

**COSTOS ASOCIADOS AL REFUERZO ESTRUCTURAL DE PILARES DE
HORMIGÓN ARMADO EN ETAPA DE OBRA GRUESA: CASO DE LA OBRA
CENTRO MÉDICO INDEPENDENCIA.**

Alumno:

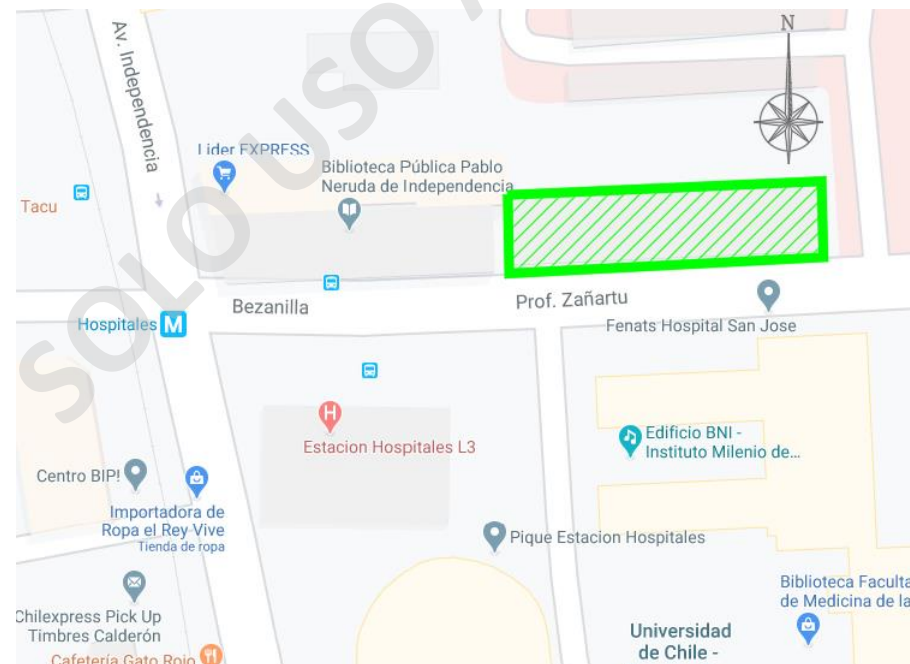
Daniel Alejandro Jofré Santana

Profesor Guía:

Francisco Omar Lagos Peralta.

