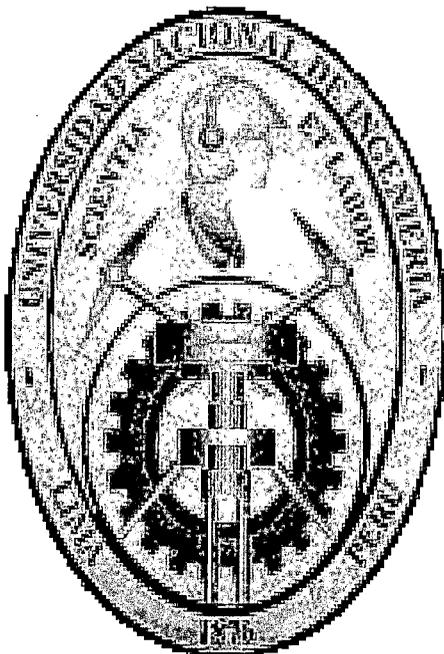


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOSAS  
ALIGERADAS UTILIZANDO VIGUETAS PREFABRICADAS FIRTH,  
VIGUETAS ARMADAS TODOCEMENTO Y VIGUETAS VACIADAS EN OBRA**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional:**

**INGENIERO CIVIL**

**ANTONIO DAVID GUTIÉRREZ RAMÍREZ**

**LIMA – PERÚ**

**2009**

**Digitalizado por:**

**Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse**

---

<b>INDICE</b>	<b>Pág.</b>
<b>RESUMEN</b>	4
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	6
<b>LISTA DE FOTOS</b>	9
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b>	12
<b>LISTA DE TABLAS</b>	12
<b>LISTA DE CUADROS</b>	13
<b>INTRODUCCIÓN</b>	14
<b>CAPÍTULO I.- LOSAS ALIGERADAS</b>	
1.1. Marco Teórico	16
1.2. Consideraciones necesarias para producir un prefabricado	16
1.3. Sistema Constructivo Convencional	19
1.4. Sistema Constructivo No Convencional	20
1.4.1. Marco Histórico	20
1.4.2. Marco Legal	20
1.4.3. Sistema Constructivo Firth	22
1.4.3.1. Características del sistema Firth	23
1.4.3.2. Componentes del sistema Firth	26
1.4.4. Sistema Constructivo Losa-Fast Todocemento	28
1.4.4.1. Características del sistema Losa-Fast	28
1.4.4.2. Componentes del sistema Losa-Fast	29
<b>CAPÍTULO II.- ELEMENTOS PREFABRICADOS USADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS ALIGERADAS</b>	
2.1. Viguetas Prefabricada Firth	32
2.1.1. Descripción de los elementos	32
2.1.2. Normas Aplicables	32
2.1.3. Especificaciones Técnicas	33
2.1.4. Producción	36

---

	Pag.
2.2. Vigueta armada Todocemento	46
2.2.1. Descripción de los elementos	46
2.2.2. Normas Aplicables	47
2.2.3. Especificaciones Técnicas	47
2.2.4. Producción	51
2.3. Bovedillas Firth	56
2.3.1. Normas Aplicables	56
2.3.2. Especificaciones Técnicas	58
2.4. Bovedillas Todocemento	60
2.4.1. Normas aplicables	60
2.4.2. Especificaciones técnicas	60
2.5. Bandejas Todocemento	61
2.5.1. Normas Aplicables	61
2.5.2. Especificaciones Técnicas	61
2.5.3. Producción	62
 <b>CAPÍTULO III.- ANÁLISIS DEL SISTEMA DE LOSA ALIGERADA CONVENCIONAL</b>	
3.1. Cálculo	64
3.2 Control de calidad antes de la ejecución de la losa	71
3.3. Durante la ejecución	71
3.3.1. Proceso Constructivo	71
3.3.2. Personal Requerido	89
3.3.3. Rendimientos	89
3.4. Control de calidad después de la ejecución de la losa	89
3.5. Identificación de los errores más usuales	89
 <b>CAPÍTULO IV.- ANÁLISIS DEL SISTEMA DE LOSA ALIGERADA USANDO VIGUETAS PREFABRICADAS FIRTH</b>	
4.1. Cálculo	94
4.2. Control de calidad antes de la ejecución de la losa	96
4.3. Durante la ejecución	103
4.3.1. Control de Calidad	103
4.3.2. Proceso Constructivo	103
4.3.3. Personal Requerido	126
4.3.4. Rendimientos	126
4.4. Control de calidad después de la ejecución de la losa	127
4.5. Identificación de los errores más usuales	127

