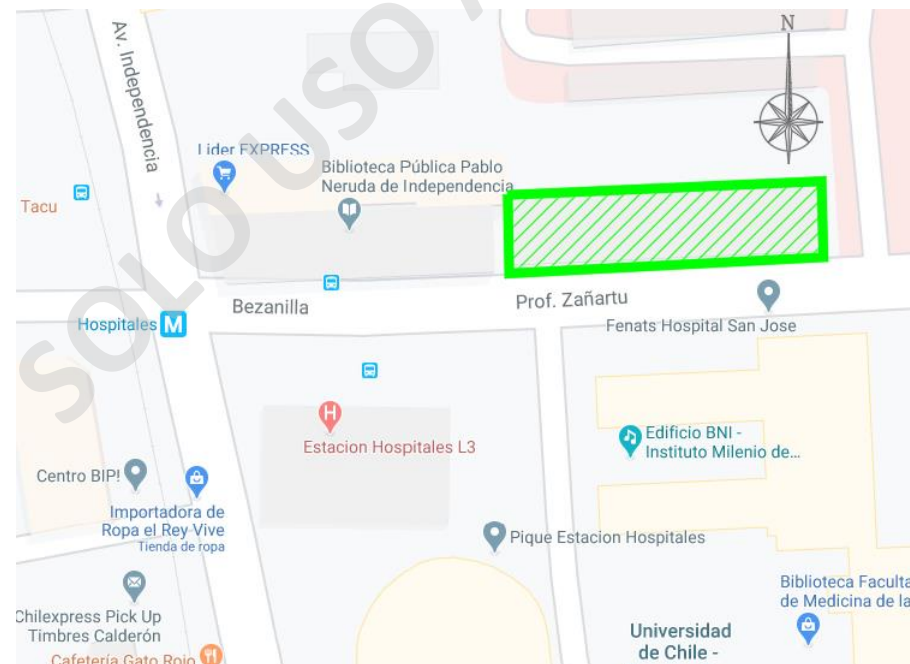


**COSTOS ASOCIADOS AL REFUERZO ESTRUCTURAL DE PILARES DE  
HORMIGÓN ARMADO EN ETAPA DE OBRA GRUESA: CASO DE LA OBRA  
CENTRO MÉDICO INDEPENDENCIA.**