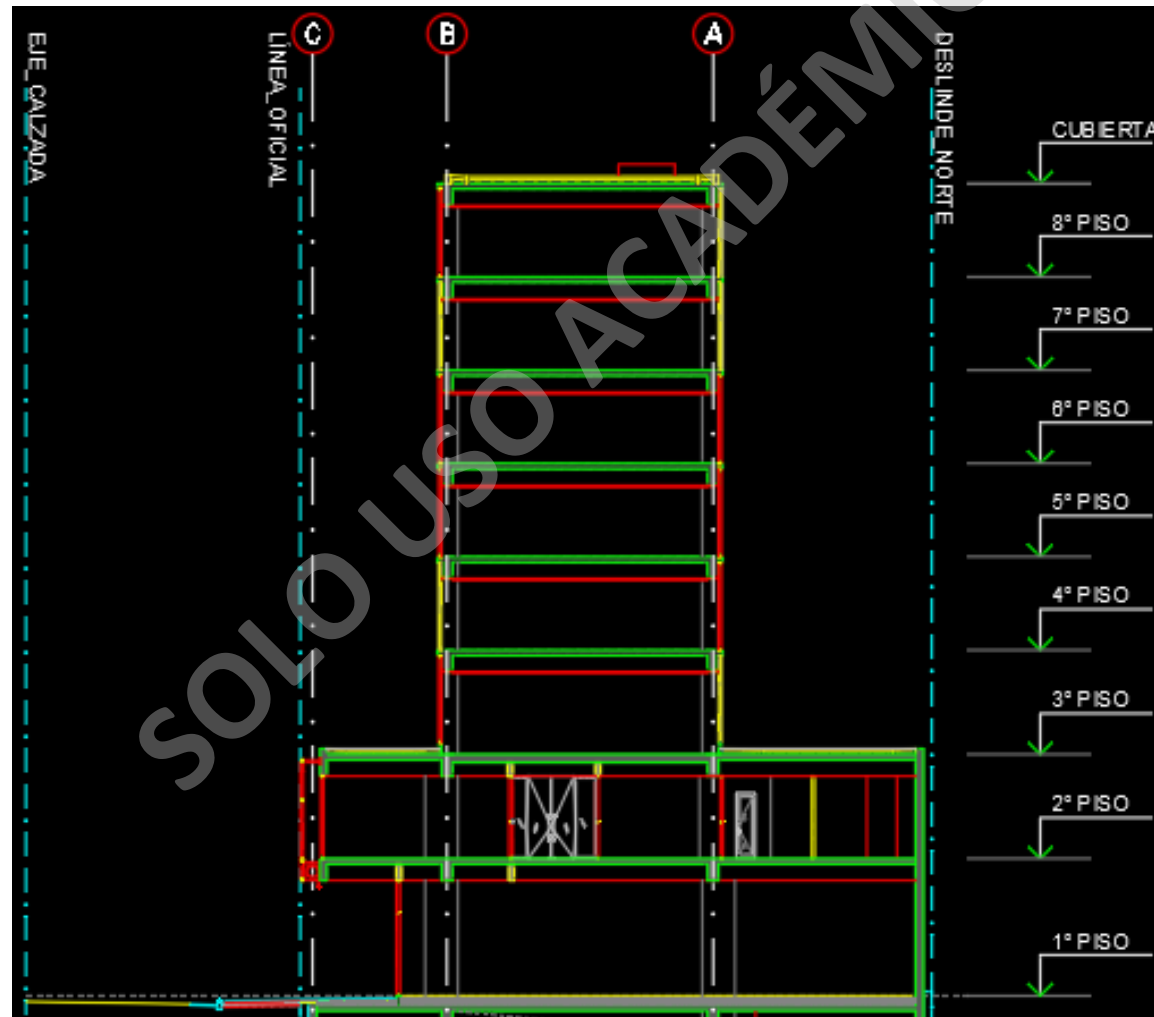
Proyecto Centro Médico Independencia.

- Edificación de 9.658,7 m².
- Contrato de construcción a suma alzada. Constructora Altius.
- Permiso de edificación n°8 del 09-04-2018. Equipamiento escala Mediana correspondiente a Comercio y Servicios.
- Sector Urbano Zona C Renovación (Plan Regulador Comunal de 2014).
- Colinda al norte y al oriente con el hospital de niños Dr. Roberto del Río, al sur con la calle Profesor Zañartu y al poniente con la biblioteca pública Pablo Neruda.



Estructura de la edificación.

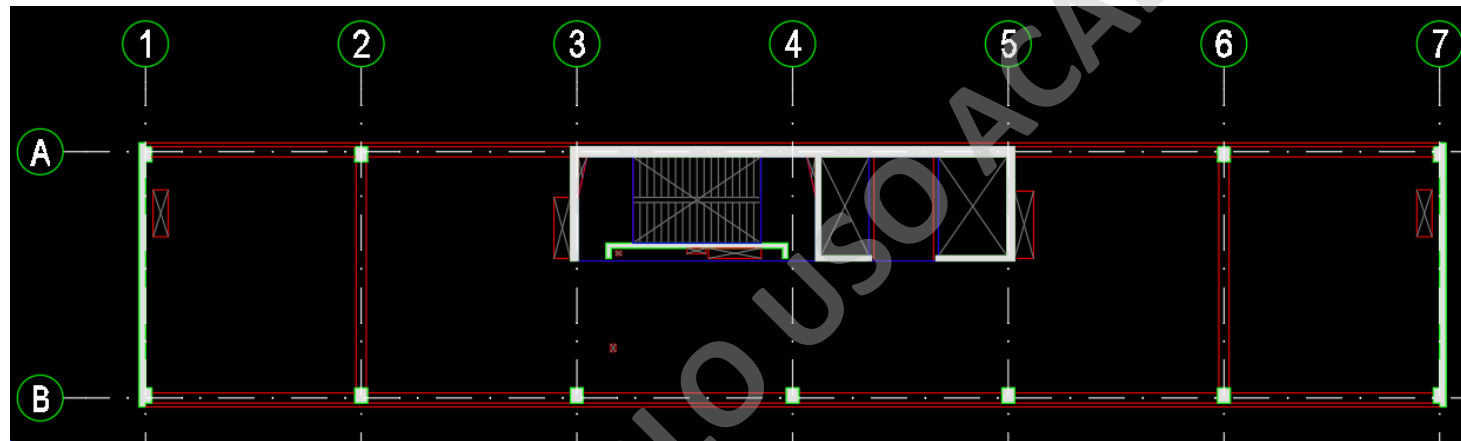
- Estructura de hormigón armado: 4 subterráneos y 8 pisos sobre cota cero:



Estructura de la edificación.

- Pilares estructurales en ejes A y B, desde las fundaciones hasta losa cielo de 8° piso.
Sección rectangular 60 X 50 cm en pisos superiores.

- Planta de estructuras pisos superiores (torre central):



- El incidente afectó a los pilares en ejes A/2 y B/2.
- Cuantía de acero de los pilares desde 4° a 7° piso es de 320 Kg/m³ aproximadamente (calidad A 63 42 H).

Explicación del incidente.

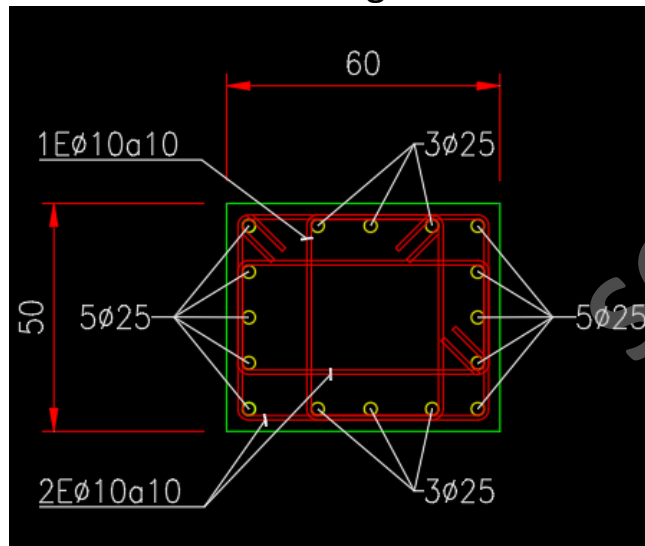
- Volcamiento de los pilares de acero de refuerzo en ejes A/2 y B/2 hacia el exterior de la edificación.
- Se encontraba ejecutada la losa del 5° piso (losa cielo 4° piso). Estas armaduras presentaban una altura libre de 9 metros.
- Sistema de arriostramiento: 3 barras de acero para hormigón de 25 mm (vientos) por cada pilar, cada una amarrada a un anclaje provisorio en la losa (dower).
- Factores: aplicación de una fuerza lateral (empuje de los vientos); sistema de arriostramiento deficiente; esbeltez excesiva de las estructuras.



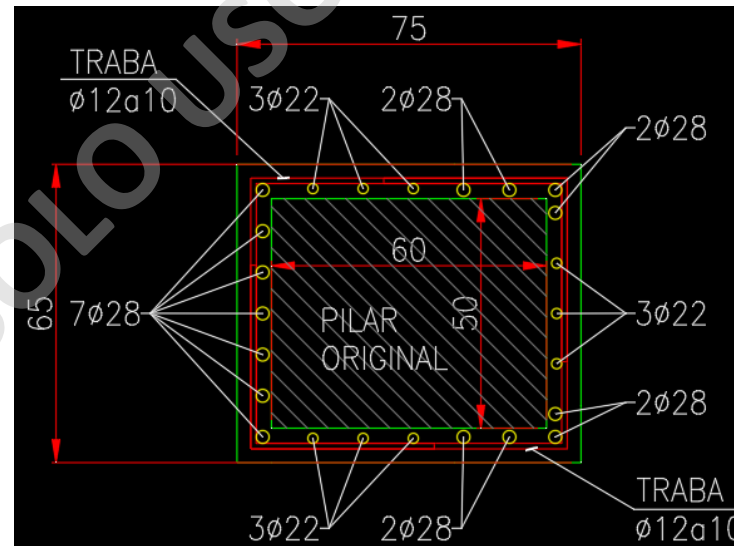
Técnicas de refuerzo estructural aplicadas.

