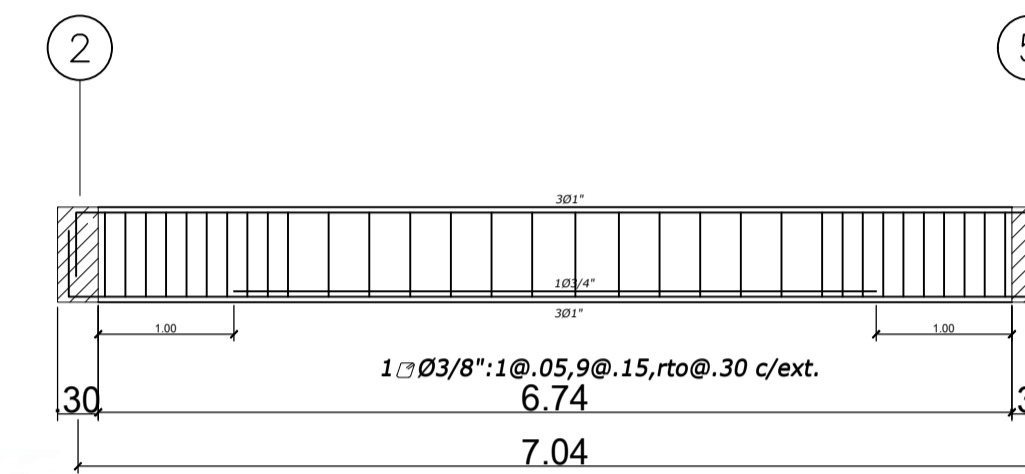
VIGA B-B 30X70



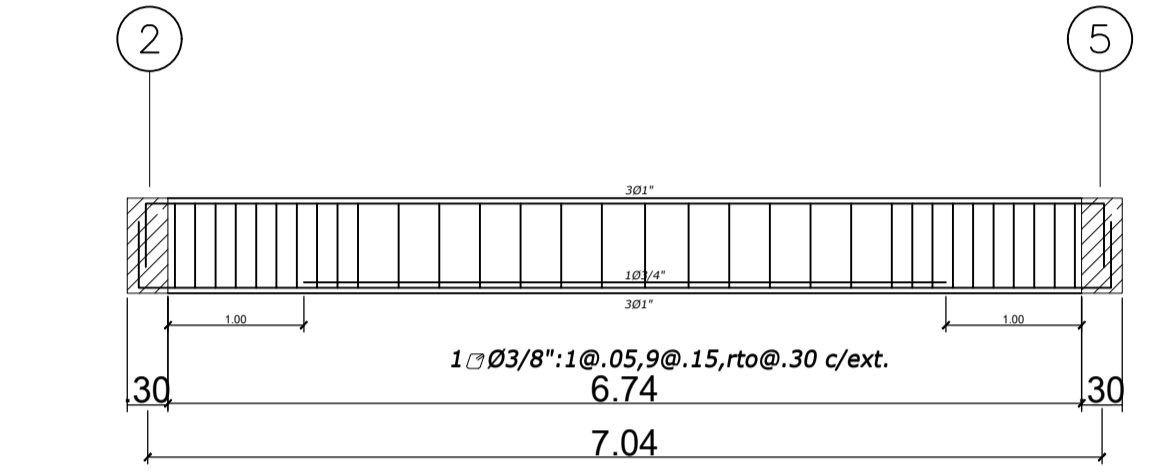
VIGA J-J 30X70



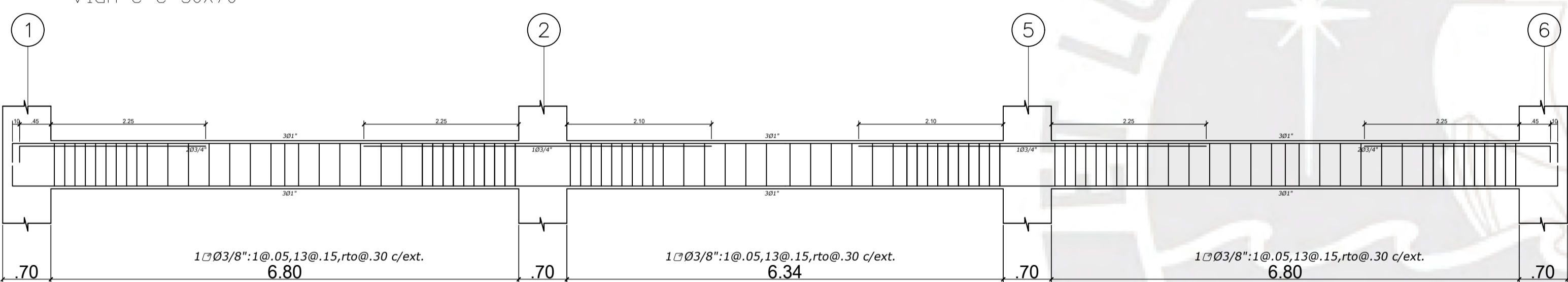
VIGA C-C 30X70



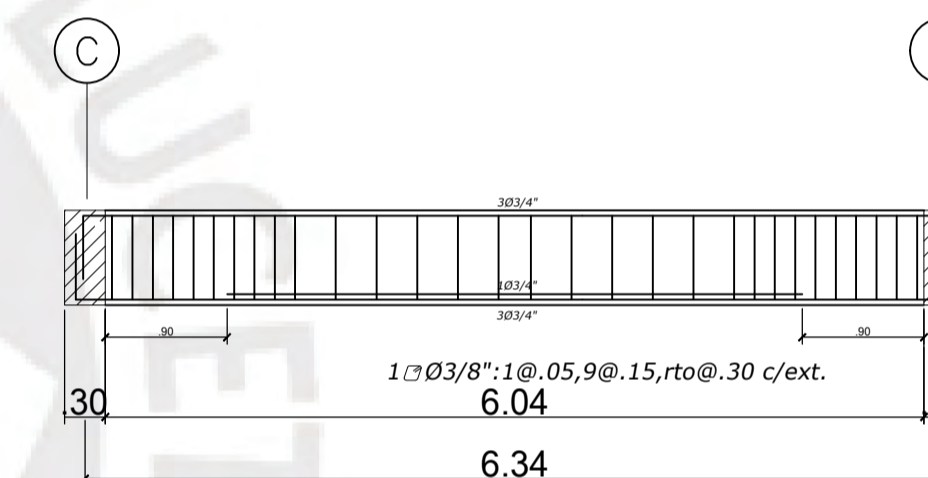
VIGA E-E 30X70



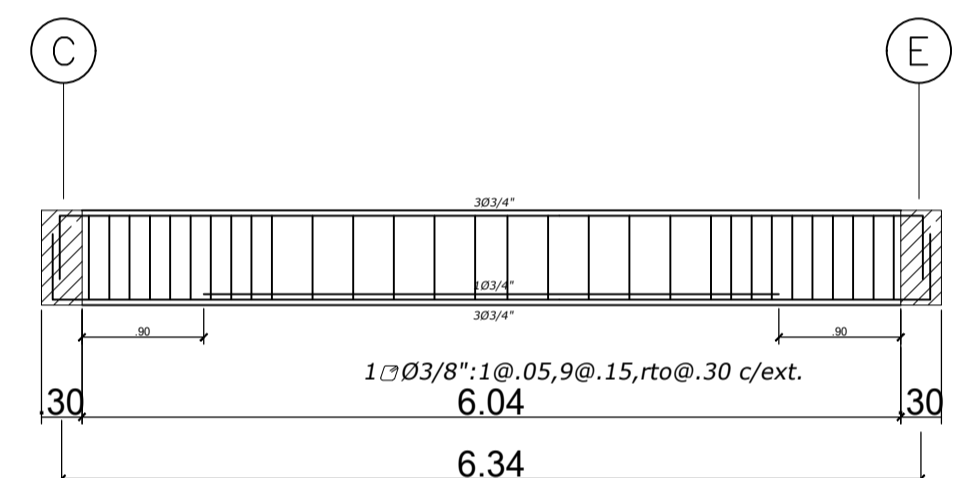
VIGA G-G 30X70



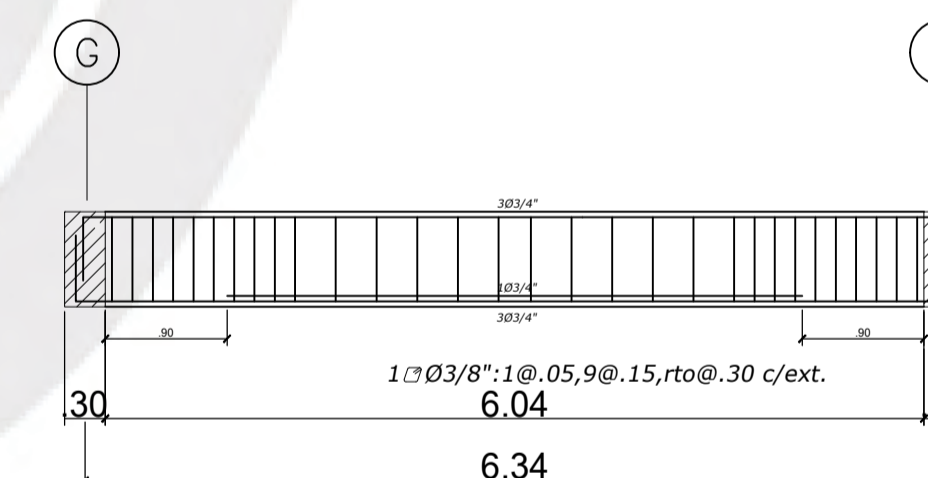
VIGA I-I 30X70



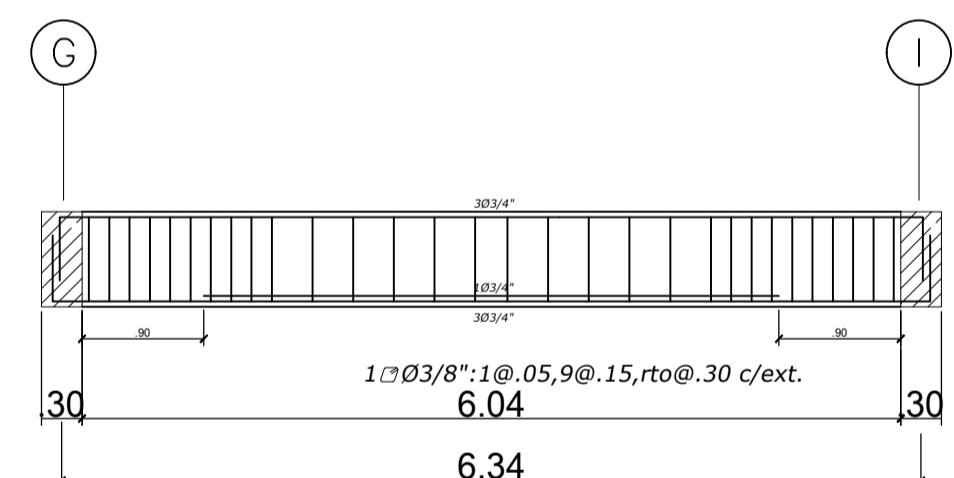
VIGA 4-4 30X70



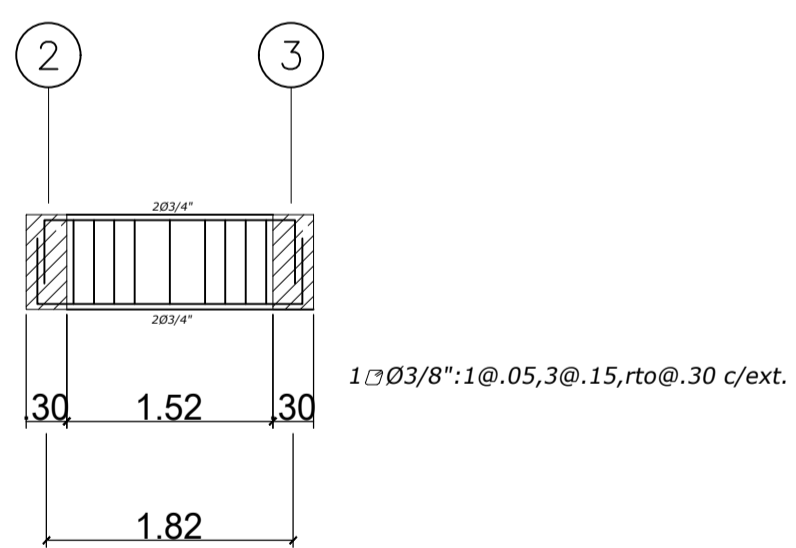