**Alumno:** Daniel Alejandro Jofré Santana  
**Profesor Guía:** Francisco Omar Lagos Peralta.

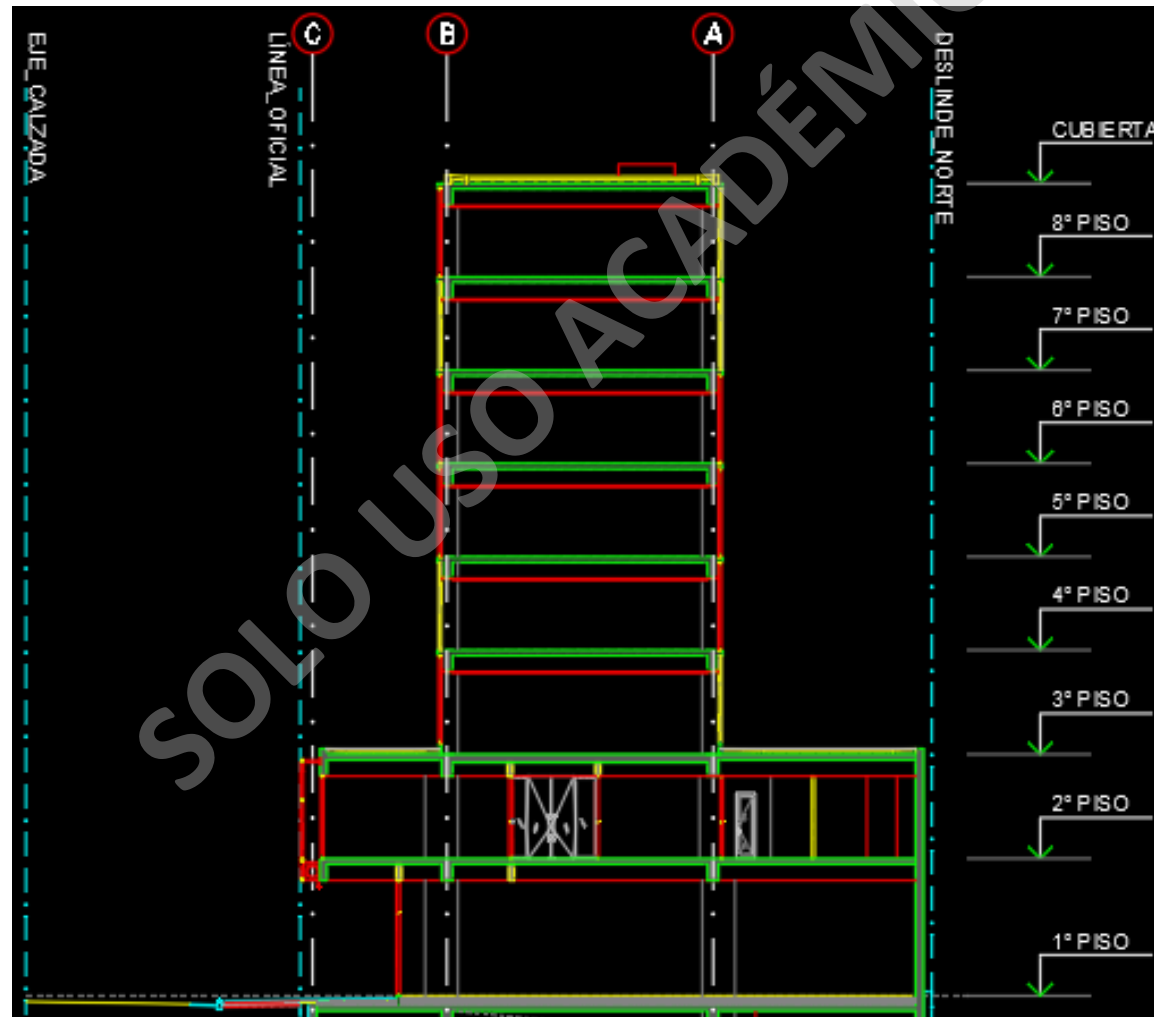
## Proyecto Centro Médico Independencia.

- Edificación de 9.658,7 m<sup>2</sup>.
- 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.



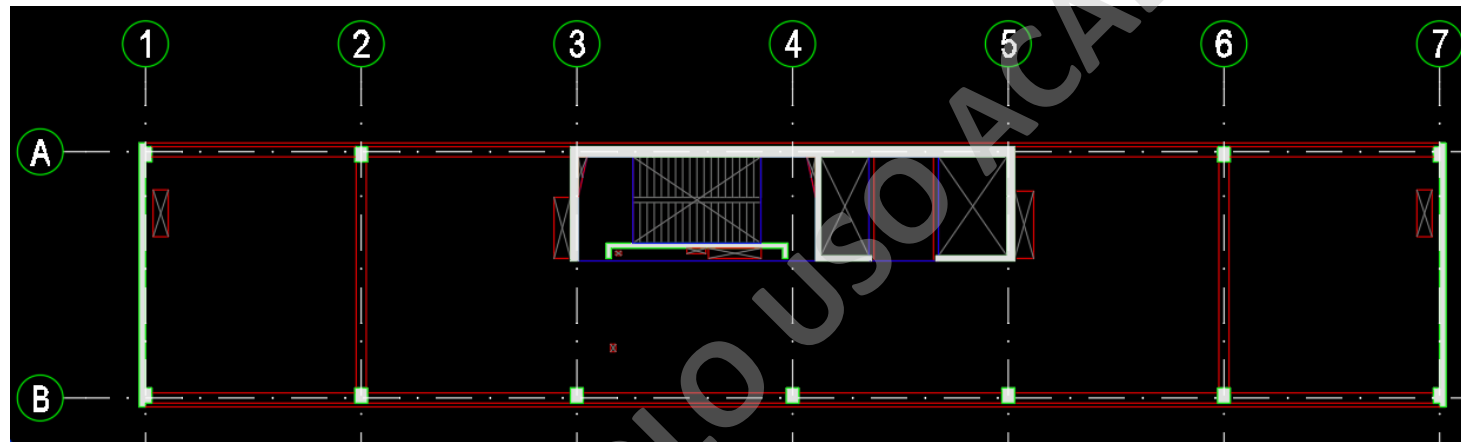
## Estructura de la edificación.