1. Aumento de la sección de los pilares (recrecido), tanto en el 4° como en el 5° piso: aumento de la cuantía de acero de refuerzo a 605 Kg/m³ y hormigonado con grout de alta resistencia y baja retracción.
- Dosificación mezcla 5° piso: 50 kilogramos de grout en polvo (2 sacos) + 15 kilogramos de gravilla seca (30%) + 14 litros de agua (28%).

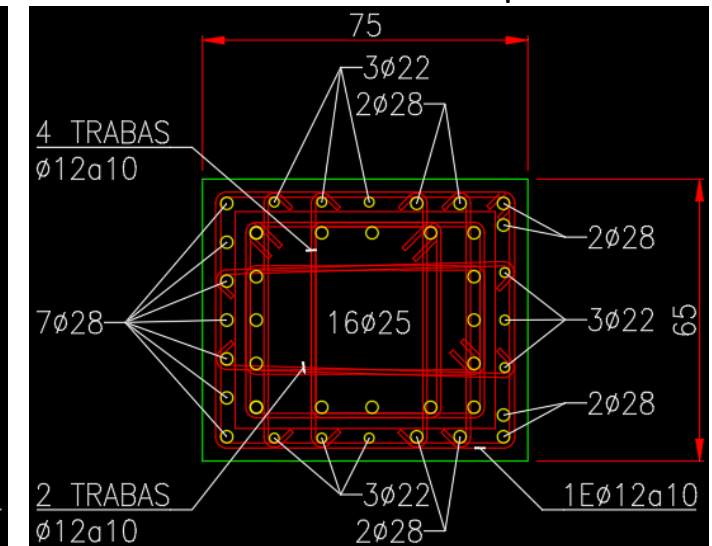
Pilares Originales.



Pilares recrecidos 4° Piso.



Pilares recrecidos 5° piso.

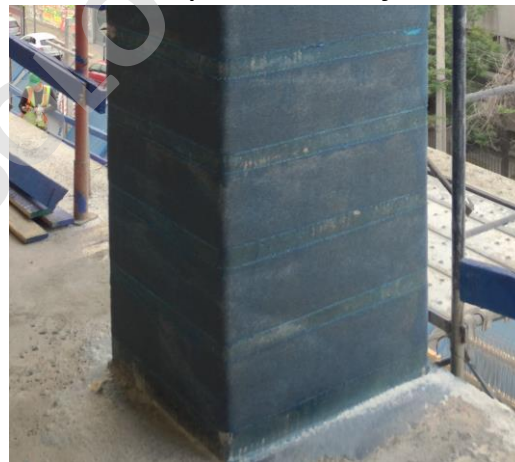


Técnicas de refuerzo estructural aplicadas.

- Armaduras pre armadas:

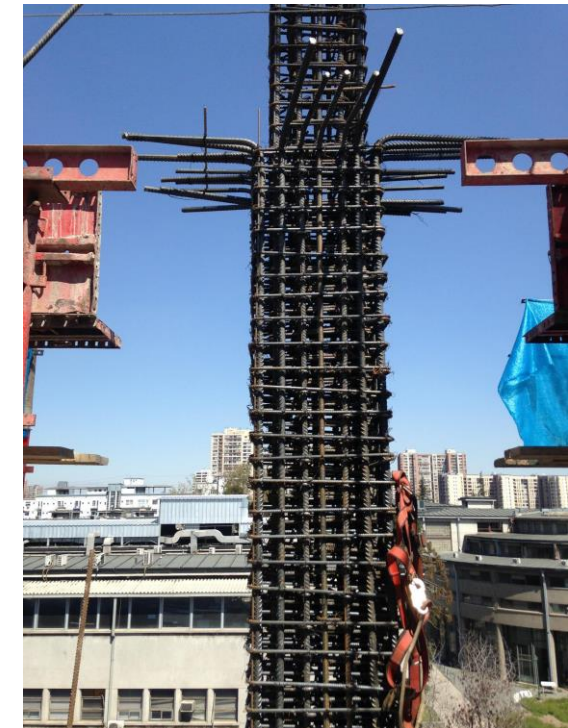


2. Tejidos de fibra de carbono (FRP) unidireccionales adheridos exteriormente en el 4° piso: pulido de la superficie de los pilares, instalación de los tejidos con resina epóxica de fijación. Resistencia 4.950 Mpa a tracción.



