

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**OPTIMIZACIÓN DEL ACERO USADO COMO SOPORTE Y  
GANCHO DE SUJECCIÓN DEL ACERO DE REFUERZO EN  
CIMENTACIONES DE CONCRETO**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**BRYAN SÁNCHEZ TRUJILLO**

**Lima- Perú**

**2015**

## ÍNDICE

<b>RESUMEN.....</b>	<b>2</b>
<b>LISTA DE CUADROS .....</b>	<b>4</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS .....</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....</b>	<b>8</b>
1.1 PROCESOS CONSTRUCTIVOS Y SUS CARACTERÍSTICAS .....	8
1.2 COSTOS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO POR COLOCACIÓN DE SILLETAS DE SOPORTE O SUJECIÓN .....	11
1.3 COMENTARIO A LA NTE E.060 Y OTRAS NORMAS .....	16
<b>CAPÍTULO II: ANÁLISIS DE LAS CARGAS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO .....</b>	<b>18</b>
2.1 PESO DE LAS BARRAS DE REFUERZO .....	20
2.2 CARGAS POR PROCESO CONSTRUCTIVO .....	20
2.3 DETERMINACIÓN DE CARGA MÁXIMA SOBRE LAS SILLETAS.....	21
2.4 VERIFICACIÓN DE TOLERANCIAS EN LA DESVIACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.....	22
<b>CAPÍTULO III: PROPUESTA TÉCNICA Y OPTIMIZACIÓN DE COSTOS .....</b>	<b>26</b>
3.1 ELABORACIÓN DE CUADROS Y TABLAS PARA INDICAR LAS SILLETAS DE SOPORTE O SUJECIÓN SEGÚN LA ALTURA DE LA CIMENTACIÓN Y SU REFUERZO DE ACERO .....	27
3.2 COSTOS OPTIMIZADOS DE LAS SILLETAS DE SOPORTE O SUJECIÓN .....	29
3.3 COMENTARIOS FINALES.....	36
<b>CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>37</b>
4.1 CONCLUSIONES.....	37
4.2 RECOMENDACIONES .....	38
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>39</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>40</b>

## RESUMEN

Para el proceso constructivo de cimentaciones de concreto se usan diversos accesorios, algunos estandarizados y otros no; uno de los no estandarizados es el acero usado como soporte y gancho de sujeción de las barras de refuerzo, (comúnmente llamado "burro", "burrito" o "silletas" de soporte), pues en los planos estructurales no se detalla la forma de colocar y sostener las barras de refuerzo y en obra las silletas se colocan de forma empírica según las experiencias previas de los encargados de la construcción, espaciando las silletas de 0.60 a 1.00mts. La hipótesis del presente informe es que las silletas se pueden colocar más distantes para disminuir su cantidad y así disminuir los costos de este proceso constructivo.

Las silletas son construidas con el mismo acero corrugado que es usado para el refuerzo en las cimentaciones de concreto (acero de refuerzo), estas silletas deben tener las cualidades de ser estable: sin deslizarse a los lados, ser rígido: evitando el pandeo y posterior colapso de las barras de refuerzo colocado sobre estas, y estar adecuadamente espaciadas: evitando los desplazamientos verticales excesivos de las barras de refuerzo colocados sobre las silletas. La norma peruana NTP E-060 no indica ninguna restricción y/o recomendación para el uso de estos ganchos de sujeción, ni el material a emplear, por lo que en obra se usan ganchos de sujeción del mismo material que el acero de refuerzo, doblados y colocados de manera que sean estables y soporten las cargas verticales eficientemente.

Se piensa que los ganchos de soporte y sujeción "silletas" son construidos con el acero de desperdicio (remanente de efectuar los cortes de acero necesario para el refuerzo estructural indicado en los planos respectivos), pero no es el caso pues esta longitud remanente muchas veces es insuficiente para lograr construir un gancho de soporte. De igual manera las compañías que venden acero dimensionado incluyen estas silletas dentro de sus planillas o listas de despiece, pero es un accesorio de construcción que no puede ser valorizado y/o cobrado al cliente, por lo tanto si se optimiza el uso de las silletas o ganchos de soporte y sujeción se puede disminuir costos para el constructor e incrementar su margen económico.

Para determinar el óptimo espaciamiento de las silletas o ganchos de soporte y sujeción se realizaron los siguientes cálculos:

1. La carga máxima para cada silleta según la fórmula de pandeo de Euler.
2. El peso de la malla de refuerzo por m<sup>2</sup>.
3. La sobrecarga por proceso constructivo.
4. El espaciamiento de las silletas se determina según el área que debe soportar cada silleta para no sobre pasar su capacidad de carga.
5. Verificación del desplazamiento o deformación máxima de la malla de refuerzo.

Posteriormente se dan recomendaciones para el espaciamiento máximo de las silletas de soporte y sujeción sin que se sobrepase su capacidad máxima y existan deformaciones importantes en el acero de refuerzo.

Asimismo se hace la comparación entre las silletas colocadas y las silletas que se hubieran colocado si se optimizaban, durante la ejecución de las obras civiles del Proyecto Minero Constancia ubicado en la provincia de Chumbivilcas, Cuzco; en el periodo Noviembre 2013 – Marzo 2014.

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Características físicas de las barras de refuerzo.....	12
Cuadro 2: Ejemplo del costo por colocación de silletas.....	13
Cuadro 3: Metrados de concreto y acero del Proyecto Minero Constancia.....	14
Cuadro 4: Costos por colocación de silletas (USD/m <sup>3</sup> ).....	15
Cuadro 5: Tolerancias para la colocación del acero de refuerzo.....	17
Cuadro 6: Valores recomendados para el factor "k" en condiciones ideales.....	21
Cuadro 7: Variación en la colocación de silletas según la altura y refuerzo de la estructura.....	27
Cuadro 8: Metrados de las diversas áreas de trabajo donde se muestra el comparativo entre el acero colocado en silletas Vs el posible metrado optimizado.....	31
Cuadro 9: Costos optimizados por colocación de silletas según diversas cimentaciones y refuerzos (en USD/m <sup>3</sup> ), se tienen promedios del cuadro A04 (ver anexos).....	33
Cuadro 10: Diferencia de Costos: actual menos optimizado, en colocación de silletas en diversas cimentaciones y refuerzos (en USD/m <sup>3</sup> ).....	34
Cuadro 11: Diferencia de costos por colocación de silletas según diversas cimentaciones y refuerzos (%). .....	35

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Utilización de silletas en el armado del refuerzo de una cimentación. ....	8
Figura 2: Modelo tridimensional de las silletas según lista de despiece de Corporación Aceros Arequipa. Fuente Corporación AASA. ....	9
Figura 3: Utilización de silletas para armar refuerzo en losas. ....	10
Figura 4: Utilización de silleta en una cimentación de $h=2.50m$ . ....	11
Figura 5: Sillas de corte para cimentaciones. Fuente: Planos del proyecto minero Constancia. ....	14
Figura 6: Distribución de trabajadores para colocar las barras de refuerzo. ....	18
Figura 7: Deformaciones en las barras de refuerzo por peso propio. Fuente: Internet ( <a href="http://publiespe.espe.edu.ec/academicas/hormigon/hormigon07-e.htm">http://publiespe.espe.edu.ec/academicas/hormigon/hormigon07-e.htm</a> ) ....	19
Figura 8: Cimentación del molino de bolas con armadura de acero completa. ....	19
Figura 9: Distribución de trabajadores y sus EPP sobre el molino de bolas. ....	20
Figura 10: Deformaciones en las mallas de refuerzo, sujetado por cuatro silletas en sus extremos. ....	22
Figura 11: Modelo para determinar la deflexión 1, ocurrida en las barras de soporte principales. ....	22
Figura 12: Modelo para determinar la deflexión 2, ocurrida en las barras centrales que se apoyan sobre las barras de soporte principales. ....	23
Figura 13: Forma de unir silletas con arriostres centrales. Fuente: Planos de despiece de AASA. ....	29
Figura 14: Utilización de arriostres centrales para la sujeción de las silletas. ....	29
Figura 15: Ahorro en silletas en cimentaciones según diversas áreas del proyecto. ....	32

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

<b>AASA</b>	:	Corporación Aceros Arequipa S.A.
<b>d</b>	:	Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción (cm).
<b>E</b>	:	Módulo de Elasticidad ( $\text{kg/cm}^2$ ).
<b>EPP</b>	:	Equipo de Protección Personal.
<b>F.S.</b>	:	Factor de seguridad.
<b><math>f_y</math></b>	:	Límite de fluencia del acero de construcción ( $\text{kg/cm}^2$ ).
<b>I</b>	:	Momento de inercia ( $\text{m}^4$ ).
<b>k</b>	:	Factor para determinar la longitud efectiva de pandeo.
<b>L</b>	:	Longitud libre entre apoyos (m).
<b><math>P_{cr}</math></b>	:	Carga crítica por pandeo de Euler (kg).

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad las empresas dedicadas a la industria de la construcción tienen la necesidad de disminuir todos los costos al mínimo posible para hacer más atractivas sus ofertas y seguir vigentes en el mercado; existe un accesorio de construcción que analizaremos en el presente informe comúnmente llamado "burro", "burrito" o "silletas" de soporte y sujeción. Sirve para la sujeción de las barras de refuerzo en cimentaciones de concreto, por lo tanto es un accesorio de construcción bastante recurrente en la industria de la construcción y si se disminuye este costo, tenemos construcciones más económicas.