VIGA 3-3 30X70



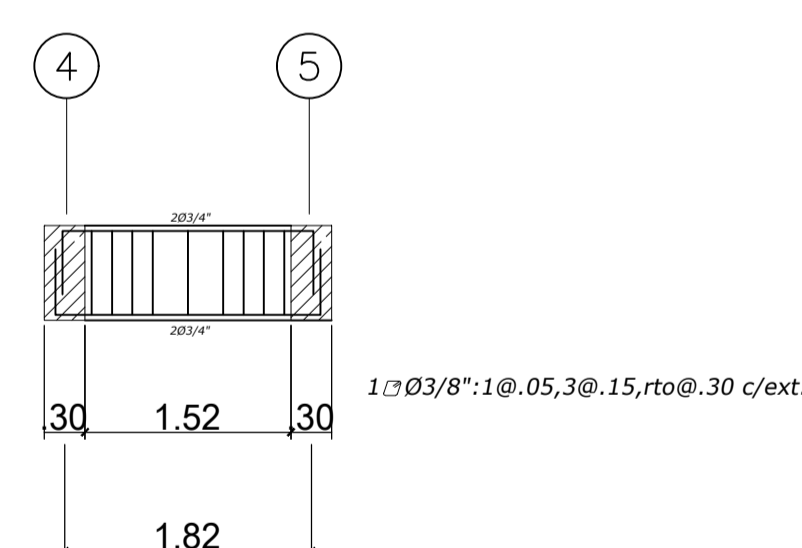
VIGA 4-4 30X70



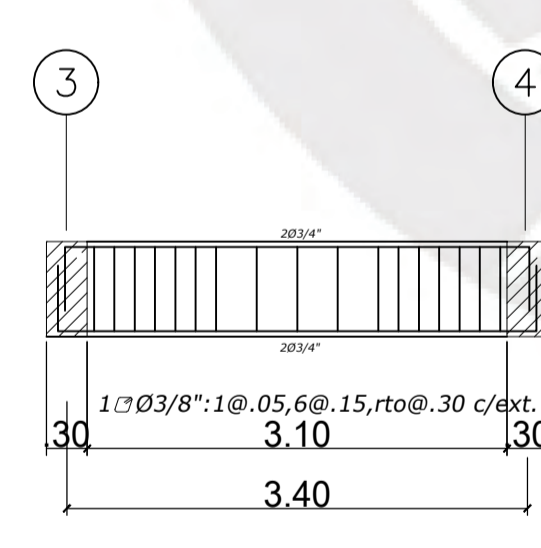
VIGA 3-3 30X70



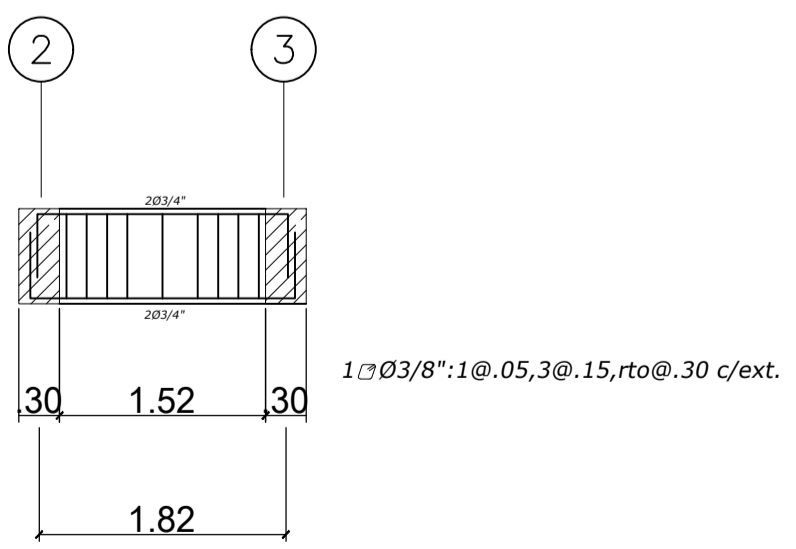
VIGA D'-D' 30X70



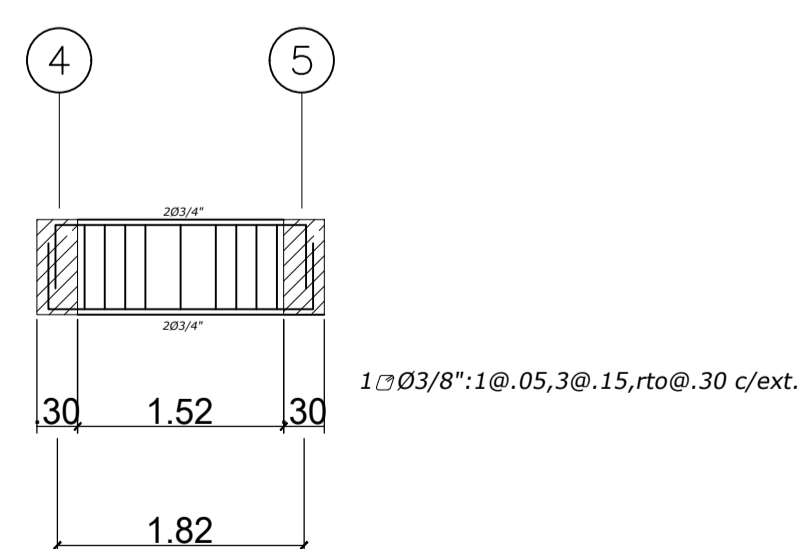
VIGA D'-D' 30X70



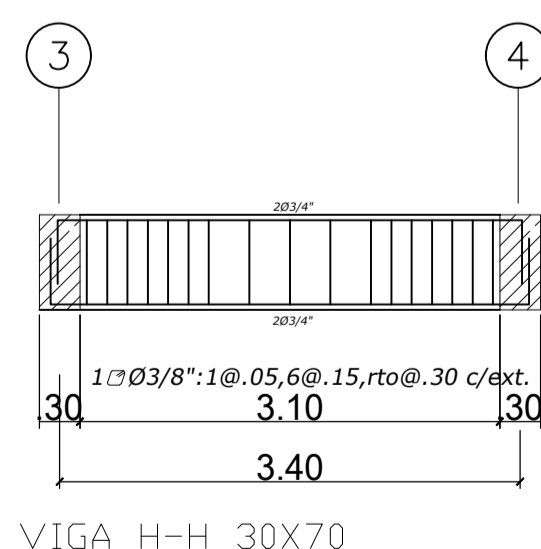
VIGA D-D 30X70



VIGA G'-G' 30X70




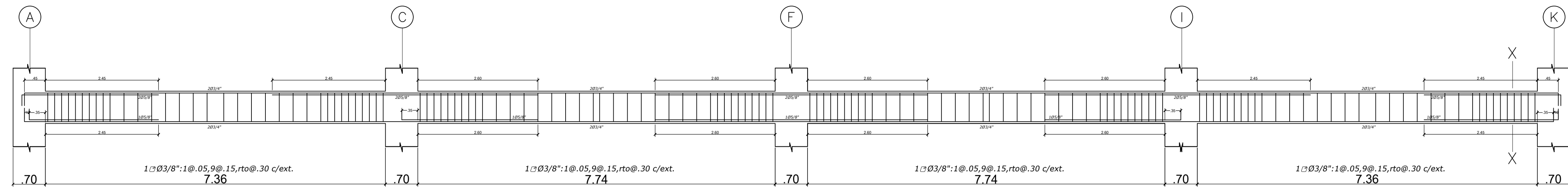
VIGA G'-G' 30X70