Dificultades constructivas en la aplicación del refuerzo estructural.

1. Fluidez del grout especificado:
>110% según norma ASTM C-1437.
2. Rotación y desplazamiento de pilar pre armado montado en ejes A/2.
3. Barras cabezales de refuerzo 5° piso empalmando en losa nivel 6° piso.



Cronología de las obras de refuerzo estructural.

- **09-09-2019:** Incidente afecta a pilares en ejes A/2 y B/2.
- **16-09-2019:** Entrega a la empresa constructora del proyecto de refuerzo estructural.
- **24-09-2019:** Se completa tratamiento superficial de pilares en 4° piso , 100% rugosidad. (2 días)
- **01-10-2019:** Demolición controlada de vigas y losa cielo 4° piso en ejes A/2 y B/2. (4 días)
- **02-10-2019:** Inyección de barras de refuerzo $\varnothing 22$ mm en perímetro de pilares 4° piso. (1 día)
- **03-10-2019:** Instalación de trabas en perímetro de pilares 4° piso. (1 día)
Se completa armado en obra de las armaduras para los pilares en pisos 4°, 5° y 6° (estructuras pre armadas). (3 días)
- **04-10-2019:** Montaje de pilar en ejes B/2. (1/2 día)
- **07-10-2019:** Montaje de pilar en ejes A/2, trazado e instalación de moldajes para ambos pilares en 4° piso. (1 día)
- **08-10-2019:** Hormigonado de pilar en 4° piso ejes B/2 . Trazado, instalación de moldajes y hormigonado de pilar en 5° piso ejes B/2 . (1 día)

Cronología de las obras de refuerzo estructural.

- **09-10-2019:** Hormigonado de pilar en 4° piso ejes A/2 . Trazado, instalación de moldajes y hormigonado de pilar en 5° piso ejes A/2 . (1 día)
- **15-10-2019:** Retiro de moldajes en ambos pilares, instalación de film plástico para curado. (1/2 día)
- **13-11-2019:** Se completa instalación de tejidos de fibra de carbono para ambos pilares en 4° piso. (2 días)

Estimación de los costos asociados a las obras de refuerzo estructural.

- Cubicación de armaduras instaladas para los pisos 4°, 5° y 6°:

Diámetro de barra (mm)	Longitud total (ml)	Masa nominal (kg/ml)	Masa total (kg)
28	222,00	4,830	1.073
25	232,00	3,850	894
22	122,40	2,980	365
12	861,64	0,888	766
10	393,40	0,617	243
		Total =	3.341

Estimación de los costos asociados a las obras de refuerzo estructural.

- Costo directo de las armaduras instaladas en obra:

Ítem	Partida	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (U.F.)	Precio Total (U.F.)
1	Armaduras	kg	3.341	0,0394	131,64
				Total =	131,64

- Costo directo del grouteo de los dos pilares en ambos niveles:

Ítem	Partida	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (U.F.)	Precio Total (U.F.)
1	Grouteo estructural	gl	1	262,35	262,35
				Total =	262,35

- Costo directo de los materiales de grouteo para ambos pilares:

Ítem	Material	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (U.F.)	Precio Total (U.F.)
1	Grout	Saco	358	0,2496	89,36
2	Gravilla	Saco	61	0,0275	1,68
				Total =	91,04

Estimación de los costos asociados a las obras de refuerzo estructural.

- Costo directo instalación de refuerzos de fibra de carbono en ambos pilares:

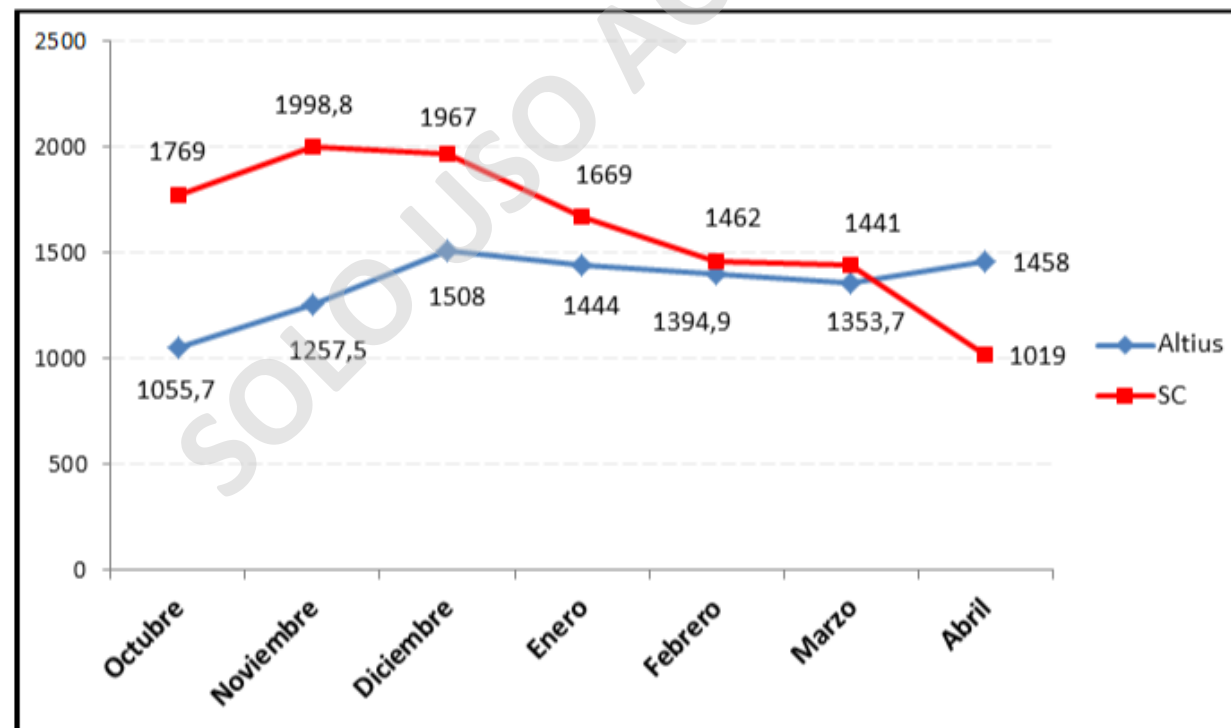
Ítem	Partida	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (U.F.)	Precio Total (U.F.)
1	Refuerzo fibra de carbono	gl	1	117,59	117,59
				Total =	117,59

- Costo directo total de las obras de refuerzo estructural:

Ítem	Partida	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (U.F.)	Incidencia (%)
1	Mano de obra por Constructora	gl	1	12,88	2,04
2	Armaduras instaladas	gl	1	131,64	20,82
3	Moldajes instalados	gl	1	16,78	2,65
4	Grouteo estructural	gl	1	353,39	55,89
5	Refuerzo con fibra de carbono	gl	1	117,59	18,60
			Total =	632,28	

Estimación de los costos asociados al impacto en la programación de las obras.

- Término programado de la obra gruesa: 23 de Octubre de 2019.
- Término real de la obra gruesa: 13 de Diciembre de 2019.
- Atraso total de la obra gruesa: 35 días hábiles.
- Aumento de plazo de 2 meses (conflicto social) : nueva fecha de término de obra 05 de Abril de 2020.
- Fuerza laboral del proyecto desde Octubre de 2019 hasta Abril de 2020, medida en hombre – día:



Estimación de los costos asociados al impacto en la programación de las obras.

- Contrato de construcción: multa de 0,05% sobre el precio total del contrato por cada día de atraso con respecto al plazo total.
- Monto total equivalente a multas por atraso desde el 05 de Febrero de 2020 y 05 de Abril de 2020 = **4.298,3 U.F.**

Costo asociado al incidente en estudio, en comparación al costo directo de las obras:

Situación	Costo asociado al incidente (U.F.)	Costo Directo De la Obra Gruesa (U.F.)	Costo Directo Total de la Obra (U.F.)	Relación Porcentual (%)
No considera multas por atrasos	632,3	58.710	-	1,08
Sí considera multas por atrasos	4.930,6	-	137.000	3,60

- Costo potencial ley n°16.744 de 1968 (decreto 67 de 2000): cotización adicional diferenciada de hasta un 6,80% sobre las remuneraciones imponibles de cada trabajador, según tasa de siniestralidad.