Este informe busca en primer lugar identificar y cuantificar los costos del accesorio de construcción para soportar y mantener fijas las barras de refuerzo, y encontrar una alternativa para disminuir este costo a partir de un mejor espaciamiento o disminución del diámetro del acero usado para las silletas, sin que se sobrepase la carga máxima de cada silleta o gancho de soporte y sujeción, también se verifica las deformaciones verticales o flechas de las barras de refuerzo para no sobrepasar las tolerancias permitidas.

Para tal propósito el informe se ha organizado en cuatro capítulos; el primero de ellos presenta las características actuales del proceso constructivo, se determina el costo del accesorio usado para soportar y sujetar las barras de refuerzo, finalmente se hace un comentario a la norma NTP E 060 y otras normas respecto a cómo mantener sujeto y estable las barras de refuerzo. En el segundo capítulo se hace un análisis de las cargas y sobrecargas a las que somete un gancho de soporte y sujeción, se determinara cual es la carga máxima que puede soportar cada uno de ellos y se verifica el desplazamiento vertical máximo del acero de refuerzo colocado en la parte superior. En el tercer capítulo se genera las tablas correspondientes del espaciamiento de los ganchos de soporte o sujeción según el refuerzo que vayan a soportar y la altura de la cimentación de concreto, calculando también los costos correspondientes y verificando un costo menor del que actualmente se tiene logrando un ahorro y consecuentemente mayor margen económico.

Finalmente en el cuarto capítulo se dan a conocer las conclusiones obtenidas y se hacen algunas recomendaciones para mejorar y optimizar el proceso constructivo y sus costos.



## CAPÍTULO I: GENERALIDADES

### 1.1 PROCESOS CONSTRUCTIVOS Y SUS CARACTERÍSTICAS

Para el actual proceso constructivo de colocar las barras de refuerzo superiores en cimentaciones de concreto se necesita la utilización de un accesorio de soporte y sujeción (comúnmente llamado "burro", "burrito" o "silletas"). En la figura 01 se observa la utilización de silletas para armar las barras de refuerzo superiores en la cimentación del molino de bolas en el proyecto minero Constancia ubicado en la provincia de Chumbivilcas / Cusco – 2013 y en la figura 02 se muestra el modelo tridimensional de estos ganchos de soporte y sujeción (silletas) según lista de despiece de la Corporación Aceros Arequipa, estos accesorios son fabricados con el mismo material que el acero de refuerzo (acero corrugado de  $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ ) y se tiene la idea de que se utiliza el desperdicio de acero (sobrante de las barras de acero de 9 y/o 12 metros luego de hacer el corte para el refuerzo estructural), pero este remanente no sirve para estos propósitos pues muchas veces tiene una longitud insuficiente. De igual manera las compañías que venden acero dimensionado incluyen este accesorio dentro de sus planillas o listas de despiece, siendo un costo por proceso constructivo que no se puede valorizar porque no está detallado en los planos de refuerzo estructural.



Figura 1: Utilización de silletas en el armado del refuerzo de una cimentación.

En el presente informe se usara el término “silletas” para referirse al accesorio de soporte y sujeción de las barras de refuerzo en cimentaciones de concreto.

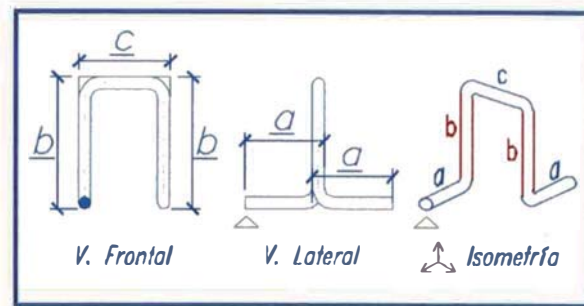


Figura 2: Modelo tridimensional de las silletas según lista de despiece de Corporación Aceros Arequipa. Fuente Corporación AASA.

Por lo general las cimentaciones de concreto llevan dos mallas de refuerzo, una inferior: paralela y separada del solado según el recubrimiento indicado (generalmente 7.5cm); y una malla superior: paralela a la cara superior de la cimentación y distanciada de este el recubrimiento indicado por el proyectista (generalmente 5cm). La malla inferior se coloca mediante dados de concreto de altura igual al recubrimiento y fabricados en obra con concreto de una resistencia igual o mayor a la resistencia de la cimentación de concreto; para colocar la malla superior se usan las silletas, estas se apoyan sobre la malla inferior gracias a las patas (longitud “a” en la figura 2) y sobre el lomo o cuerpo (longitud “c” en figura 2) se coloca la armadura superior, la longitud “b” en la figura 2 es la denominada altura de la silleta y está determinada tanto por la altura de la cimentación, los recubrimientos inferior y superior y el diámetro de las barras de refuerzo.

Otra necesidad de silletas, son las losas en el que el recubrimiento inferior sobrepase los 15cm, pues no se puede seguir usando los dados de concreto por ser muy esbeltos y reducir la resistencia final de la losa, en estos casos también se apoya la malla de refuerzo sobre silletas, losas de más de 15cm son poco usuales pero si son requeridas, sobre todo para plantas industriales para colocar una losa superior en cimentaciones de concreto y proporcionar una pendiente para el transporte de los respectivos fluidos, en la figura 3 se muestra la utilización de silletas para armar el refuerzo de la losa sobre la cimentación de la planta de flotación de cobre en el Proyecto Minero Constancia ubicado en la provincia de Chumbivilcas / Cusco - 2013.



Figura 3: Utilización de silletas para armar refuerzo en losas.

Actualmente los planos estructurales no detallan la colocación de silletas u otro accesorio que se vaya a utilizar para el soporte y sujeción de las barras de refuerzo durante la etapa de construcción, por lo que la colocación de las silletas es delegada a los maestros y/o oficiales fierreros de obra quienes lo colocan según sus experiencias previas, espaciándolos 0.60m, 0.80m y lo más usual es espaciarlos a 1.00m. Al estar con menor espaciamiento del realmente requerido se colocan más silletas de las requeridas y por lo tanto se incurren en mayores costos de los realmente necesarios; como ya mencionamos el acero usado para la fabricación de las silletas no es el acero de desperdicio, por lo tanto cada silleta colocada es costeadada por el constructor y no es valorizada porque es un accesorio de construcción y no está indicada en los planos del proyecto.

Por lo tanto, si se reduce el costo del proceso constructivo de soporte y sujeción de las barras de refuerzo superiores, disminuyendo o reemplazando las silletas se estaría incrementando el margen económico para el constructor, en la figura 4 se muestra la utilización de gran cantidad de silletas con arriostres centrales para el soporte y sujeción de las barras de refuerzo, en la cimentación del molino de bolas ( $h=2.5m$ ) en el proyecto minero Constancia / Chumbivilcas / Cusco – 2013.



Figura 4: Utilización de sillita en una cimentación de  $h=2.50\text{m}$ .

## 1.2 COSTOS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO POR COLOCACIÓN DE SILLETAS DE SOPORTE O SUJECIÓN

Para determinar el costo de cada sillita debemos multiplicar la longitud de cada sillita por el peso lineal de la barra y este por el precio de habilitación y colocación de acero, haciendo referencia a la figura 2:

La longitud "a" (patas de las silletas) es la suma del espaciamiento de las barras inferiores más  $0.10\text{m}$  ( $0.05\text{m}$  a cada lado para que pueda ser sujeta a la malla inferior sin problemas).

La altura "b" (altura de la sillita), es la diferencia del peralte de la cimentación con: en la parte inferior se resta el recubrimiento y una vez el diámetro del refuerzo que es donde se apoya la sillita, y en la parte superior se resta el recubrimiento y 2 veces el diámetro porque en la sillita se apoyan ambas mallas.

La longitud "c" (cuerpo o lomo de la sillita), es la suma del espaciamiento de las barras superiores más  $0.10\text{m}$  ( $0.05\text{m}$  a cada lado para que pueda sujetar a dos barras superiores sin problemas), si se quiere que sujete a dos barras de refuerzo que es lo más usual.

Luego de tener longitud total de la silleta se determina según peso según su densidad lineal, ver peso lineal de cada barra en el cuadro 1.

Cuadro 1: Características físicas de las barras de refuerzo.

Diámetro	DIAMETRO REAL (m)	SECCIÓN (m <sup>2</sup> )	PERÍMETRO (m)	PESO (kg/m)
Ø 3/8"	0.0103	7.10E-05	2.99E-02	0.560
Ø 1/2"	0.0137	1.29E-04	3.99E-02	0.994
Ø 5/8"	0.0173	1.99E-04	4.99E-02	1.552
Ø 3/4"	0.0210	2.84E-04	5.98E-02	2.235
Ø 1"	0.0279	5.10E-04	7.98E-02	3.973
Ø 1 3/8"	0.0394	1.01E-03	1.13E-01	7.907

Fuente: Corporación AASA.

Para el determinar el costo de la silleta en USD se multiplica el peso de la silleta por el costo del material más transporte, habilitado y colocación de acero pues como ya se explicó no se usa el acero de desperdicio para fabricar estas silletas, el precio considerado para el presente informe es de 1.30 USD/kg, que corresponde al costo por kg de acero colocado de la empresa COSAPI S.A. en el proyecto minero Constancia ubicado en la provincia de Chumbivilcas, Departamento de Cusco en el país de Perú, ejecutada durante el periodo Noviembre 2013 – Marzo 2014.