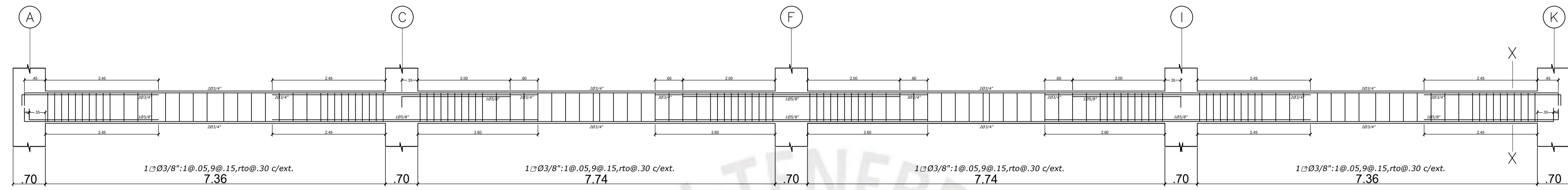
VIGA H-H 30X70

PISO 4

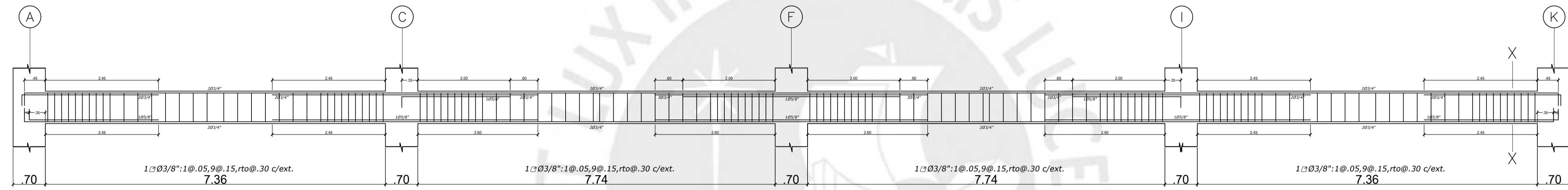
| | | | | |
|---|--------------|---|--------|------------|
|  | PROYECTO | VIVIENDA MULTIFAMILIAR | ESCALA | 1:25 |
| | PROPIETARIO | | FECHA | MAR 2022 |
| | UBICACION | MIRAFLORES | PLANO | 14/16 |
| | ESPECIALIDAD | ESTRUCTURAS: VIGAS DEL PISO 4 | | |
| | PROFESIONAL | ING. DANTE ALBERTO ALVARADO CASTILLO CIP 232621 | | |
| | | | | E14 |