---

<b>CAPÍTULO V.- ANÁLISIS DEL SISTEMA DE LOSA ALIGERADA USANDO VIGUETAS ARMADAS TODOCEMENTO</b>	<b>Pag.</b>
5.1. Cálculo	136
5.2. Control de calidad antes de la ejecución de la losa	136
5.3. Durante la ejecución	136
5.3.1. Control de Calidad	136
5.3.2. Proceso Constructivo	136
5.3.3. Personal Requerido	148
5.3.4. Rendimientos	148
5.4. Control de calidad después de la ejecución de la losa	148
5.5. Identificación de los errores más usuales	148
<b>CAPÍTULO VI.- ANALISIS COMPARATIVO ENTRE LOS SISTEMAS DE LOSA ALIGERADA</b>	
6.1. Parámetros de Comparación	156
6.2. Análisis Comparativo	158
6.3. Análisis de Precios Unitarios	162
6.4. Ventajas y Desventajas de las viguetas prefabricadas	170
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>182</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>185</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

---

## RESUMEN

En el presente trabajo se muestra un análisis al detalle de los aspectos constructivos de losas aligeradas utilizando diferentes sistemas, tanto el convencional vaciado in situ como el sistema prefabricados de Firth con viguetas pretensadas y el sistema armado de Todocemento con viguetas armadas y reforzadas con tralicho (estructura de acero tridimensional electrosoldado).

Se ha realizado un análisis completo de sistemas constructivos, tiempos y costos, para poder lograr obtener una comparación entre los aspectos económicos, constructivos, funcionales, de calidad, plazo y las limitaciones que cada proceso constructivo presenta, con el fin de complementar el estudio estructural previamente realizado en otras tesis y a su vez establecer las ventajas y desventajas de los tres sistemas constructivos propuestos para dar las recomendaciones correspondientes para la mejor utilización de cada sistema.

Estos sistemas de construcción se destacan particularmente por la reducción del fierro de la losa y el encofrado de madera que sostendrá el ladrillo de techo y la mezcla de concreto de la losa.

Otra ventajas que se puede mencionar es la asesoría técnica gratuita que brinda las empresas que distribuyen estos sistemas, así como el control de calidad en planta donde se verifica la resistencia de las viguetas a flexión, la resistencia del concreto y que se encarga de verificar que se cumpla con todas las especificaciones propias de la vigueta por producción antes de la salida del material de la planta a la obra.

A nivel de tiempos de ejecución la relación entre los sistemas prefabricados y el sistema convencional es de aproximadamente 1 a 2 respectivamente.

A nivel de costos globales se pueden llegar a lograr un ahorro entre el 9% y 13% con respecto al sistema convencional.

A nivel de proceso constructivo los sistemas prefabricados requieren un 10% de encofrado con respecto al sistema convencional, esto debido a que las viguetas prefabricadas y las bovedillas sirven como encofrado. Por otro lado, la desventaja de los sistemas con viguetas prefabricadas es el izaje de las viguetas al nivel de instalación.

En conclusión, el uso de elementos o sistemas prefabricados en la obra no puede traer enormes beneficios y calidad a la industria de la construcción en el Perú, por lo que su uso sería más que recomendable.