El costo de este accesorio de construcción viene a ser la división del costo de la silleta (calculada en los pasos anteriores) entre el volumen de concreto (altura de la cimentación multiplicada por el espaciamiento de las silletas en ambas direcciones); para el presente informe se recopiló información de la colocación de silletas en el proyecto ya mencionado y se encontró que eran colocados a un metro de separación.

Para resumir todo lo descrito anteriormente en el cuadro 2 se hace el cálculo del costo de las silletas por metro cúbico de concreto para una cimentación de 0.50m de altura con diversas distribuciones de los refuerzos, estas son: Ø3/4@0.15, Ø3/4@0.20, Ø3/4@0.25 y Ø3/4@0.30, para esta cimentación se usaron silletas Ø1/2" espaciadas a un metro de distancia. Finalmente se obtiene un costo promedio de 5.10 USD/m<sup>3</sup> por la colocación del accesorio de soporte y sujeción.

Cuadro 2: Ejemplo del costo por colocación de silletas.

REFUERZO		Ø 3/4"				
		@0.15	@0.20	@0.25	@0.30	
H=0.50m	SILLETA	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	
		LONGITUD (m)	1.75	1.90	2.05	2.20
		DISTRIBUCION (cant/m2)	1.00	1.00	1.00	1.00
		PESO (kg)	1.74	1.89	2.04	2.19
		USD	2.26	2.46	2.65	2.84
	USD/M3	4.52	4.91	5.30	5.69	
	PROMEDIO "USD / M3"	5.10				

Fuente: Elaboración propia.

Para el desarrollo de las obras civiles del proyecto minero CONSTANCIA, la empresa COSAPI S.A. firmo un contrato con la empresa HUSBAY PERU S.A.C por un monto contractual de USD 35'408,596.80 (treinta cinco millones cuatrocientos ocho mil quinientos noventa y seis con 80/100 dólares) que comprendía la colocación de 36,529.00m<sup>3</sup> de concreto estructural, este proyecto fue ejecutado de noviembre-2013 a abril-2014; el acero estaba incluido dentro de las partidas de colocación de concreto como ratio, así por ejemplo las partidas para colocación de concreto en cimentaciones eran:

- Strip footings, small, incl. excavation (in other than rock) & backfill, 32MPa, 100kg/m3 reinf., founded 1.5 m nominal below grade
- ✓ Colocación de concreto en cimentaciones pequeñas, incluida excavación y relleno, 32MPa, refuerzo de 100kg/m3, fundaciones hasta 1.50m
- Strip footings, large, incl. excavation (in other than rock) & backfill, 32MPa, 100kg/m3 reinf., founded 1.5 m nominal below grade
- ✓ Colocación de concreto en cimentaciones grandes, incluida excavación y relleno, 32MPa, refuerzo de 100kg/m3, fundaciones hasta 1.50m
- Raft footing, 1500 thick maximum, 32MPa, 100kg/m3 reinf., founded 1.5 m nominal below grade including excavation.
- ✓ Colocación de concreto en plateas de cimentación, 32MPa, refuerzo de 100kg/m3, fundaciones hasta 1.50m incluida la excavación.

En el cuadro 3 se muestran los metrados de concreto, acero de refuerzo y acero colocado en silletas como parte del proceso constructivo en las diversas áreas del proyecto minero Constancia.

Cuadro 3: Metrados de concreto y acero del Proyecto Minero Constanca.

ÁREA	CONCRETO (m <sup>3</sup> )	ACERO ESTRUCTURAL COLOCADO (Kg)	ACERO COLOCADO EN SILLETAS (kg)
3000 Process Plant - Piperacks	289.67	39,957.90	182.37
3100 Primary Crusher	3,077.70	396,887.02	9,268.76
3121 Stockpile Feed Conveyor	1,068.18	116,387.51	3,239.90
3200 Copper Plant	5,192.32	673,729.14	(*)
3220 Grinding	14,810.47	1'146,861.92	30,457.71
3240 Pebble Crushing Conveyor System	434.38	31,966.02	1,804.98
3251 Copper Flotation	2,700.77	229,812.06	5,357.99
3260 Copper Re grind	679.56	49,117.17	(*)
3270 Concentrate Thickening	1,424.35	152,453.05	4,879.32
3280 Copper Conc Filtration and Load Out	1,898.54	213,126.01	2,397.87
3291 Tailings Thickener	2,722.34	251,928.36	3,747.26
3300 Molybdenum Plant	449.57	50,984.15	1,162.98
3320 - Molybdenum Conc. Handling	140.90	10,251.45	213.46
3331-51-61 Molybdenun Plant Water, air, gas service	64.30	3,402.17	35.78
3400 Reagents Molybdenum	475.12	38,448.72	297.39
3440 Flocculant	180.06	22,659.16	298.20
3500 Plant Services	920.78	63,423.83	274.07
<b>TOTAL</b>	<b>36,529.00</b>	<b>3'491,395.65</b>	<b>63,618.05</b>

Fuente: Elaboración propia.

(\*) Cimentaciones en donde no se usaron silleas porque los planos indicaban "sillas de corte", estas sillas son como las mostradas en la figura.5.

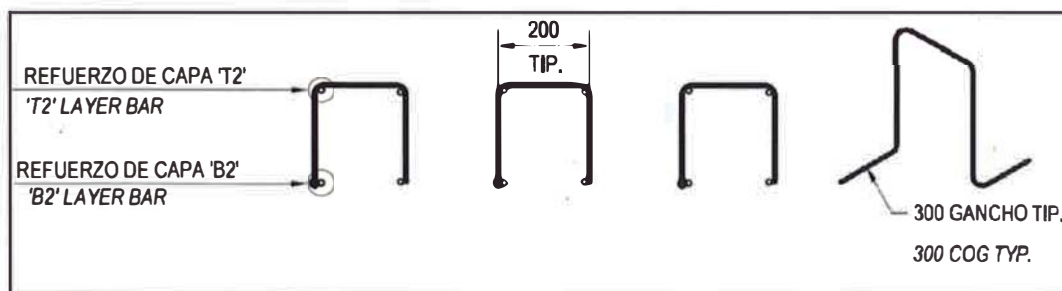


Figura 5: Sillas de corte para cimentaciones. Fuente: Planos del proyecto minero Constanca.

Para determinar los costos por utilización de silleas de soporte y sujeción del acero de refuerzo se ha recogido información del Proyecto Minero Constanca en el Cuadro A01 (ver anexos), y el resumen de este cuadro se muestra en el cuadro 4: costos por colocación de silleas (USD/m<sup>3</sup>), el procedimiento para llegar a estos cálculos es el mismo que el mostrado en el cuadro 3.

Cuadro 4: Costos por colocación de silletas (USD/m<sup>3</sup>).

ALTURA DE CIMENTACIÓN( m)	Refuerzo					
	Ø 3/8"	Ø 1/2"	Ø 5/8"	Ø 3/4"	Ø 1"	Ø 1 3/8"
0.20	5.01	5.01	5.01	8.88		
0.25	4.30	4.30	4.30	7.62		
0.30	3.82	3.82	3.82	6.78		
0.35		3.48	3.48	6.18		
0.40		3.23	3.23	5.73	8.95	
0.45		3.03	3.03	5.38	8.41	
0.50		2.88	5.10	5.10	7.97	11.48
0.55			4.88	4.88	10.96	10.96
0.60			4.68	7.31	10.53	10.53
0.65			4.52	7.06	10.17	10.17
0.70			4.38	6.85	9.86	9.86
0.75			4.26	6.66	9.59	9.59
0.80			4.16	6.49	9.35	9.35
0.85				6.35	9.14	9.14
0.90				6.22	8.96	8.96
0.95				6.11	8.79	8.79
1.00				6.00	8.64	8.64
1.05					8.51	8.51
1.10					8.39	8.39
1.15					8.27	8.27
1.20					8.17	8.17
1.25					8.08	8.08
1.30					7.99	7.99
1.35					7.91	7.91
1.40					7.83	7.83
1.45					7.76	7.76
1.50					7.70	7.70
1.55					7.64	13.58
1.60					7.58	13.48
1.65					7.53	13.38
1.70					7.48	13.29
1.75					7.43	13.21
1.80					7.38	13.13
1.85					7.34	13.05
1.90					7.30	12.98
1.95					7.26	12.91
2.00					7.23	12.85

Fuente: Elaboración propia.



Como se muestra en el cuadro 3, en el proyecto Constancia se colocaron 63,618.05 Kg de acero en silletas de soporte y sujeción como parte del proceso constructivo que representa 1.82% del acero colocado, con un costo de USD 82,703.46 (ochenta y dos mil setecientos tres con 46/100 dólares), que representa el 0.23% del monto contractual.

Si analizamos los datos porcentualmente representan una cantidad pequeña del resto de la obra, pero son costos que debemos considerar disminuir y así incrementar la utilidad para el constructor.