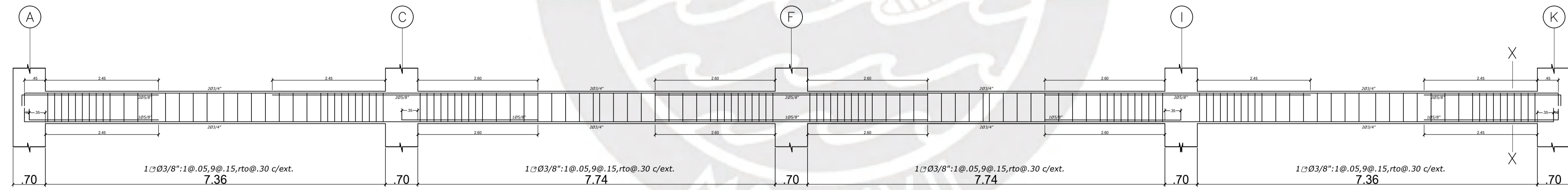
VIGA 6-6 30X70



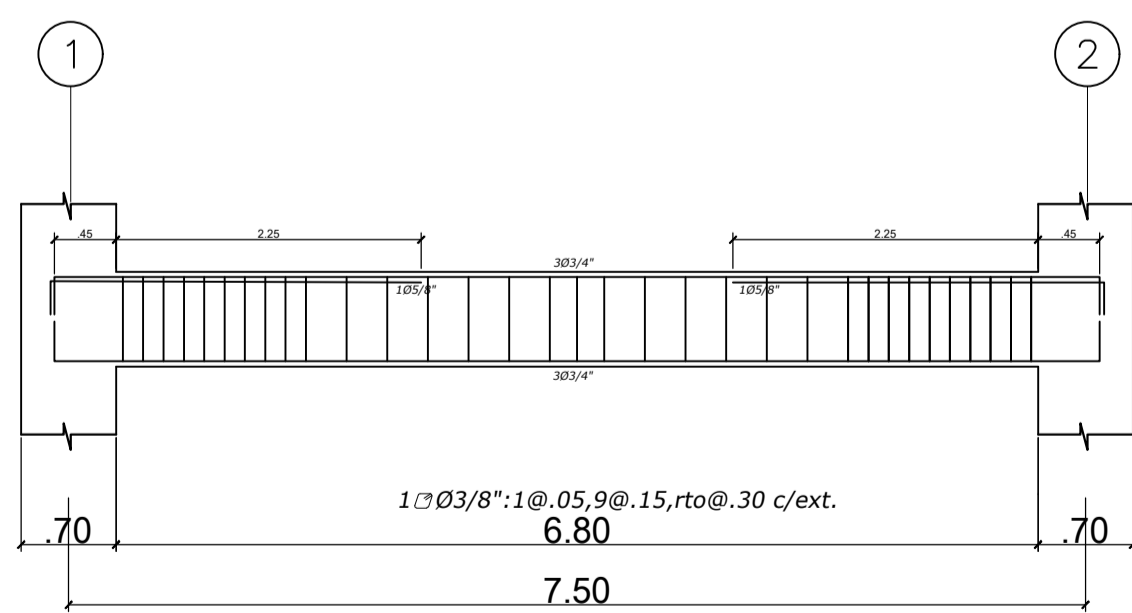
VIGA 5-5 30X70



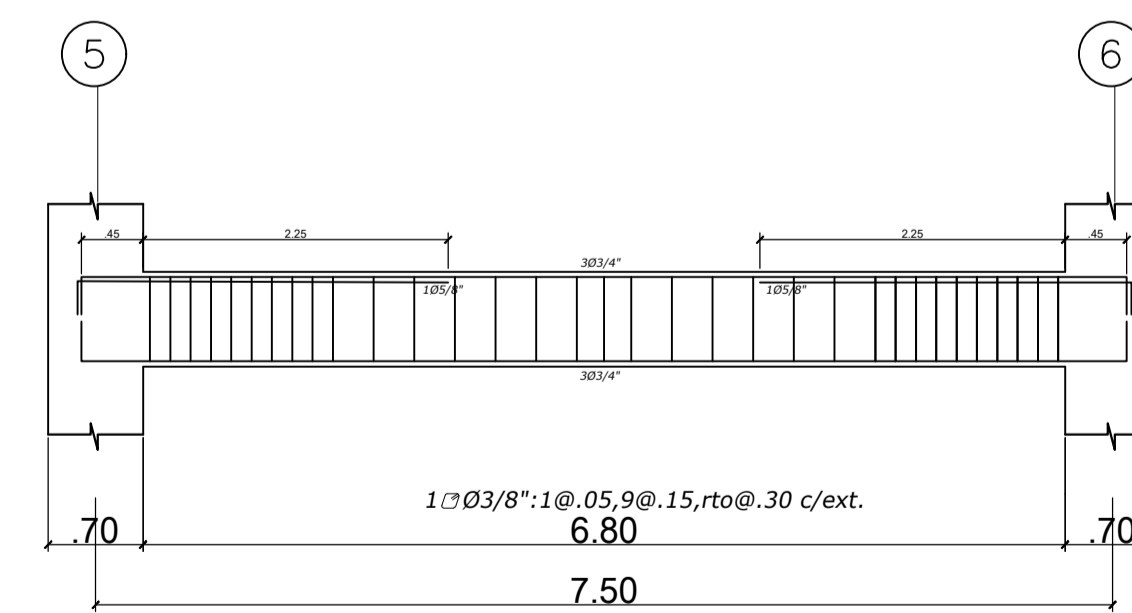
VIGA 2-2 30X70



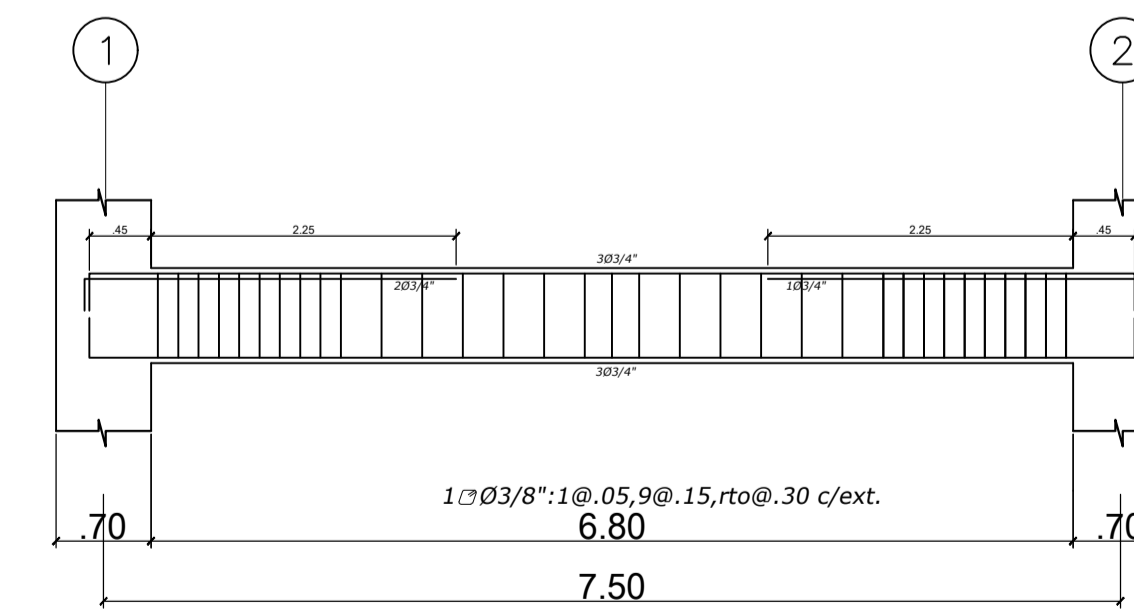
VIGA 1-1 30X70



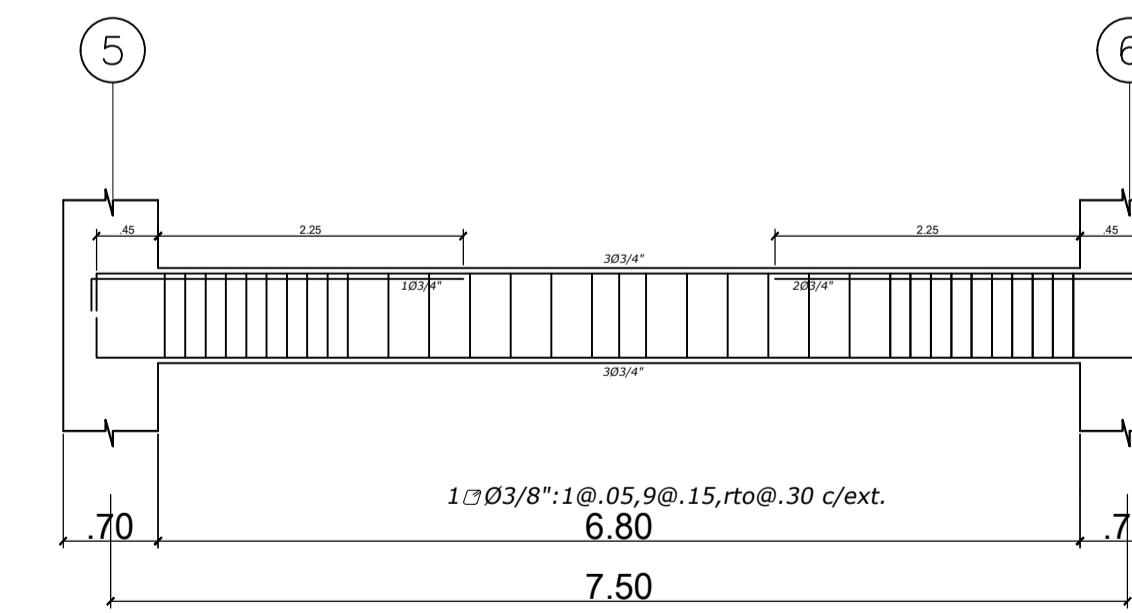
VIGA A-A 30X70



VIGA A-A 30X70




VIGA F-F 30X70

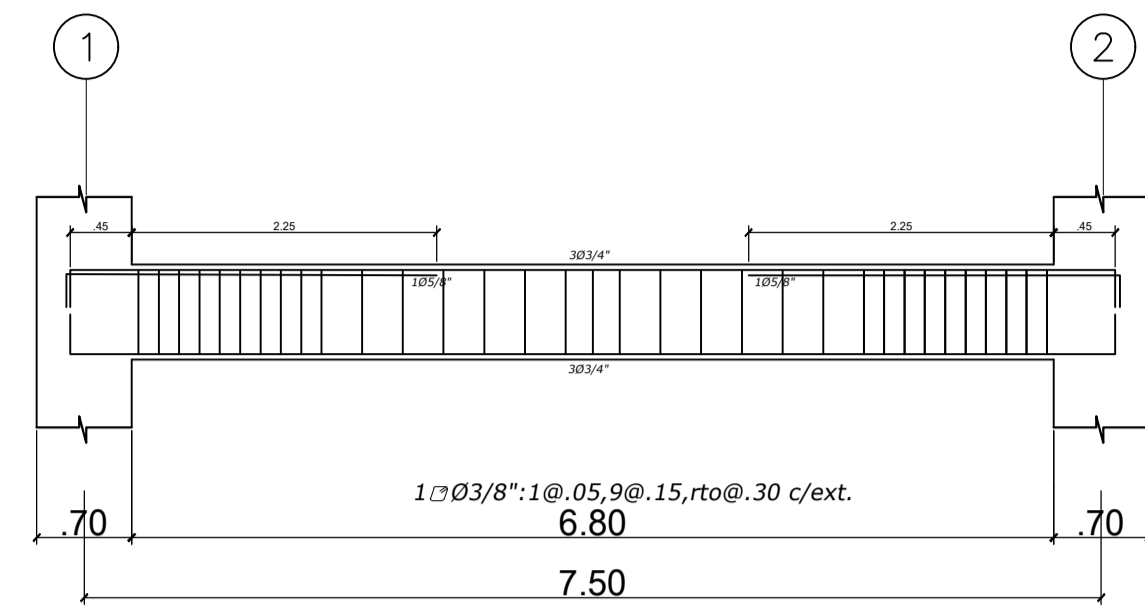