---

## Lista de Figuras

Fig.I.01.Detalle general del sistema constructivo a base de vigueta y bovedilla	26
Fig.I.02.Corte Transversal de Losa Aligerada	28
Fig.I.03.Vista lateral de la vigueta armada	29
Fig.I.04.Sección de la vigueta armada	29
Fig.II.05.Sección Transversal Losa Firth.	34
Fig.II.06.Vigueta Firth.	34
Fig.II.07.Bovedilla Sistema Firth	34
Fig.II.08.Anclaje Mecánico Vigueta Pretensada	34
Fig.II.09.Arreglo general planta de viguetas prefabricadas	37
Fig.II.10.Detalle vigueta Armada TC	47
Fig.II.11.Detalle del tralicho	48
Fig.II.12.Vista transversal del tralicho	49
Fig.II.13.Detalle de la Bovedillas FIRTH	59
Fig.II.14.Tipos de bandejas TC	61
Fig.III.15.Plano de losa típico	64
Fig.III.16.Esquema de losa Aligerada	65
Fig.III.17.Losa aligerada piso típico	71
Fig.III.18.Soleras	72
Fig.III.19.Marcado de las soleras	72
Fig.III.20.Fijado de los pies derechos	73
Fig.III.21.Colocación de la solera	73
Fig.III.22.Fijado de pies derechos	74
Fig.III.23.Marcado de los ejes de las viguetas	75
Fig.III.24.Trazado del eje longitudinal de la tabla	76
Fig.III.25.Clavado de la tabla a la solera	76
Fig.III.26.Ubicación de la altura del arriostre	77
Fig.III.27.Clavado de tablas de arriostre	78
Fig.III.28.Fijado de Frisos	78
Fig.III.29.Colocación de tacos	79
Fig.III.30.Marcado de la ubicación de los tacos	79
Fig.III.31.Clavado de chapas en el friso	80
Fig.III.32.Fijado de los frisos	80

---

Fig.III.33.Amarre del alambre a la tabla	81
Fig.III.34.Colocación de los fierros positivos	82
Fig.III.35.Colocación de los fierros negativos	83
Fig.III.36.Verificación de la posición de los fierros	83
Fig.III.37.Ubicación de los ejes de las viguetas	84
Fig.III.38.Medición y marcado de la mitad del ancho de la vigueta	84
Fig.III.39.Colocación de los ladrillos guías	85
Fig.III.40.Atado del cordel	85
Fig.III.41.Colocación del resto de ladrillos de techo.	86
Fig.III.42.Marcado de la ubicación de los fierros	87
Fig.III.43.Colocación del fierro sobre las marcas	87
Fig.III.44.Amarre de los fierros	88
Fig.III.45.Colocación de los templadores	88
Fig.IV.46.Forma de apilar viguetas	104
Fig.IV.47.Forma de apilar viguetas	104
Fig.IV.48.Apuntalamiento correcto	109
Fig.IV.49.Apuntalamiento inadecuado	111
Fig.IV.50.Colocación de las viguetas y bovedillas	113
Fig.IV.51.Ajuste de medida de bovedillas en los bordes de la losa	114
Fig.IV.52.Ajuste de medida de bovedillas en los bordes de la losa	114
Fig.IV.53.Nervios transversales a la dirección de las viguetas	114
Fig.IV.54.Correcta colocación de las instalaciones	117
Fig.IV.55.Colocación de las instalaciones eléctricas	118
Fig.IV.56.Orden para empezara desencostrar	125
Fig.IV.57.Viguetas sobre listones	134
Fig.IV.58.Marcar la viguetas (con amoldadora o cincel) en la zona superior y luego la inferior.	134
Fig.IV.59.Marcar la viguetas (con amoldadora o cincel) en la zona superior y luego la inferior.	134
Fig.V.60.Picado de la vigueta zona inferior	135
Fig.V.61.Picado de la vigueta zona superior	135
Fig.V.62.Picar hasta tener los cables vistos	135
Fig.V.63.Cables vistos	135
Fig.V.64.Apilacion recomendada por TC	137
Fig.V.65.Apilacion recomendada por TC	137