Como se aprecia en el cuadro 04, el costo por colocación de silletas en cimentaciones de concreto varía de USD 2.88 a USD 13.58, el objetivo del presente informe es reducir estos costos, optimizando el diámetro del acero a usar para la fabricación de silletas y la separación entre silletas; para garantizar el buen desempeño de las barras de refuerzo se verificara el desplazamiento vertical de la malla superior producto de la deformación por peso propio para no excederse de los límites permitidos por las normas correspondientes y/o especificaciones técnicas propias del proyecto.

### 1.3 COMENTARIO A LA NTE E.060 Y OTRAS NORMAS

Las Especificaciones Técnicas y/o los planos de diseño no hacen indicaciones precisas para los desplazamientos verticales de las mallas de refuerzo producto de su peso propio, por ello el constructor debe ejecutar los trabajos de acuerdo a la normatividad peruana vigente y de ser requerido por el propietario alguna otra normatividad o estándar adicional.

La norma técnica de edificación E.060 en el capítulo 7, sub capítulo 7.5 indica: "El refuerzo, incluyendo los tendones y los ductos de preesforzado, debe colocarse con precisión y estar adecuadamente asegurado antes de colocar el concreto. Debe fijarse para evitar su desplazamiento dentro de las tolerancias aceptables dadas en 7.5.2."

Y en numeral 7.5.2.1 indica la tolerancia según el peralte efectivo "d" y para el recubrimiento mínimo de concreto en elementos sometidos a flexión, muros y elementos sometidos a compresión debe ser el mostrado en el cuadro 5.

Cuadro 5: Tolerancias para la colocación del acero de refuerzo.

	Tolerancia en $d$	Tolerancia en el recubrimiento mínimo de concreto
$d \leq 200 \text{ mm}$	$\pm 10 \text{ mm}$	-10 mm
$d > 200 \text{ mm}$	$\pm 13 \text{ mm}$	-13 mm

Fuente: NTE E.060

La NTE E.060 indica las tolerancias para la colocación del acero de refuerzo pero no indica la forma de colocar y sujetar este acero de refuerzo (material, espaciamiento, u otros).

La norma ACI 318S-08, Requisitos para concreto estructural y comentario, indica lo mismo indicado en la NTE E.060 en cuanto a las tolerancias y hace las mismas omisiones en cuanto a la forma de sujetar las barras y el material a emplear.

Para el presente informe se tendrá como límite el desplazamiento vertical máximo de 10mm calculado en el centro del paño (área cuadrada soportada en sus cuatro esquinas por cuatro silletas).

## CAPÍTULO II: ANÁLISIS DE LAS CARGAS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

Durante el proceso constructivo de colocación de barras de refuerzo existen diversas cargas sobre las silletas, en el presente informe vamos a considerar dos condiciones críticas, las cuales son:

1. El pandeo de las silletas, para lo cual se considera el peso máximo de la armadura y las personas que trabajan colocando la armadura de refuerzo, será analizado con un factor de seguridad de 2, el factor de seguridad corresponde a que en determinados momentos el supervisor (ingenieros supervisores o personal encargado de seguridad) se sitúa al costado del trabajador e incrementa la carga sobre la malla de refuerzo o también puede entenderse como el posicionamiento de un trabajador con un equipo como una vibradora.

En la figura 6 se observa la distribución típica de los trabajadores para colocar el acero de refuerzo en la malla de refuerzo superior en cimentaciones de concreto, se observa que la condición crítica del pandeo de la silleta es con la carga de la malla armada y las personas trabajando, y se resalta que no existe concentración de personas, esta foto también pertenece a la cimentación del molino de bolas en el Proyecto Minero Constanca.

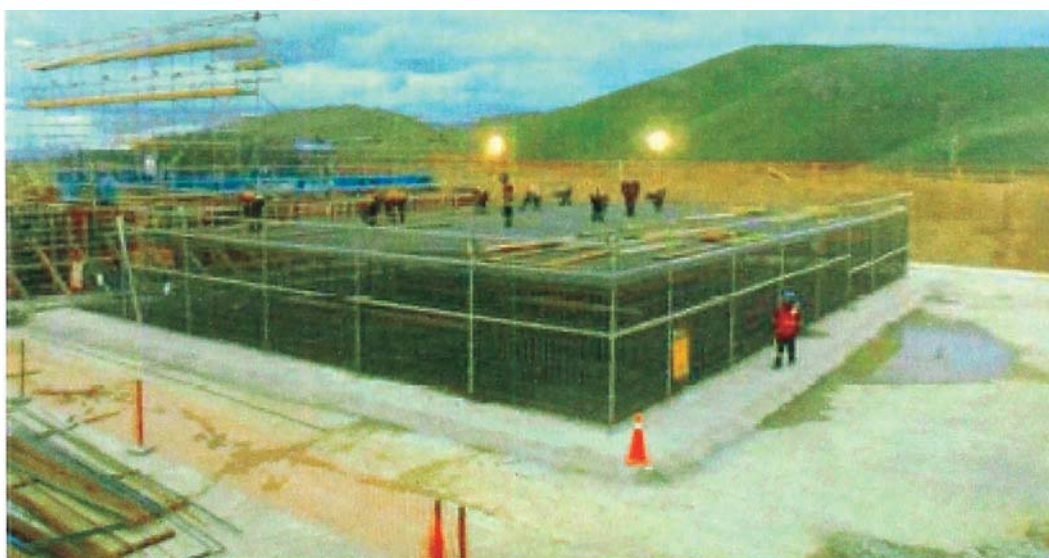


Figura 6: Distribución de trabajadores para colocar las barras de refuerzo.

2. La segunda condición crítica para el diseño y la distribución de silletas es el desplazamiento máximo de la malla de refuerzo que ocurriría en el centro del tramo, en este caso solo se considerara el peso propio de la malla y no el de las personas, porque cuando se coloque y fragüe el concreto no estarán las personas sobre las mallas de refuerzo; tampoco se considera el impacto del concreto fresco sobre las mallas de refuerzo porque la manguera de la bomba de concreto se aproxima lo más posible a donde se va a depositar el concreto fresco por la segregación de materiales y por lo tanto siempre se procura que las mangueras de concreto atraviesen las mallas de refuerzo sin mayor dificultad, en la figura 6 se muestra la posible deformación y desplazamiento máximo en el centro del paño de las barras de refuerzo por peso propio de las barras

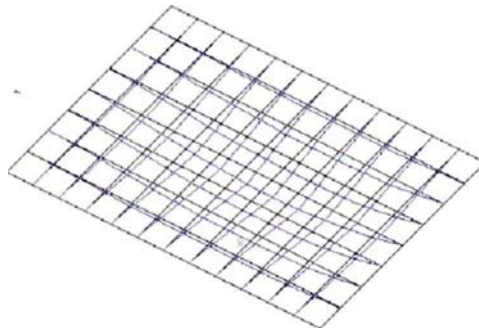


Figura 7: Deformaciones en las barras de refuerzo por peso propio. Fuente: Internet  
(<http://publiespe.espe.edu.ec/academicas/hormigon/hormigon07-e.htm>)

En la figura 8 se observa la cimentación del molino de bolas con las mallas de refuerzo completamente armadas y se aprecia que las barras de refuerzo no están deformadas.



Figura 8: Cimentación del molino de bolas con armadura de acero completa.

Para realizar los análisis antes mencionados vamos a determinar en primer lugar las cargas actuales, las cuales se describen a continuación:

## 2.1 PESO DE LAS BARRAS DE REFUERZO

Para el cálculo de la carga por las barras de refuerzo se usara el peso lineal real del acero según la corporación AASA, ver cuadro 1.

## 2.2 CARGAS POR PROCESO CONSTRUCTIVO

El peso de las sobrecargas en las silletas se ha estimado en  $150 \text{ Kg/m}^2$ , que significa que una persona con todos sus implementos de trabajo tienen un peso de  $150 \text{ Kg}$  y actúan en  $1 \text{ m}^2$ , o lo mismo que una persona con todo su equipo está separada de otra  $1 \text{ metro}$  de distancia; esta condición es en el caso más desfavorable, pues como se observa en la Imagen 9 las personas están más separadas unas de otras.

El peso promedio de una persona de construcción civil es de  $90 \text{ Kg}$ , se adicionan  $20 \text{ kg}$  por sus equipos e instrumentos de seguridad y trabajo (mameluco, botas, arnés, martillo, alicate, tortol y otros) y  $20 \text{ kg}$  adicionales por las maderas de tránsito, y  $20 \text{ kg}$  por cargas eventuales no previstas (rollos de alambres para amarrar las barras de refuerzo, accesorios de encofrados u otros); sumando todos estos factores tenemos  $150 \text{ Kg/m}^2$ .



Figura 9: Distribución de trabajadores y sus EPP sobre el molino de bolas.

En la colocación de concreto existen cargas por impacto del concreto sobre las silletas, estas cargas no logran desestabilizar las silletas pero si no están bien sujetas pueden ocasionar el colapso de las barras de refuerzo por deslizamientos, por eso la recomendación es que en el proceso constructivo se sujeten bien las barras de refuerzo a las silletas.

### 2.3 DETERMINACIÓN DE CARGA MÁXIMA SOBRE LAS SILLETAS

Para determinar la carga máxima que puede soportar la una silleta usaremos la fórmula de pandeo de Euler (1).

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{(kL)^2} \dots (1)$$

Dónde:





E=Módulo de elasticidad ( $E=2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  para el acero corrugado)

I=Momento de inercia de la sección de la silleta ( $\pi \cdot r^4/4$ )

k=Factor para determinar la longitud efectiva, ver cuadro 06, para este caso usaremos  $k=1.0$  porque en ambos extremos gira pero no se desplaza.