VIGA F-F 30X70

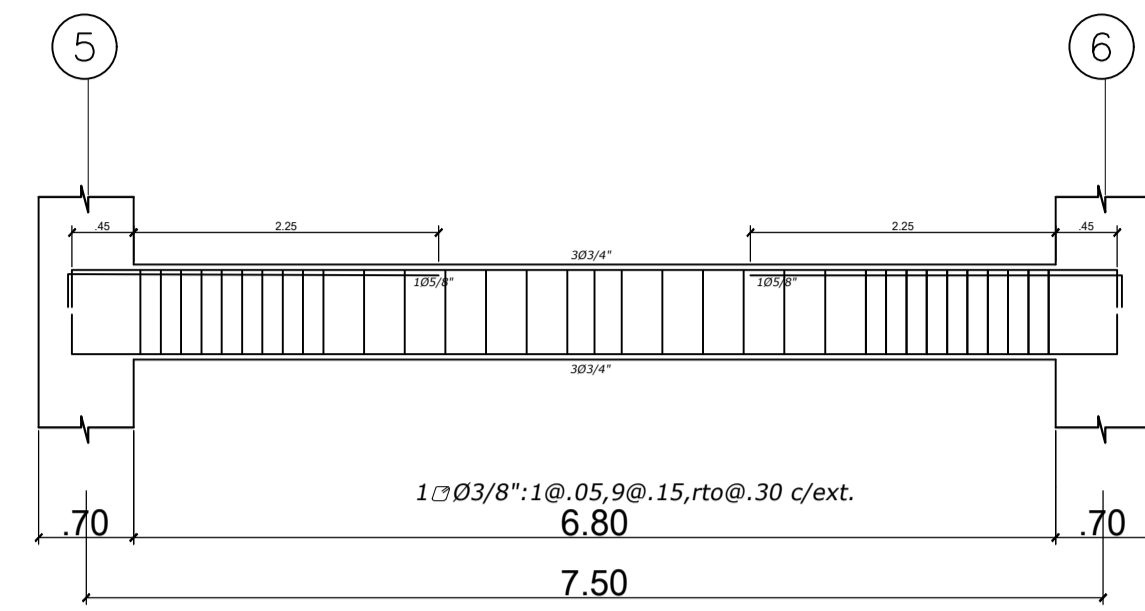
PISO 5

| | | | | |
|---|--------------|---|--------|----------|
|  | PROYECTO | VIVIENDA MULTIFAMILIAR | ESCALA | 1:25 |
| | PROPIETARIO | MIRAFLORES | FECHA | MAR 2022 |
| | ESPECIALIDAD | ESTRUCTURAS: VIGAS DEL PISO 5 | PLANO | 15/16 |
| | PROFESIONAL | ING. DANTE ALBERTO ALVARADO CASTILLO CIP 232621 | | |