---

---

Fig.V.66.Manipule correcto de la vigueta	138
Fig.V.67.Izaje de la vigueta TC	138
Fig.V.68.Izaje apoyado con fierro de construcción	139
Fig.V.69.Colocación de las viguetas y bovedillas	145
Fig.V.70.Colocación de las viguetas y bovedillas	145
Fig.1.71.Conceptos básicos del concreto presforzado	190
Fig.2.72.Extremos discontinuos	191
Fig.2.73.Ápoyos Continuos	191
Fig.2.74.Extremos discontinuos	192
Fig.2.75.Apoyos Continuos	192
Fig.2.76.Longitudes de viguetas menores a 5.00m	193
Fig.2.77.Longitudes de viguetas mayores a 5.00m	193
Fig.2.78.Conexión Vigueta-Viga Invertida	194
Fig.2.79.Uso de la varilla de ½"	194
Fig.2.80.Conexión Vigueta-Placa	195
Fig.2.81.Conexión Vigueta-Placa	195
Fig.2.82.Apuntalamiento de la losa	196
Fig.2.83.Apuntalamiento de la Losa (puntales)	196
Fig.2.84.Apuntalamiento de vigas peraltadas	197
Fig.2.85.Apuntalamiento de vigas peraltadas	197
Fig.2.86.Entablado Bovedilla-Viga Chata	198
Fig.2.87.Entablado bovedilla-Viga Peraltadas	198
Fig.2.88.Apuntalamiento de Vigas Chatas paralelas	199
Fig.2.89.Acero de Temperatura	199
Fig.2.90.Acero de Temperatura	200
Fig.2.91.Doble vigueta- Columneta	200
Fig.2.92.Doble Vigueta-Tabique	201
Fig.2.93.Tabique transversal a la vigueta	201
Fig.2.94.Tabique transversal a la vigueta	202
Fig.2.95.Viga Costura	202
Fig.2.96.Borde Losa	203
Fig.2.97.Voladizos	203
Fig.2.98.Detalle en zona de ductos.	204
Fig.2.99.Fijación de tubos de Ventilación	204
Fig.2.100.Traslape de viguetas	205

---

---

Fig.3.101.Doble vigueta	206
Fig.3.102.Vigueta y bovedilla apoyada en muro interior	206
Fig.3.103.Volado con losa sólida	207
Fig.3.104.Vigueta apoyada en muro exterior	207
Fig.3.105.Volado con losa vigueta	208
Fig.3.106.Vigueta y Bovedilla apoyadas sobre viga plana	208
Fig.3.107.Vigueta y bovedilla apoyadas en viga peraltada	209
Fig.3.108.Cumbre con doble vigueta	209
Fig.3.109.Vigueta y bovedilla apoyada en viga invertida	210
Fig.3.110.Vigueta en cumbre apoyadas en viga	210
Fig.3.111.Vigueta en cumbre	211
Fig.3.112.Losa Sólida	211
Fig.3.113.Cumbre con viga	212
Fig.3.114.Řelleno sobre la losa	212

### **Lista de Fotos**

Fot.II.1.Panorámica de una planta de viguetas	37
Fot.II.2.Limpieza y aplicación de desmoldante.	38
Fot.II.3.Corte del alambre	38
Fot.II.4.Colocación de Alambre	39
Fot.II.5.Anclaje del alambre	39
Fot.II.6.Tensado del alambre	40
Fot.II.7.Fabricación del concreto	40
Fot.II.8.Vaciado del concreto	41
Fot.II.9.Enrasado de la Mezcla	41
Fot.II.10.Vibrado de concreto	42
Fot.II.11.Destensado del alambre	42
Fot.II.12.Corte del alambre	43
Fot.II.13.Curado del concreto	43
Fot.II.14.Desmolde de las viguetas	44
Fot.II.15.Acarreo de las viguetas	45
Fot.II.16.Almacenamiento de las viguetas	45
Fot.II.17.Vista transversal de la Bovedilla de TC	50
Fot.II.18.Vista transversal de la bandeja TC	50