- 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/m<sup>3</sup> aproximadamente (calidad A 63 42 H).

## Explicación del incidente.

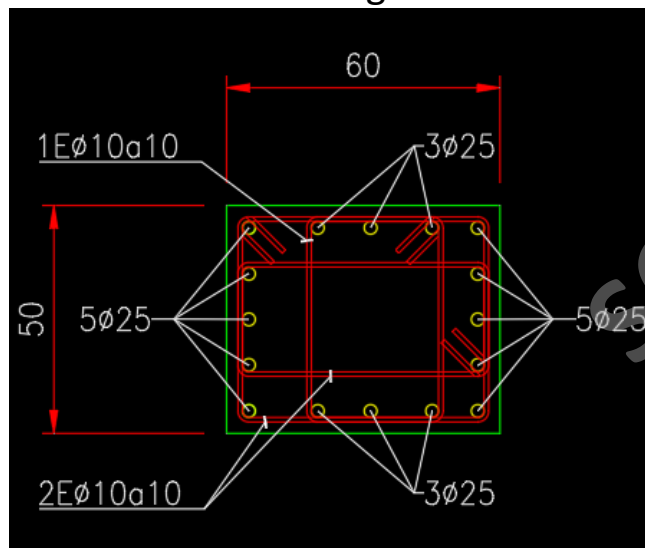
- Volcamiento de los pilares de acero de refuerzo en ejes A/2 y B/2 hacia el exterior de la edificación.
- Se encontraba ejecutada la losa del 5° piso (losa cielo 4° piso). Estas armaduras presentaban una altura libre de 9 metros.
- Sistema de arriostramiento: 3 barras de acero para hormigón de 25 mm (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.



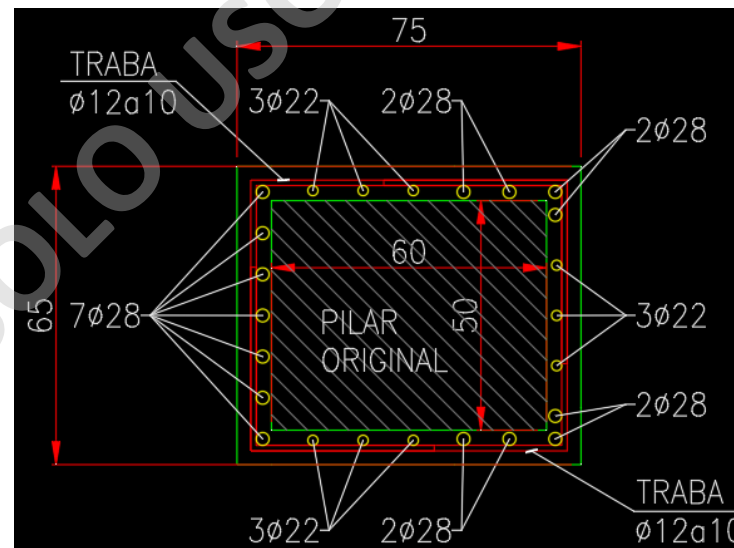
## Técnicas de refuerzo estructural aplicadas.

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/m<sup>3</sup> 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%).