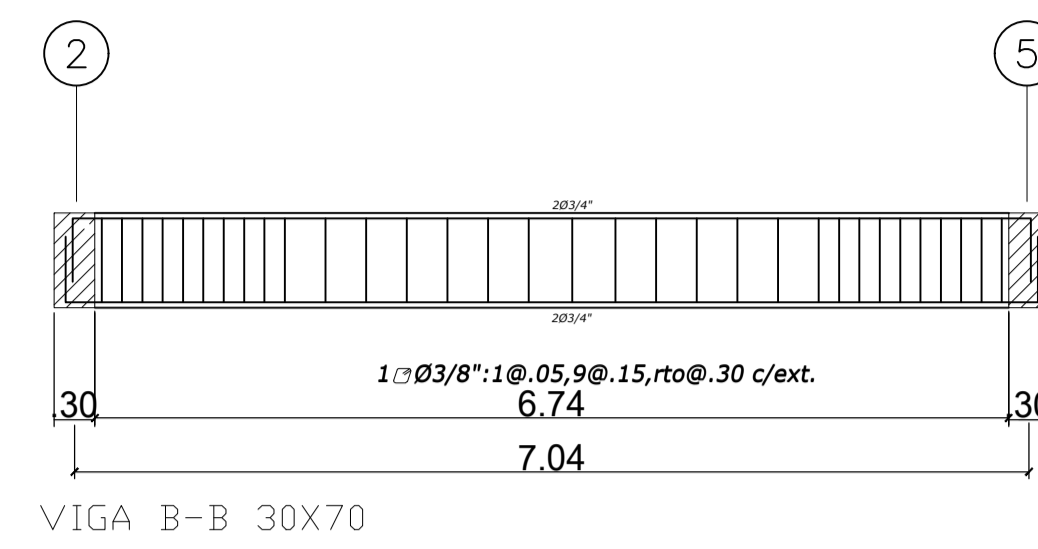
E15



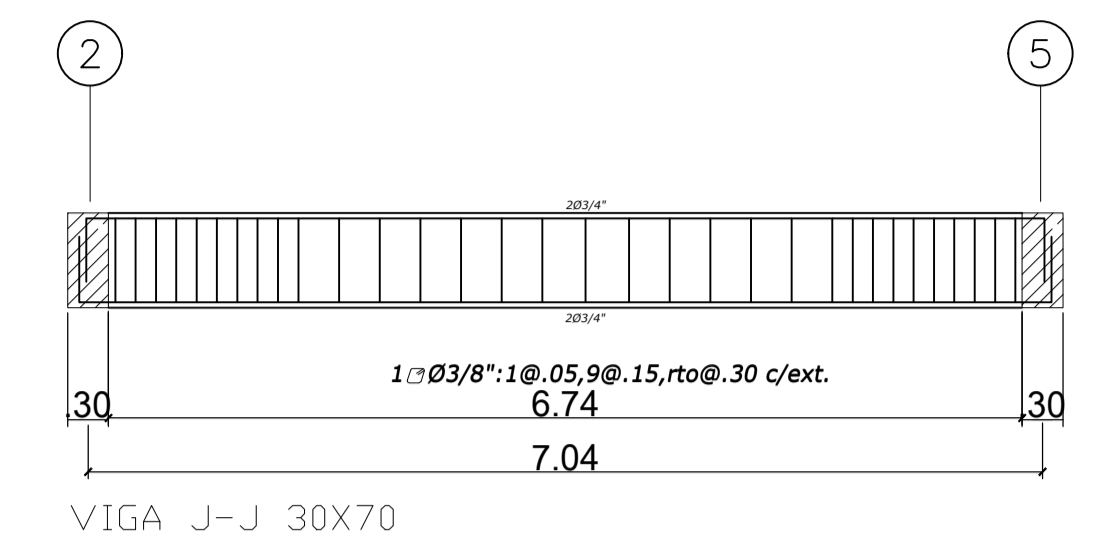
VIGA K-K 30X70



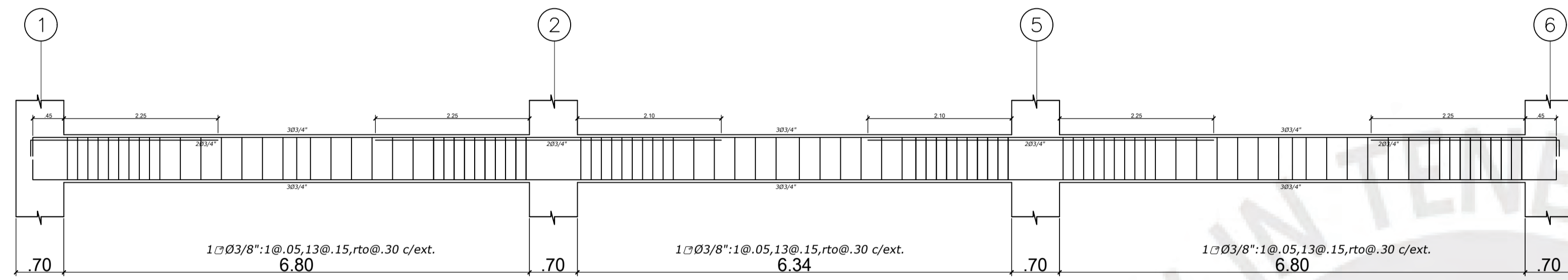
VIGA K-K 30X70



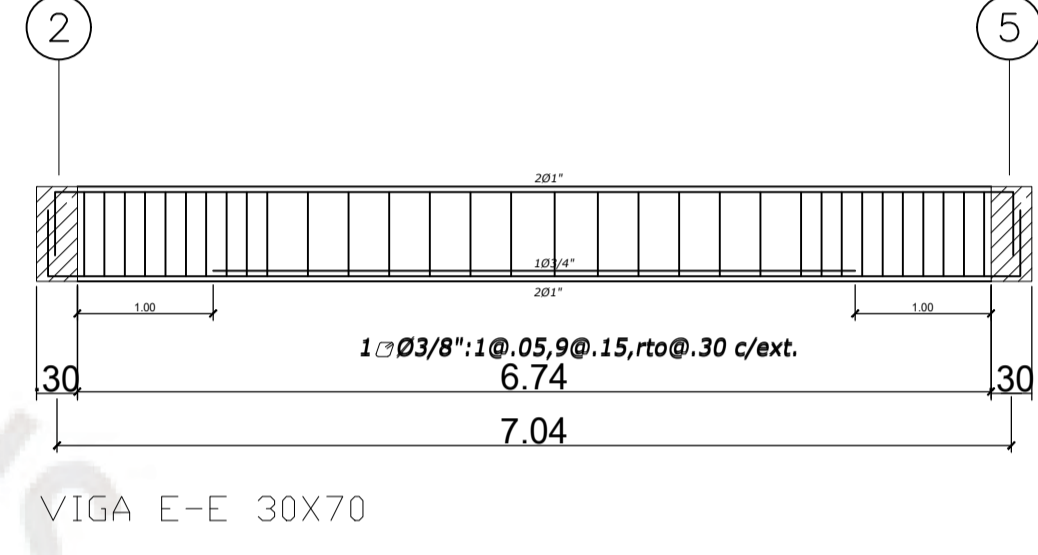
VIGA B-B 30X70



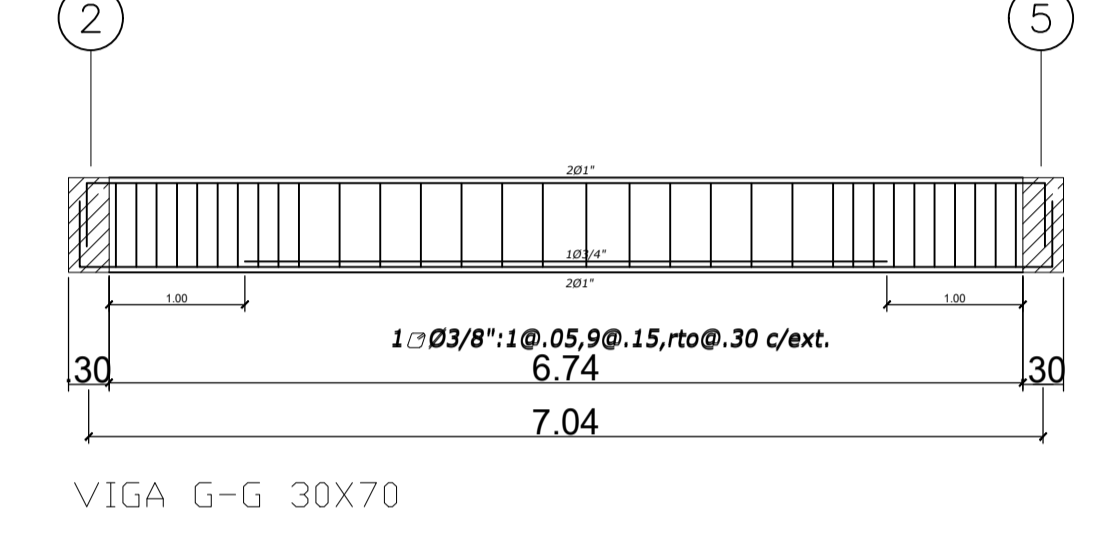
VIGA J-J 30X70



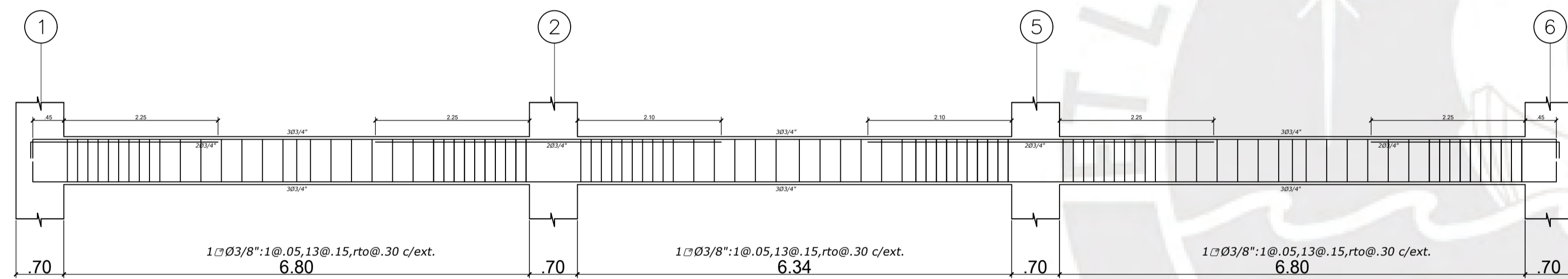
VIGA C-C 30X70



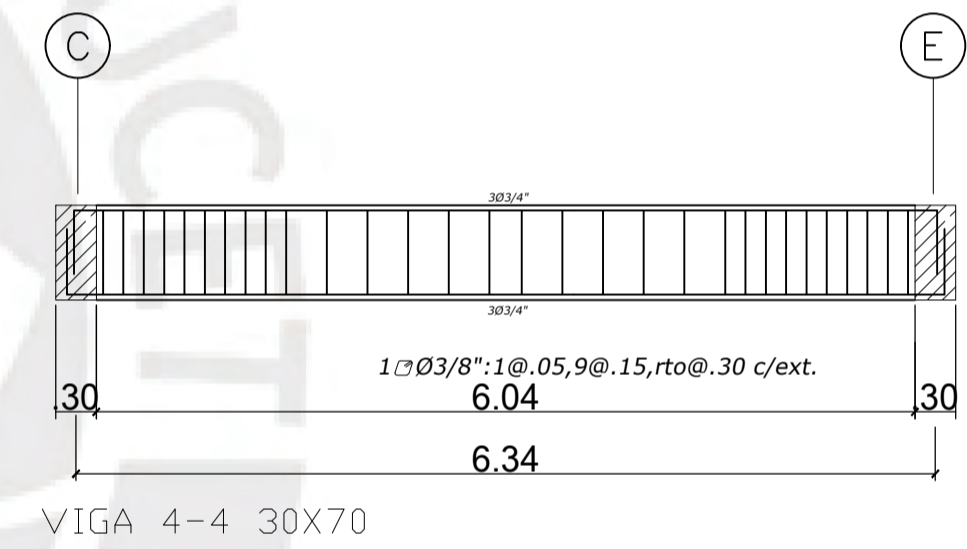
VIGA E-E 30X70



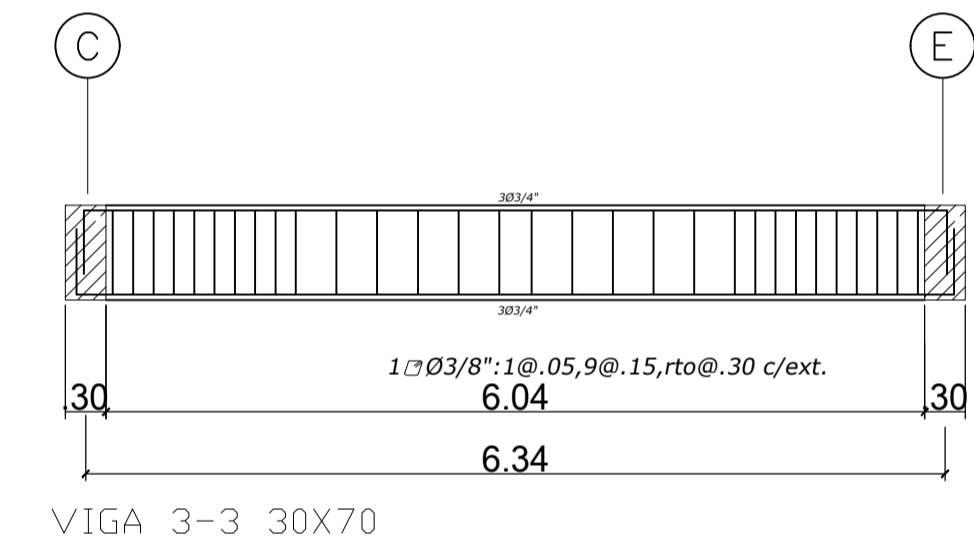