---

Fot.II.19.Lijado y Limpieza de los moldes	51
Fot.II.20.Corte de Armadura	52
Fot.II.21.Habilitado de las armaduras	52
Fot.II.22.Vibrado de las armaduras	53
Fot.II.23.Separación de las viguetas	54
Fot.II.24.Desmolde de las viguetas	55
Fot.II.25.Acarreo de las viguetas	55
Fot.II.26.Almacenamiento de las viguetas	56
Fot.II.27.Vista transversal de la Bovedillas FIRTH	59
Fot.III.28.Ladrillos de techo mal colocados	90
Fot.III.29.Vaciado mal realizado	91
Fot.III.30.Correcto recubrimiento de los ladrillos de techo	92
Fot.III.31.Correcta colocación de acero de temperatura	92
Fot.III.32.Ladrillos de techo sin limpiar	93
Fot.IV.33.Apilación de Viguetas	104
Fot.IV.34.Manual (las viguetas deben ser manipuladas por dos trabajadores en forma de T invertida)	105
Fot.IV.35.Izaje Con rampa	105
Fot.IV.36.Izaje con Winche	105
Fot.IV.37.Izaje realizado con Herramienta de Izaje FIRTH	106
Fot.IV.38.Herramienta de Izaje FIRTH	106
Fot.IV.39.Izaje Con pluma (nota: Dejar hasta 2 metros de volado de dónde coger las viguetas)	107
Fot.IV.40.Montaje Típico de viguetas FIRTH	108
Fot.IV.41.Izaje con grúa	108
Fot.IV.42.Apuntalamiento recomendado por Firth	110
Fot.IV.43.Apuntalamiento metálico	112
Fot.IV.44.Apuntalamiento de madera	112
Fot.IV.45.Empalme en obra (Viguetas – viga chata)	115
Fot.IV.46.Colocación del acero de temperatura	116
Fot.IV.47.Colocación del acero de temperatura	116
Fot.IV.48.Fotos de instalaciones eléctricas	118
Fot.IV.49.Fotos de instalaciones eléctricas	118
Fot.IV.50.Fotos de instalaciones eléctricas	118
Fot.IV.51.Instalaciones Sanitarias	119

---

---

Fot.IV.52.Fotos de instalaciones sanitarias	120
Fot.IV.53.Colocación de la malla electrosoldada	120
Fot.IV.54.Regado de la losa previo al vaciado	121
Fot.IV.55.Vaciado de la losa	123
Fot.IV.56.Trabajos de acabado de la losa	125
Fot.IV.57.Acabado en proceso	126
Fot.IV.58.Bovedillas no lleva a la viga	127
Fot.IV.59.Cables vistos para empalmar vigueta a viga	128
Fot.IV.60.Bovedillas rota al caminar	129
Fot.IV.61.Bovedilla mal colocada	130
Fot.IV.62.Mojado de la losa	131
Fot.IV.63.Bandejas sanitarias	132
Fot.IV.64.Uso de las bandejas sanitarias	132
Fot.IV.65.Vigueta rota por mal picado	133
Fot.V.66.Herramienta de izaje TC	138
Fot.V.67.Izaje manual de viguetas	141
Fot.V.68.Colocación de viguetas	141
Fot.V.69.Apuntalamiento	143
Fot.V.70.Colocación de la malla electrosoldada	146
Fot.V.71.Instalaciones sanitarias	147
Fot.V.72.Solución en obra para viguetas con mucha medida	149
Fot.V.73.Viguetas cortadas para permitir el pase de instalaciones sanitarias	150
Fot.V.74.Instalaciones sanitarias cruzan a la vigueta	151
Fot.V.75.Bovedilla mal colocada	152
Fot.V.76.Bovedilla de menor altura que las requeridas	152
Fot.V.77.Bovedillas utilizadas con bandeja eléctrica	153
Fot.V.78.Bovedillas cortadas para adecuarse a la forma del techo	154
Fot.V.79.Bovedillas con tecknopor para lograr empalmar con la viga	154
Fot.V.80.Pase de instalaciones por agujeros de la bovedilla	155
Fot.2.81.Pañó irregular de forma trapezoidal	205
Fot.5.82.Bovedilla de Mortero con 3 huecos – Sistema Firth	221
Fot.5.83.Bovedilla de Concreto Celular – Sistema Todocemento	221
Fot.5.84.Bovedilla de Arcilla – Sistema Todocemento	222
Fot.5.85.Aligerantes lista para ser ensayados	222