Medidas de seguridad en obra.

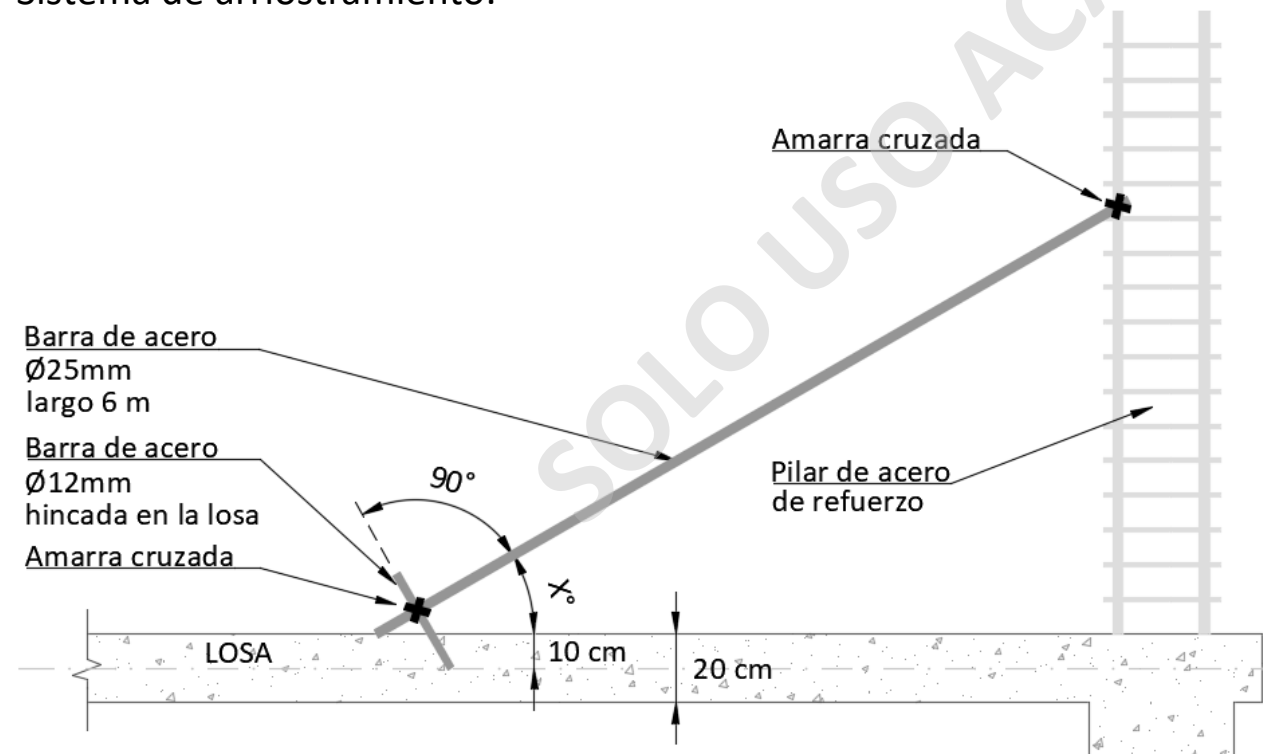
1. Propiedades mecánicas del acero:

Conceptos de esbeltez, pandeo y carga crítica. Pérdida del equilibrio elástico.

Conclusión: a mayor altura de los pilares, mayor probabilidad de que las barras se pandeen.

Relación de esbeltez segura para este tipo de pilares según la experiencia en terreno.

2. Sistema de arriostramiento:



Medidas de seguridad en obra.

3. Cierre de las zonas de peligro: cintas y señales según NCh 1410 y NCh 1411.

Conclusiones:

- Costo derivado del impacto en la programación de las obras más de 6 veces mayor que el costo asociado a las obras de refuerzo estructural.
- Costo total derivado del incidente en estudio equivale al 3,6% del costo directo total del proyecto.
- Las medidas de seguridad para prevenir este tipo de incidentes de manera eficiente son fáciles de implementar y de muy bajo costo (óptima relación costo – beneficio).