L=Longitud libre entre apoyos.

Cuadro 6: Valores recomendados para el factor "k" en condiciones ideales.

Buckled shape of column is shown by dashed line	(a)	(b)	(c)	(b)	(e)	(f)
Theoretical K value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
End condition code	   	Rotation fixed and translation fixed Rotation free and translation fixed Rotation fixed and translation free Rotation free and translation free				

Fuente: Structural Engineering Handbook

Para obtener la separación de las silletas seguimos el siguiente procedimiento:

1. Obtenido el  $P_{cr}$  vamos a determinar el área tributaria necesaria para producir el pandeo de la silleta, para lo cual dividimos:

$$A_T = P_{cr} / (\text{carga de la malla de refuerzo} + \text{sobrecarga de personas}) / 2 \text{ [F.S.]}$$

2. Con el área de influencia determinamos la separación de las silletas.

## 2.4 VERIFICACIÓN DE TOLERANCIAS EN LA DESVIACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO

Como ya se comentó en el sub capítulo 1.3 vamos a verificar las tolerancias que nos da la NTE E.060 y el ACI 318, la tolerancia es de 10mm para las mallas de refuerzo, como se aprecia en la figura 10, esto ocurrirá en el centro de la porción de malla.

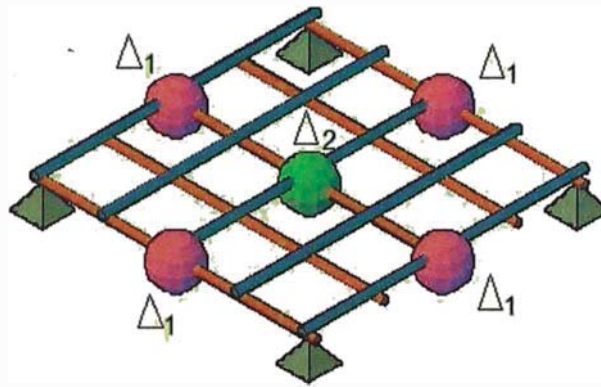


Figura 10: Deformaciones en las mallas de refuerzo, sujetado por cuatro silletas en sus extremos.

$$\Delta_{TOTAL} = \Delta_1 + \Delta_2 \dots (2)$$

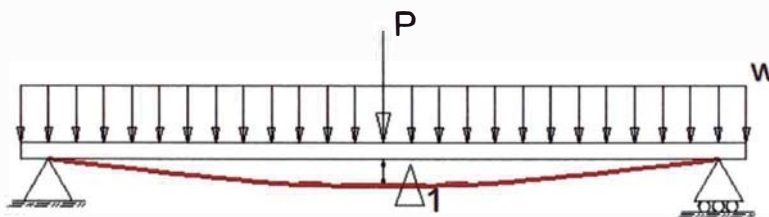


Figura 11: Modelo para determinar la deflexión 1, ocurrida en las barras de soporte principales.

$$\Delta_1 = \frac{5}{384} \cdot \frac{wl^4}{EI} + \frac{1}{48} \cdot \frac{Pl^3}{EI} \dots (3)$$

La fórmula 3 es la suma algebraica de 2 deformaciones que ocurren en simultáneo, la primera corresponde al peso propio de la barra y el segundo término corresponde a la producida por el peso de la malla a ambos lados de la barra de soporte principal.

Dónde:

w=Peso propio de la barra de refuerzo

l=longitud libre entre apoyos o silletas

E=Módulo de elasticidad ( $E=2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  para el acero corrugado)

I=Momento de inercia de la sección de la silleta ( $\pi \cdot r^4/4$ )

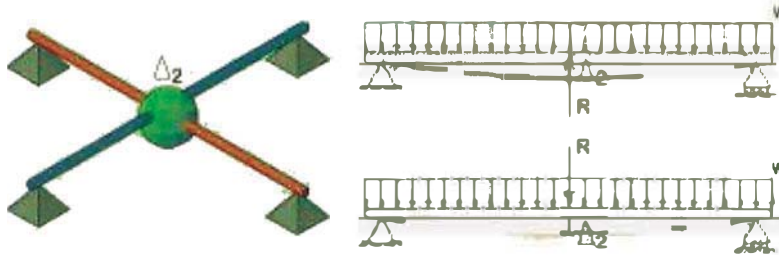


Figura 12: Modelo para determinar la deflexión  $\Delta_2$ , ocurrida en las barras centrales que se apoyan sobre las barras de soporte principales.

$$\Delta_2 = \frac{5}{384} \cdot \frac{wl^4}{EI} \dots (4)$$

El modelo de la figura 12, es el que tiene dos vigas apoyadas y superpuestas en el centro sobre el cual actúa el peso propio, estas vigas tienen el desplazamiento  $\Delta_2$  en común y luego de hacer el análisis correspondiente se obtiene la fórmula 4, que es lo mismo que si cada barra trabajara independientemente y no estuvieran apoyadas una sobre otra.

Para la fórmula 4:

w=Peso propio de la barra de refuerzo

l=longitud libre entre apoyos o silletas

E=Módulo de elasticidad ( $E=2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  para el acero corrugado)

I=Momento de inercia de la sección de la silleta ( $\pi \cdot r^4/4$ )

Aclaración: Debe recordarse que la fórmula 3 y 4 son los casos más desfavorables pues al considerar todo el sistema, la malla actuará como una viga continua y las deflexiones serán menores.



**Ejemplo de aplicación:** Considerando una cimentación de  $h=1.00\text{m}$  y reforzada con doble malla (superior e inferior) con  $\varnothing 1''@0.20$  (ambos sentidos).

1. En primer lugar determinamos el peso de esta malla por  $\text{m}^2$ , así tenemos:  $P = 2 \times (1/0.20) \times 3.973 = 39.73 \text{ Kg/m}^2$ .
2. Considerando silletas de  $\varnothing 5/8''$  tenemos:
  - a.  $\varnothing = 5/8'' = 0.016 \text{ m}$
  - b.  $I = 3.118 \times 10^{-9} \text{ m}^4$
  - c.  $L = 1\text{m} - 0.05\text{m} - 0.075\text{m} = 0.875\text{m}$
3. Aplicando la fórmula 1, con los datos anteriores, se tiene  $P_{cr} = 803.78 \text{ kg}$ .
4. El área tributaria para lograr esta carga es:
  - a.  $A = 803.78 / (150 + 39.7 \text{ de silletas}) : \sqrt{2.12} = 1.45 \text{ m}$
5. Calculamos las deflexiones:
  - a.  $\Delta_1 = 6.27 \text{ mm}$
  - b.  $\Delta_2 = 0.57 \text{ mm}$
  - c.  $\Delta_{\text{TOTAL}} = 6.84 \text{ mm}$ 
    - $w = 3.973 \text{ kg/m}$
    - $P = 39.73 \times 2.12 / 2 = 42.11 \text{ kg}$
    - $L = 1.45 \text{ m}$
    - $\varnothing = 1'' = 0.025 \text{ m} (I = 2.043 \times 10^{-8} \text{ m}^4)$
6. Calculamos el costo de dicha silleta:
  - a.  $L = 2 \times (0.20 + 0.10) + 2 \times (1.00) + (0.20 + 0.10) = 2.90 \text{ mts}$
  - b.  $\text{Peso de silleta} = 2.90 \times 1.552 = 4.50 \text{ kg}$
  - c.  $\text{Costo de silleta} = 4.50\text{kg} \times 1.3 \text{ USD / kg} = 5.85 \text{ USD}$
  - d.  $\text{Costo por m}^3 \text{ de concreto} = 5.85 \text{ USD} / (2.12 \times 1) = 2.76 \text{ USD/m}^3$

### Comentarios de los resultados:

- ✓ Lo usual para esta cimentación de  $h=1.00$  mts hubiese sido considerar silletas de  $\varnothing 3/4"$ , con un costo promedio de 8.43 USD/m<sup>3</sup> (del cuadro A01)
- ✓ Se ha demostrado que las silletas de  $\varnothing 5/8"$  espaciadas a 1.45 mts también pueden soportar la misma carga.
- ✓ Se ha verificado el desplazamiento máximo en el centro de la malla y se ha obtenido 6.84 mm cuando el límite permisible es 10mm, por lo que estamos dentro de las recomendaciones de la NTE E.060 y ACI. Ahora esta es la deflexión usando un modelo desfavorable, con la carga de la malla "P" al centro de luz (Imagen 09); si afinamos el modelo y dejamos de considerar simplemente apoyadas y consideramos vigas continuas esta deflexión será menor.
- ✓ Se puede verificar el ahorro en el uso de silletas, cambiando el diámetro y espaciamiento de estos elementos, con silletas de  $\varnothing 3/4"$  a cada metro se tiene un costo de 8.34 USD/m<sup>3</sup> y con silletas  $\varnothing 5/8"$  a 1.45 mts se tiene un costo de 2.76 USD/m<sup>3</sup>, lo significa un ahorro de 5.58 USD/m<sup>3</sup> de concreto colocado. O lo mismo que un ahorro de 67% en este accesorio de construcción.