VIGA G-G 30X70



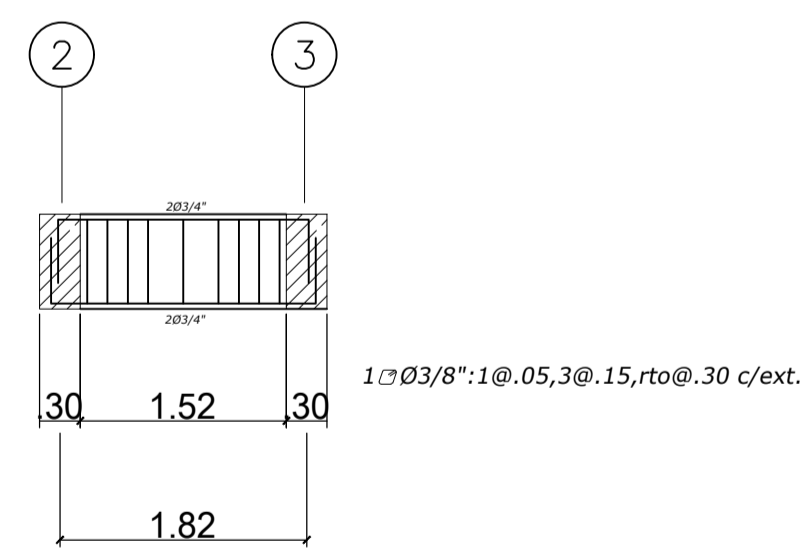
VIGA I-I 30X70



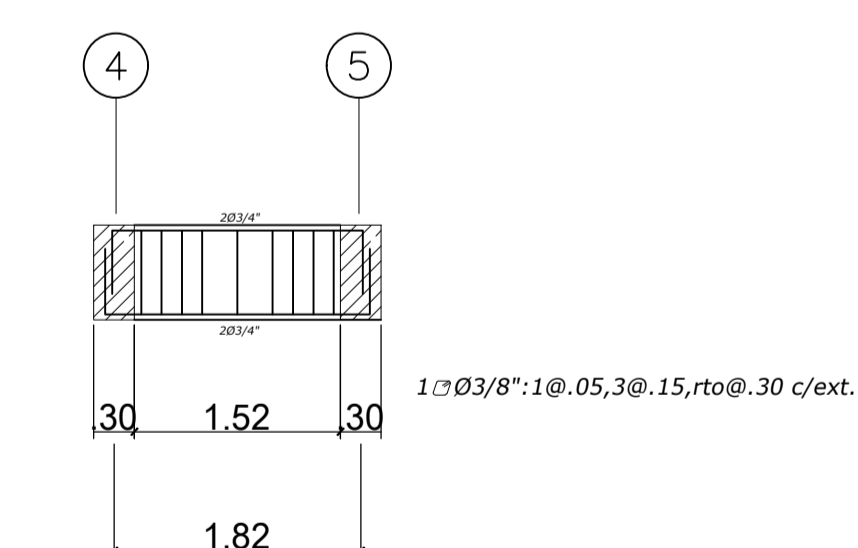
VIGA 4-4 30X70



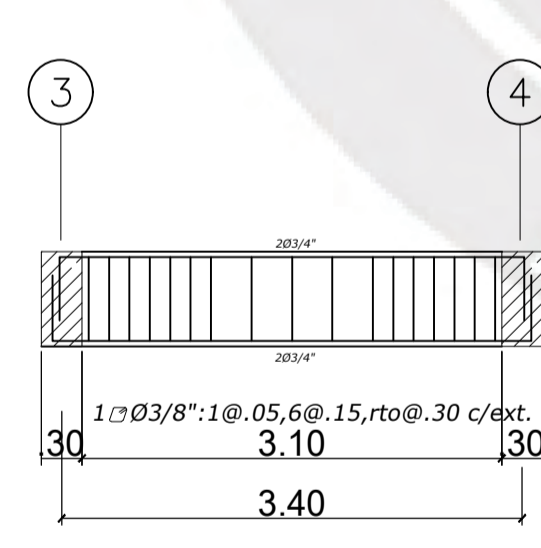
VIGA 3-3 30X70



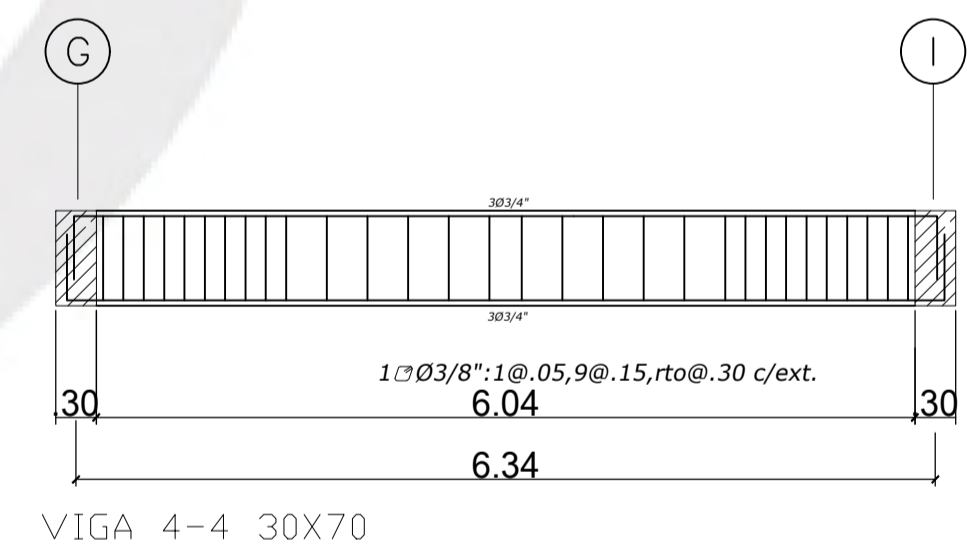
VIGA D'-D' 30X70



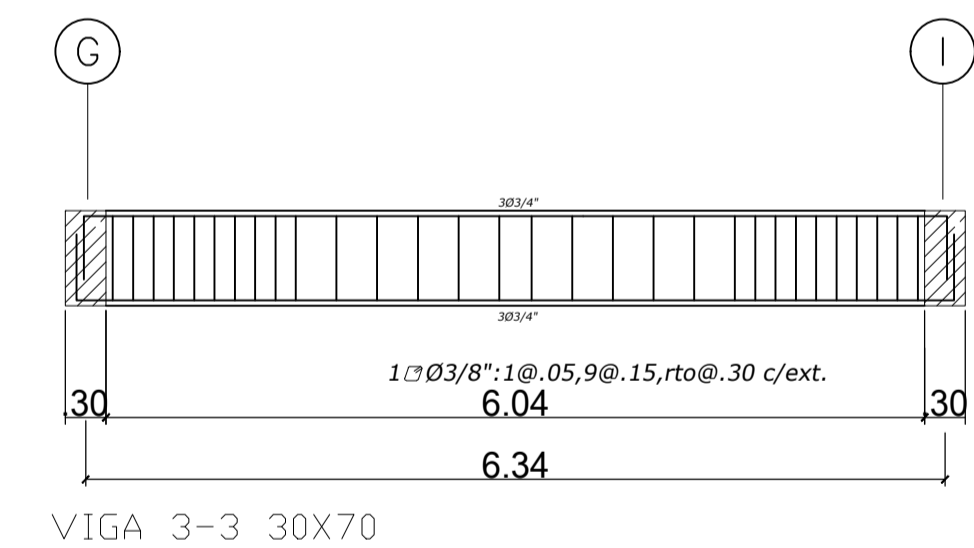
VIGA D'-D' 30X70



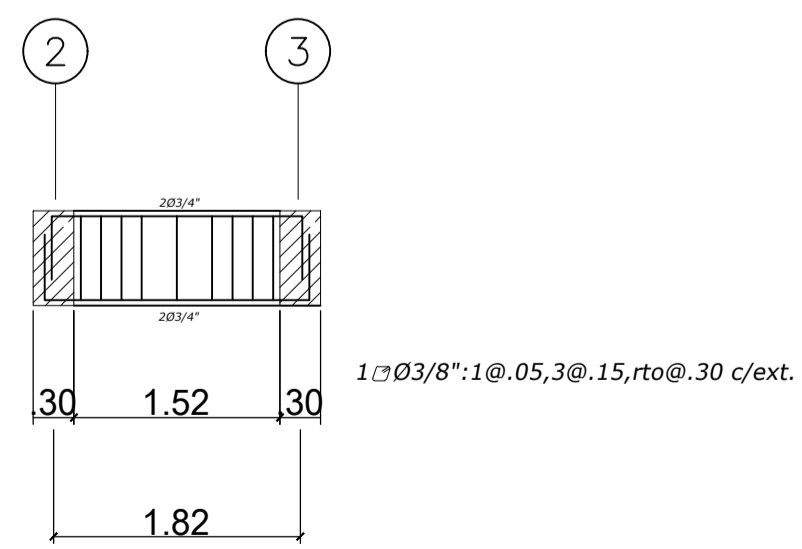
VIGA D-D 30X70



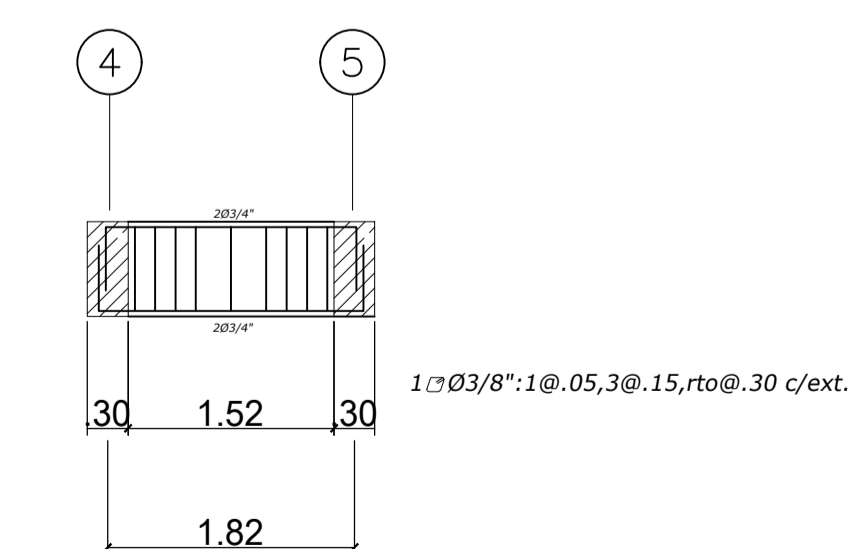
VIGA 4-4 30X70