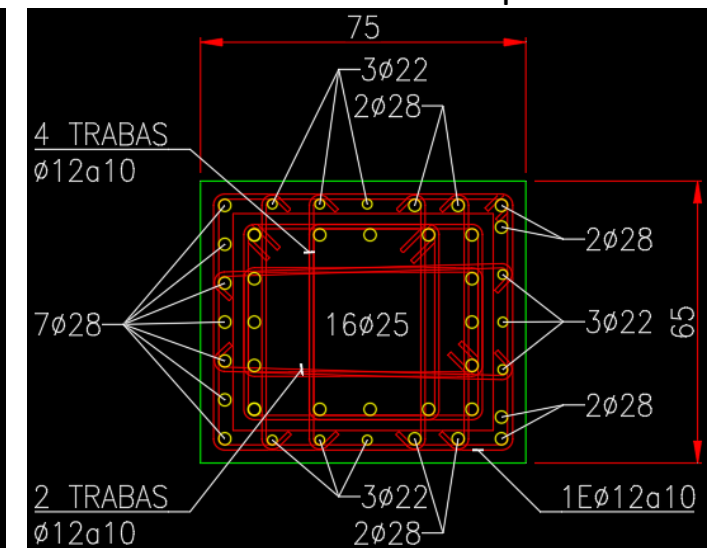
Pilares Originales.



Pilares recrecidos 4° Piso.



Pilares recrecidos 5° piso.



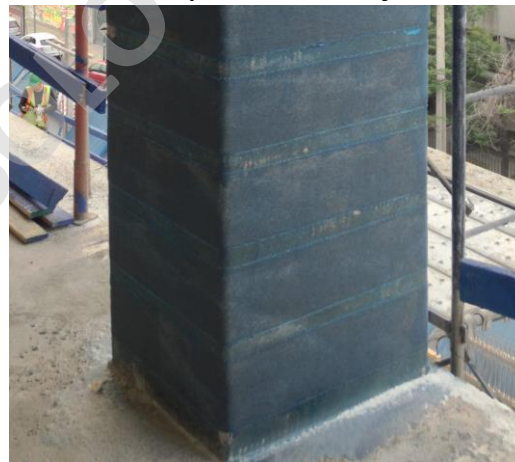


## Técnicas de refuerzo estructural aplicadas.

- 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 empalmado 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
		<b>Total =</b>	<b>3.341</b>

### 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
				<b>Total =</b>	<b>131,64</b>

- 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
				<b>Total =</b>	<b>262,35</b>

- 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
				<b>Total =</b>	<b>91,04</b>

### 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
				<b>Total =</b>	<b>117,59</b>

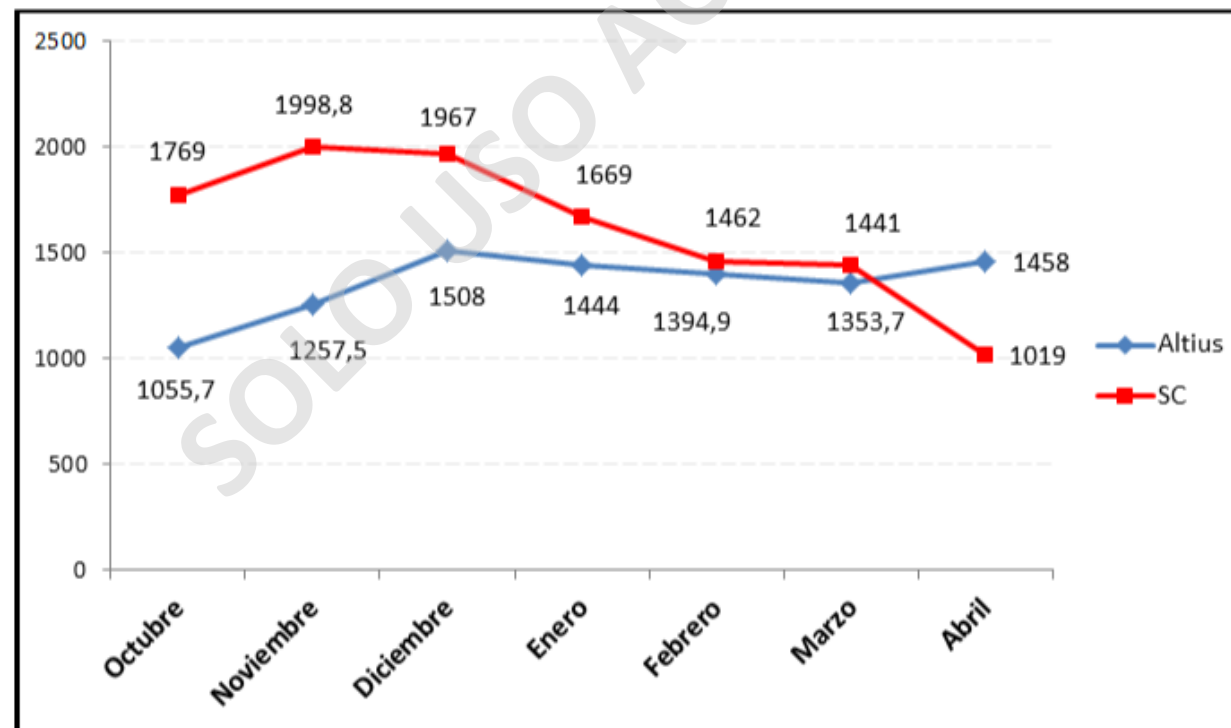
- Costo directo total de las obras de refuerzo estructural:

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
			<b>Total =</b>	<b>632,28</b>	



### 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.

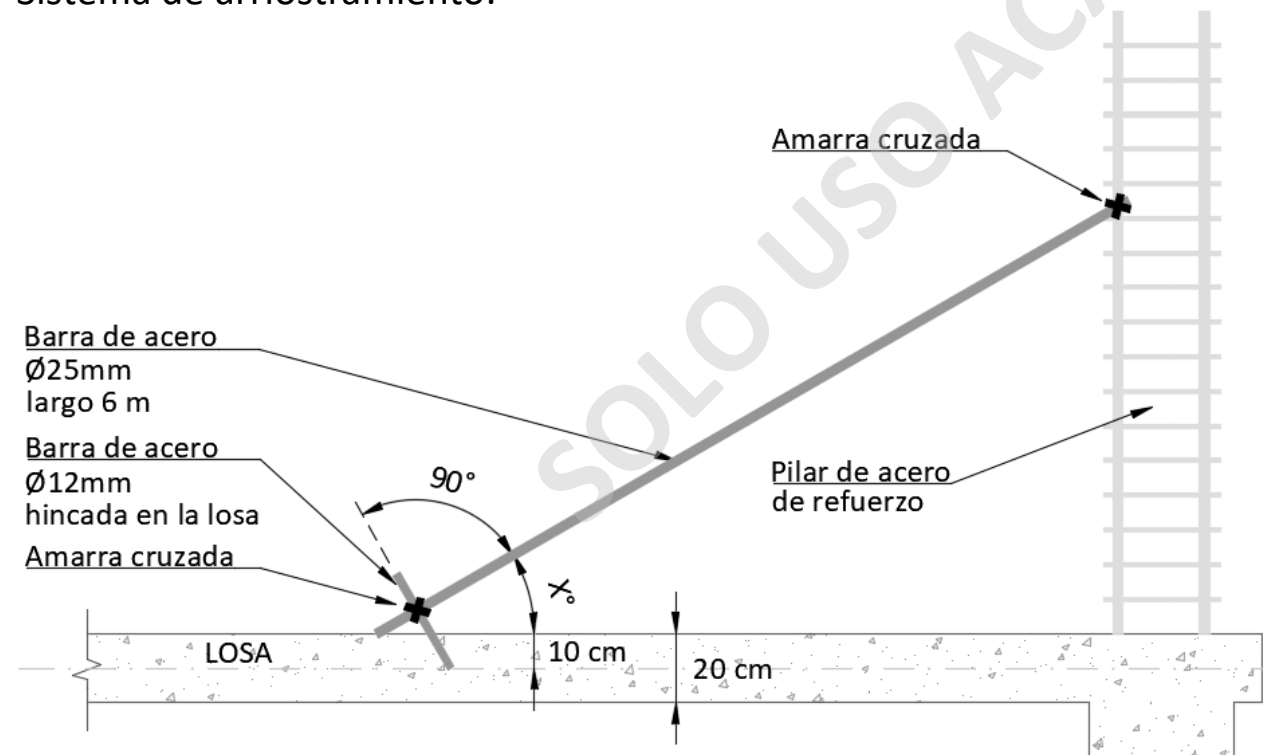
### 1. Propiedades mecánicas del acero:

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).