### **CAPÍTULO III: PROPUESTA TÉCNICA Y OPTIMIZACIÓN DE COSTOS**

Como resultado del presente informe se va a generar tablas que ayuden a los ingenieros encargados del diseño estructural a incluir las silletas dentro de sus planos de detalle estructural, y a los constructores a colocar estas silletas de manera más rápida y sistematizada, se debe hacer mención que para la presente propuesta solo se han considerado silletas de la forma mostrada en la figura 2 porque son las más estables y de colocación más rápida.

Como ya se mencionó anteriormente la propuesta técnica consiste en determinar la carga máxima de cada silleta según el diámetro de la barra de acero que lo conforma y la altura de la cimentación, y con el peso de las barras de acero y la sobre carga originada por los trabajadores se determina el espaciamiento máximo que puedan tener las silletas, todos estos cálculos y sus detalles se muestran en el cuadro A01 (ver anexos).

El cuadro A02 (ver Anexos) es la herramienta que van a usar directamente los ingenieros encargados del diseño estructural y los constructores porque en este cuadro de doble entrada se muestra por un lado la altura de la cimentación y por el otro la malla de refuerzo y con estos datos se obtiene fácilmente el diámetro de las silletas y los espaciamientos de las mismas.

El cuadro A03 (ver Anexos) es similar al cuadro A02 pero en este cuadro se incluye el precio de la colocación de las silletas por m<sup>3</sup> de concreto colocado, y esta información puede ser usada como referencia por los ingenieros encargados de elaborar presupuestos para que las silletas no sean un costo en el que tenga que incurrir el constructor (el precio de acero colocado en silletas es de USD 1.3/kg con las consideraciones que ya se explicó anteriormente).

Esta propuesta es parte de la mejora continua que debe existir en toda empresa y/o proyecto, no solo del sector construcción sino en todos los sectores, con el propósito de brindar un mejor servicio o producto al cliente, para ello es necesario el análisis, planificación, verificación y decisiones correspondientes.

Los resultados mostrados pueden hacerse extensivos a losas aligeradas, macizas, pos-tensadas u otros elementos horizontales con refuerzo de una malla superior, separada  $\geq 15$ cm del nivel inferior en el que los detalles constructivos no muestren la forma de sujetar y mantener estable el acero de refuerzo.

### 3.1 ELABORACIÓN DE CUADROS Y TABLAS PARA INDICAR LAS SILLETAS DE SOPORTE O SUJECIÓN SEGÚN LA ALTURA DE LA CIMENTACIÓN Y SU REFUERZO DE ACERO

Como resumen de lo expuesto previamente, se presenta el siguiente cuadro 7, en el que se muestran la variación del uso de silletas según la altura de la cimentación y el tipo refuerzo que se indique en los planos estructurales, se muestra también la variación de los precios, los números en rojo indica que el espaciamiento de las silletas ha sido reducido por deformación de la malla superior y los números con fondo guinda indican silletas con arriostres centrales.

Cuadro 7: Variación en la colocación de silletas según la altura y refuerzo de la estructura.

		REFUERZO					
		Ø 3/8"	Ø 1/2"	Ø 5/8"	Ø 3/4"	Ø 1"	Ø 1 3/8"
H=0.20m	SILLETA	Ø 6 mm	Ø 6 mm	Ø 6 mm	Ø 6 mm		
	Espaciamiento de silletas (m)	1.00	1.00	1.20	1.30		
	PROMEDIO(USDxM3)	1.63	1.98	1.98	1.38	1.17	
H=0.25m	SILLETA	Ø 6 mm	Ø 6 mm	Ø 6 mm	Ø 6 mm		
	Espaciamiento de silletas (m)	1.00	1.00	1.20	1.30		
	PROMEDIO(USDxM3)	1.40	1.70	1.70	1.18	1.01	
H=0.30m	SILLETA	Ø 6 mm	Ø 6 mm	Ø 6 mm	Ø 6 mm		
	Espaciamiento de silletas (m)	1.00	1.12	1.10	1.07		
	PROMEDIO(USDxM3)	1.29	1.52	1.18	1.21	1.26	
H=0.35m	SILLETA	Ø	Ø 8 mm	Ø 8 mm	Ø 8 mm		
	Espaciamiento de silletas (m)		1.10	1.20	1.30		
	PROMEDIO(USDxM3)	1.71	2.06	1.73	1.35		
H=0.40m	SILLETA	Ø	Ø 8 mm	Ø 8 mm	Ø 8 mm	Ø 3/8"	
	Espaciamiento de silletas (m)		1.10	1.24	1.21	1.40	
	PROMEDIO(USDxM3)	1.63	1.91	1.45	1.50	1.65	
H=0.45m	SILLETA	Ø	Ø 8 mm	Ø 8 mm	Ø 8 mm	Ø 3/8"	
	Espaciamiento de silletas (m)		1.07	1.05	1.02	1.36	
	PROMEDIO(USDxM3)	1.80	1.84	1.90	1.97	1.50	
H=0.50m	SILLETA	Ø	Ø 3/8"	Ø 3/8"	Ø 3/8"	Ø 3/8"	Ø 1/2"
	Espaciamiento de silletas (m)		1.00	1.20	1.26	1.18	1.50
	PROMEDIO(USDxM3)	2.15	2.88	2.00	1.73	1.90	2.27
H=0.55m	SILLETA	Ø		Ø 3/8"	Ø 3/8"	Ø 3/8"	Ø 1/2"
	Espaciamiento de silletas (m)			1.14	1.11	1.04	1.65
	PROMEDIO(USDxM3)	2.01		2.05	2.12	2.33	1.56
H=0.60m	SILLETA	Ø		Ø 3/8"	Ø 3/8"	Ø 1/2"	Ø 1/2"
	Espaciamiento de silletas (m)			1.02	0.99	1.40	1.48
	PROMEDIO(USDxM3)	2.32		2.46	2.55	2.39	1.88
H=0.65m	SILLETA	Ø		Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"
	Espaciamiento de silletas (m)			1.20	1.30	1.30	1.34
	PROMEDIO(USDxM3)	2.68		3.14	2.68	2.68	2.21
H=0.70m	SILLETA	Ø		Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"
	Espaciamiento de silletas (m)			1.20	1.30	1.37	1.22
	PROMEDIO(USDxM3)	2.59		3.04	2.59	2.15	2.57
H=0.75m	SILLETA	Ø		Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"
	Espaciamiento de silletas (m)			1.20	1.30	1.26	1.12
	PROMEDIO(USDxM3)	2.73		2.96	2.52	2.47	2.96
H=0.80m	SILLETA	Ø		Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"
	Espaciamiento de silletas (m)			1.20	1.24	1.17	1.04
	PROMEDIO(USDxM3)	2.91		2.89	2.57	2.81	3.37
H=0.85m	SILLETA	Ø		Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 5/8"	
	Espaciamiento de silletas (m)				1.15	1.09	1.51
	PROMEDIO(USDxM3)	2.83			2.90	3.17	2.43
H=0.90m	SILLETA	Ø		Ø 1/2"	Ø 5/8"	Ø 5/8"	
	Espaciamiento de silletas (m)				1.08	1.40	1.42
	PROMEDIO(USDxM3)	3.05			3.24	3.17	2.72