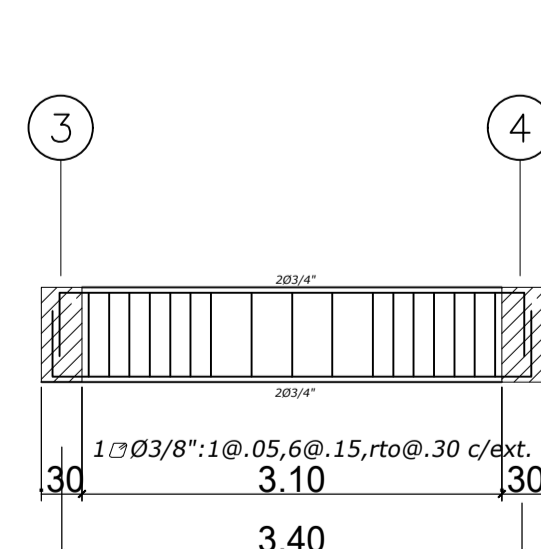
VIGA 3-3 30X70



VIGA G'-G' 30X70



VIGA G'-G' 30X70



VIGA H-H 30X70

PISO 5

| | | | | |
|--|--------------|---|--------|------------|
| | PROYECTO | VIVIENDA MULTIFAMILIAR | ESCALA | 1:25 |
| | PROPIETARIO | | FECHA | MAR 2022 |
| | UBICACION | MIRAFLORES | PLANO | 16/16 |
| | ESPECIALIDAD | ESTRUCTURAS: VIGAS DEL PISO 5 | | |
| | PROFESIONAL | ING. DANTE ALBERTO ALVARADO CASTILLO CIP 232621 | | |
| | | | | E16 |