H=0.95m	SILLETA	Ø				Ø 1/2"	Ø 5/8"	Ø 5/8"
		Espaciamiento de siletas (m)				1.01	1.40	1.33
	PROMEDIO(USDxM3)		3.25			3.61	3.12	3.03
H=1.00m	SILLETA	Ø				Ø 5/8"	Ø 5/8"	Ø 5/8"
		Espaciamiento de siletas (m)				1.20	1.41	1.25
	PROMEDIO(USDxM3)		3.44			4.17	2.80	3.35
H=1.05m	SILLETA	Ø					Ø 5/8"	Ø 5/8"
		Espaciamiento de siletas (m)					1.33	1.19
	PROMEDIO(USDxM3)		3.38			3.08	3.68	
H=1.10m	SILLETA	Ø					Ø 5/8"	Ø 5/8"
		Espaciamiento de siletas (m)					1.26	1.13
	PROMEDIO(USDxM3)		3.70			3.37	4.03	
H=1.15m	SILLETA	Ø					Ø 5/8"	Ø 3/4"
		Espaciamiento de siletas (m)					1.20	1.54
	PROMEDIO(USDxM3)		3.36			3.67	3.05	
H=1.20m	SILLETA	Ø					Ø 5/8"	Ø 3/4"
		Espaciamiento de siletas (m)					1.15	1.47
	PROMEDIO(USDxM3)		3.65			3.99	3.32	
H=1.25m	SILLETA	Ø					Ø 3/4"	Ø 3/4"
		Espaciamiento de siletas (m)					1.40	1.40
	PROMEDIO(USDxM3)		3.86			4.12	3.59	
H=1.30m	SILLETA	Ø					Ø 3/4"	Ø 3/4"
		Espaciamiento de siletas (m)					1.40	1.35
	PROMEDIO(USDxM3)		3.98			4.08	3.88	
H=1.35m	SILLETA	Ø					Ø 3/4"	Ø 3/4"
		Espaciamiento de siletas (m)					1.45	1.29
	PROMEDIO(USDxM3)		3.83			3.48	4.17	
H=1.40m	SILLETA	Ø					Ø 3/4"	Ø 3/4"
		Espaciamiento de siletas (m)					1.39	1.24
	PROMEDIO(USDxM3)		4.11			3.74	4.48	
H=1.45m	SILLETA	Ø					Ø 3/4"	Ø 3/4"
		Espaciamiento de siletas (m)					1.34	1.19
	PROMEDIO(USDxM3)		4.40			4.00	4.79	
H=1.50m	SILLETA	Ø					Ø 3/4"	Ø 3/4"
		Espaciamiento de siletas (m)					1.29	1.15
	PROMEDIO(USDxM3)		4.70			4.27	5.12	
H=1.55m	SILLETA	Ø					Ø 3/4"	Ø 3/4"
		Espaciamiento de siletas (m)					1.24	1.11
	PROMEDIO(USDxM3)		5.00			4.55	5.45	
H=1.60m	SILLETA	Ø					Ø 3/4"	Ø 3/4"
		Espaciamiento de siletas (m)					1.20	1.07
	PROMEDIO(USDxM3)		5.32			4.84	5.80	
H=1.65m	SILLETA	Ø					Ø 3/4"	Ø 3/4"
		Espaciamiento de siletas (m)					1.16	1.04
	PROMEDIO(USDxM3)		5.65			5.14	6.16	
H=1.70m	SILLETA	Ø					Ø 3/4"	Ø 3/4"
		Espaciamiento de siletas (m)					1.13	1.00
	PROMEDIO(USDxM3)		5.98			5.45	6.52	
H=1.75m	SILLETA	Ø					Ø 3/4"	Ø 5/8"
		Espaciamiento de siletas (m)					1.09	1.35
	PROMEDIO(USDxM3)		4.12			5.76	2.48	
H=1.80m	SILLETA	Ø					Ø 3/4"	Ø 5/8"
		Espaciamiento de siletas (m)					1.06	1.31
	PROMEDIO(USDxM3)		4.35			6.08	2.62	
H=1.85m	SILLETA	Ø					Ø 5/8"	Ø 5/8"
		Espaciamiento de siletas (m)					1.43	1.27
	PROMEDIO(USDxM3)		4.08			3.78	4.37	
H=1.90m	SILLETA	Ø					Ø 5/8"	Ø 5/8"
		Espaciamiento de siletas (m)					1.39	1.24
	PROMEDIO(USDxM3)		4.21			3.90	4.52	
H=1.95m	SILLETA	Ø					Ø 5/8"	Ø 5/8"
		Espaciamiento de siletas (m)					1.35	1.20
	PROMEDIO(USDxM3)		4.35			4.03	4.68	
H=2.00m	SILLETA	Ø					Ø 5/8"	Ø 5/8"
		Espaciamiento de siletas (m)					1.31	1.17
	PROMEDIO(USDxM3)		4.50			4.16	4.83	

Fuente: Elaboración propia.



Figura 13: Forma de unir silletas con arriostres centrales. Fuente: Planos de despiece de AASA.



Figura 14: Utilización de arriostres centrales para la sujeción de las silletas.

### 3.2 COSTOS OPTIMIZADOS DE LAS SILLETAS DE SOPORTE O SUJECIÓN

En el subcapítulo 1.2 y en el cuadro 3 se presentaron los gastos incurridos en el proyecto minero Constancia, por concepto de colocación de silletas de soporte y sujeción, que en montos de dinero no representan un gran porcentaje del monto total del proyecto pero vamos a analizar en cuanto se puede reducir este costo optimizando las silletas y colocándolas según el cuadro A02.

Se debe indicar que en algunos casos los ingenieros encargados del diseño estructural colocan ganchos o silletas de corte en sus diseños, en estos casos ya no es necesario la colocación de las silletas mencionadas porque los ganchos o silletas de corte también se usan como soporte y sujeción de la malla de refuerzo superior; estos casos son poco usuales pero si se presentan.

Para calcular el ahorro en colocación de silletas analizamos el área 3220 Grinding/Molienda que está compuesta por 04 molinos (02 molinos de bolas y 02 molinos SAG) y diversas zapatas de menor tamaño próximas a los molinos.

En los planos 2172-3220-C-101@104 se muestra la distribución (Ver Anexos).

En los planos 2172-3220-C-103-A01&A02 se observa que por cada molino de bolas se colocó en 7,610.25 Kg de acero en silletas y arriostres.

En los planos 3220-C-111-A01&A02 se observa que por cada molino SAG se colocó en 7,229.51Kg de acero en silletas y arriostres.

En las otras cimentaciones se colocaron 778.20kg de acero en silletas, lo que hace un total de 30,457.71kg de acero colocado en silletas.

Como se trata de una cimentación de  $h=2.50\text{m}$  (caso extraordinario) no está en las tablas presentadas, hacemos los respectivos cálculos para estas silletas:

Diámetro ( $\varnothing$ )	5/8"
Longitud (m)	5.95
Pcr (kg)	200.93
Área tributaria (m <sup>2</sup> )	0.99
Espaciamiento (m)	0.99
$\Delta 1$ (mm)	1.24
$\Delta 2$ (mm)	0.12
$\Delta \text{TOTAL}$ (mm)	1.37
PESO (kg)	12.32

Los cálculos presentados anteriormente corresponden a silletas de  $\varnothing 5/8"$  con arriostres, las silletas están separadas a 1m y tienen un peso de 9.23kg y sumamos 2ml de acero de  $\varnothing 5/8"$  por arriostres haciendo un total de 12.32 kg/m<sup>2</sup>.

Con ayuda del AutoCAD calculamos el área de las cimentaciones que requieren silletas, estas son:

Molino de Bolas: 508.16m<sup>2</sup>, 6,260kg de acero en silletas (1,349.65kg de ahorro)

Molino SAG: 455.45m<sup>2</sup>, 5,612.32kg de acero en silletas (1,617.18kg de ahorro)

Otras cimentaciones: 540.57kg de acero en silletas (237.63 kg de ahorro)

Ahorro total de silletas luego del proceso de optimizado en el área 3220 Grinding/Molienda:  $2 \times 1,349.65 + 2 \times 1,617.18 + 237.63 = 6,171.30\text{kg}$ .

Cuadro 8: Metrados de las diversas áreas de trabajo donde se muestra el comparativo entre el acero colocado en silletas Vs el posible metrado optimizado.

ÁREA	CONCRETO (m3)	ACERO (kg)	ACERO COLOCADO EN SILLETAS (kg)	ACERO OPTIMIZADO COLOCADO EN SILLETAS (kg)	AHORRO EN SILLETAS (kg)
3000 Process Plant - Piperacks	289.67	39,957.90	182.37	32.71	149.66
3100 Primary Crusher	3,077.70	396,887.02	9,268.76	5,435.97	3,832.79
3121 Stockpile Feed Conveyor	1,068.18	116,387.51	3,239.90	1,754.04	1,485.86
3200 Copper Plant	5,192.32	673,729.14	(*)	(*)	
3220 Grinding	14,810.47	1,146,861.92	30,457.71	24,286.41	6,171.30
3240 Pebble Crushing Conveyor System	434.38	31,966.02	1,804.98	802.79	1,002.18
3251 Copper Flotation	2,700.77	229,812.06	5,357.99	1,888.82	3,469.17
3260 Copper Re grind	679.56	49,117.17	(*)	(*)	
3270 Concentrate Thickening	1,424.35	152,453.05	4,879.32	1,110.28	3,769.04
3280 Copper Conc Filtration and Load Out	1,898.54	213,126.01	2,397.87	1,024.23	1,373.64
3291 Tailings Thickener	2,722.34	251,928.36	3,747.26	1,580.63	2,166.62
3300 Molybdenum Plant	449.57	50,984.15	1,162.98	468.00	694.98
3320 - Molybdenum Conc. Handling	140.90	10,251.45	213.46	94.08	119.38
3331-51-61 Molybdenun Plant Water, air, gas service	64.30	3,402.17	35.78	7.99	27.79
3400 Reagents Molybdenum	475.12	38,448.72	297.39	167.19	130.21
3440 Flocculant	180.06	22,659.16	298.20	66.60	231.60
3500 Plant Services	920.78	63,423.83	274.07	112.33	161.73
<b>TOTAL</b>	<b>36,529.00</b>	<b>3,491,395.65</b>	<b>63,618.05</b>	<b>38,832.07</b>	<b>24,785.98</b>

Fuente: Elaboración propia.

(\*) Cimentaciones en donde no se usaron silletas porque los planos indicaban silletas de corte.



Como se puede visualizar en el cuadro 8, existe una diferencia de 24,785.98 kg de acero (38.96% del acero colocado en silleas de soporte y sujeción) que se colocó redundantemente, lo que pudo significar un ahorro de USD 32,221.77 (treinta y dos mil doscientos veintiuno con 77/100), el ahorro que puede obtenerse respecto al monto global del proyecto no es significativo (0.091%) pero en el proceso de mejora continua y de volverse más competitivo todo ahorro es bueno y puede significar una propuesta más atractiva.



Figura 15: Ahorro en silleas en cimentaciones según diversas áreas del proyecto.

Realizamos las comparaciones correspondientes entre el cuadro 4, y los costos propuestos para la utilización de estas silleas, en el cuadro 10 se observa esta diferencia en USD/m<sup>3</sup> y en el cuadro 11 se observa esta diferencia en %.

Cuadro 9: Costos optimizados por colocación de silletas según diversas cimentaciones y refuerzos (en USD/m<sup>3</sup>), se tienen promedios del cuadro A04 (ver anexos).

ALTURA (m)	Ø 3/8"	Ø 1/2"	Ø 5/8"	Ø 3/4"	Ø 1"	Ø 1 3/8"
0.20	1.98	1.98	1.38	1.17		
0.25	1.70	1.70	1.18	1.01		
0.30	1.52	1.18	1.21	1.26		
0.35		2.06	1.73	1.35		
0.40		1.91	1.45	1.50	1.65	
0.45		1.84	1.90	1.97	1.50	
0.50		2.88	2.00	1.73	1.90	2.27
0.55			2.05	2.12	2.33	1.56
0.60			2.46	2.55	2.39	1.88
0.65			3.14	2.68	2.68	2.21
0.70			3.04	2.59	2.15	2.57
0.75			2.96	2.52	2.47	2.96
0.80			2.89	2.57	2.81	3.37
0.85				2.90	3.17	2.43
0.90				3.24	3.17	2.72
0.95				3.61	3.12	3.03
1.00				4.17	2.80	3.35
1.05					3.08	3.68
1.10					3.37	4.03
1.15					3.67	3.05
1.20					3.99	3.32
1.25					4.12	3.59
1.30					4.08	3.88
1.35					3.48	4.17
1.40					3.74	4.48
1.45					4.00	4.79
1.50					4.27	5.12
1.55					4.55	5.45
1.60					4.84	5.80
1.65					5.14	6.16
1.70					5.45	6.52
1.75					5.76	2.48
1.80					6.08	2.62
1.85					3.78	4.37
1.90					3.90	4.52
1.95					4.03	4.68
2.00					4.16	4.83

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 10: Diferencia de Costos: actual menos optimizado, en colocación de silletas en diversas cimentaciones y refuerzos (en USD/m3).

ALTURA (m)	Ø 3/8"	Ø 1/2"	Ø 5/8"	Ø 3/4"	Ø 1"	Ø 1 3/8"
0.20	3.02	3.02	3.63	7.71		
0.25	2.59	2.59	3.11	6.62		
0.30	2.31	2.65	2.61	5.52		
0.35		1.43	1.76	4.84		
0.40		1.32	1.78	4.23	7.30	
0.45		1.20	1.14	3.42	6.91	
0.50			3.11	3.37	6.07	9.21
0.55			2.83	2.75	8.64	9.40
0.60			2.23	4.76	8.14	8.66
0.65			1.38	4.39	7.49	7.96
0.70			1.34	4.25	7.71	7.28
0.75			1.30	4.13	7.12	6.63
0.80			1.27	3.92	6.54	5.99
0.85				3.45	5.97	6.72
0.90				2.98	5.78	6.24
0.95				2.50	5.68	5.77
1.00				1.83	5.85	5.30
1.05					5.43	4.83
1.10					5.02	4.35
1.15					4.60	5.22
1.20					4.18	4.85
1.25					3.96	4.49
1.30					3.91	4.11
1.35					4.43	3.74
1.40					4.10	3.36
1.45					3.76	2.97
1.50					3.43	2.58
1.55					3.08	8.13
1.60					2.74	7.68
1.65					2.39	7.23
1.70					2.03	6.77
1.75					1.67	10.72
1.80					1.30	10.50
1.85					3.56	8.68
1.90					3.40	8.46
1.95					3.23	8.24
2.00					3.06	8.01

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 11: Diferencia de costos por colocación de silletas según diversas cimentaciones y refuerzos (%).

ALTURA (m)	Ø 3/8"	Ø 1/2"	Ø 5/8"	Ø 3/4"	Ø 1"	Ø 1 3/8"
0.20	60%	60%	72%	87%		
0.25	60%	60%	72%	87%		
0.30	60%	69%	68%	81%		
0.35		41%	50%	78%		
0.40		41%	55%	74%	82%	
0.45		39%	37%	63%	82%	
0.50			61%	66%	76%	80%
0.55			58%	56%	79%	86%
0.60			48%	65%	77%	82%
0.65			31%	62%	74%	78%
0.70			31%	62%	78%	74%
0.75			31%	62%	74%	69%
0.80			31%	60%	70%	64%
0.85				54%	65%	73%
0.90				48%	65%	70%
0.95				41%	65%	66%
1.00				31%	68%	61%
1.05					64%	57%
1.10					60%	52%
1.15					56%	63%
1.20					51%	59%
1.25					49%	56%
1.30					49%	51%
1.35					56%	47%
1.40					52%	43%
1.45					48%	38%
1.50					44%	34%
1.55					40%	60%
1.60					36%	57%
1.65					32%	54%
1.70					27%	51%
1.75					22%	81%
1.80					18%	80%
1.85					49%	66%
1.90					47%	65%
1.95					44%	64%
2.00					42%	62%

Fuente: Elaboración propia

### 3.3 COMENTARIOS FINALES

Como se aprecia en el cuadro 11, hay reducciones significativas de costos por óptima utilización de silletas, que van desde el 27% hasta el 87% del costo actual (ahorros desde 1.14 USD/m<sup>3</sup> hasta 10.72 USD/m<sup>3</sup> con el uso de arriostres centrales), esto, como ya se explicó anteriormente es porque las silletas se colocan empíricamente al no estar indicadas en los planos y es considerado un accesorio de construcción.

Uno de los puntos críticos al momento de hacer los análisis correspondientes fue el desplazamiento o deformación máximo al centro de la malla, se podría usar silletas de mayor diámetro pero estas deberían estar más alejadas e incrementaría dicho desplazamiento, por lo que en líneas generales se recomienda colocar las silletas de 1m a 1.5m.

En el análisis realizado se vio que las deflexiones o deformaciones más críticas están en las mallas de menor diámetro y menor altura de cimentación (o losa), por lo que en estos casos solo se coloca las silletas para evitar la deformación de la malla de refuerzo.

El desplazamiento o deformación analizado corresponde solo al peso propio, y no a la sobre carga por las personas; esto debido a que en el momento del vaciado del concreto no habrá personas circulando sobre la malla de refuerzo, y cuando lo hagan la malla tendrá la capacidad de deformarse y recuperar su forma natural por estar en el rango elástico.

Al colocar las silletas hay que sujetarlas adecuadamente a las barras de refuerzo para que el impacto del concreto al momento del vaciado no las desestabilice y pueda ocasionar el volteo y/o deslizamiento de la silleta u otro problema retrasando el vaciado.

En cuanto a impactos directos o indirectos de la colocación de silletas, no se hallado ninguno, pues se tienen cubiertas todas las medidas de seguridad. El proceso constructivo es casi el mismo, con variaciones en el diámetro de la silleta o el espaciamiento de estas, entonces respecto al proceso constructivo no hay mayores cambios.

## CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

- ✓ La NTE E.060 indica las tolerancias en la colocación del acero de refuerzo en cimentaciones de concreto pero no indica la forma y material para colocar el refuerzo manteniéndolo fijo y estable, por lo que en terreno se colocan las mallas sujetadas mediante ganchos o silletas hechas con el mismo acero material del acero de refuerzo.
- ✓ El acero usado para fabricar las silletas no es el “desperdicio” (remanente de hacer los cortes de acero), pues muchas veces esta longitud es insuficiente para lograr construir una silleta, y en los presupuestos no se coloca adecuadamente este costo por proceso constructivo.
- ✓ Actualmente se viene sobre-dimensionando la colocación de silletas para el soporte y sujeción de las barras de refuerzo en cimentaciones de concreto, y es un costo asumido por el constructor ya que no está detallado en los planos estructurales y por eso no es valorizado.
- ✓ Se calculó una reducción del 38.96% en el material empleado para fabricar las silletas en el Proyecto Minero Constancia 2013, este excedente de material (24,785.98Kg) representa un costo de USD 32,221.77 (treinta y dos mil doscientos veintiuno con 77/100), que no es significativo respecto al monto total del proyecto pero puede ser empleado para incentivos por productividad u otros fines.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Controlar los accesorios de construcción sin restar importancia (económica o no) a ninguno de ellos, pues si mejoramos el rendimiento de estos en conjunto podemos incrementar la productividad y eficiencia del proyecto de manera significativa.
  
- ✓ Controlar la correcta colocación de las silletas, según los cuadros presentados en el presente Informe de Suficiencia, evitando de esta manera el sobre-dimensionamiento porque genera pérdidas económicas para el constructor o contratista.
  
- ✓ Considerar en los planos de detalle, APU's y/o en los metrados la utilización de las silletas para que el constructor no deba incurrir en estos costos perjudicando su margen económico.

Verificar la correcta sujeción entre las barras de refuerzo y las silletas para evitar el colapso.

- ✓ Verificar otros accesorios de construcción como tensores de encofrado, puntales, etc. y que estos se encuentren correctamente dimensionados, con la capacidad de soportar el esfuerzo requerido y sin sobre dimensionarse.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ACI 318/318R, "*Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318) and Commentary (ACI 318R)*". American Concrete Institute, EEUU 2008.
2. CARBAJAL ALTAMIRANO, LUIS ANTONIO; "Análisis costo beneficio de planta de habilitado de acero para el proyecto Toromocho - Área Húmeda". Informe de suficiencia para optar el Título profesional. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, 2013.
3. Gere, James M.; "Mecánica de materiales"; Thomson México 2002
4. MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO, Norma Técnica De Edificación E.060 Concreto Armado, SENCICO 2009