---

Fot.5.86.Maquina de Ensayos LEM	223
Fot.5.87.Ensayo colocando varillas de acero a 2.5 cm del borde del aligerante	223
Fot.5.88.Prueba de Flexotracción a la bovedilla de Concreto Celular - TC	224
Fot.5.89.Prueba flexotracción a la bovedilla de arcilla – TC	224
Fot.5.90.Ladrillo de Concreto Celular luego del ensayo de Flexotracción - TC	225
Fot.5.91.Ladrillo de Mortero (luego del ensayo de Flexotracción)	225
Fot.6.92.Vista de sección de las losas prefabricadas	227
Fot.6.93.Vista lateral de las losas prefabricadas	227
Fot.6.94.Losa 20@60cm	228
Fot.6.95.Medición de la deformación de la losa	228
Fot.6.96.Aplicando la carga sobre la losa	229
Fot.6.97.Aplicando la carga sobre la losa	229
Fot.6.98.Se sigue aumentando la carga. 500 kg.	230
Fot.6.99.750 kg de carga	230
Fot.6.100.Finalmente se cargaron a la losa 1000 kg ( 20 bolsas)	231
Fot.6.101.Losa cargada	231

**Lista de Gráficos:**

Grafico VI.1: Cantidad de concreto utilizado (m3) x m2	160
Grafico VI.2: Peso de losa (kg) x m2	160
Grafico VI.3: Cantidad de aligerantes utilizados (unid) x m2	160
Grafico VI.4: Comparativo de costos de losas aligeradas x m2	169

**Lista de Tablas:**

Tabla 4.1: Tabla De Momentos Admisibles De Las Viguetas Firth	213
Tabla 4.2: Tabla Luz Vs. Sobrecarga (Losa:17@60cm)	214
Tabla 4.3: Tabla Luz Vs. Sobrecarga (Losa:20@60cm)	215
Tabla 4.4: Tabla Luz Vs. Sobrecarga (Losa:25@60cm)	216
Tabla 4.5: Tabla Luz Vs. Sobrecarga (Losa:17@50cm)	217
Tabla 4.6: Tabla Luz Vs. Sobrecarga (Losa:20@50cm)	218
Tabla 4.7: Tabla Luz Vs. Sobrecarga (Losa:25@50cm)	219

---

Tabla 4.8: Tabla Luz Vs. Sobrecarga (Losa:30@50cm)	220
--	-----

**Lista de Cuadros:**

Cuadro II.1.Comparativo de consumo de concreto	33
Cuadro II.2.Características de las viguetas firth	33
Cuadro II.3.Combinaciones de peraltes y espaciamientos	35
Cuadro II.4.Cantidad de bovedillas utilizadas x m2 de losa	35
Cuadro II.5.Cantidad de concreto usado en losas aligeradas	35
Cuadro II.6.Características de la vigueta armada - TC	47
Cuadro II.7.Detalle de las bovedillas TC	49
Cuadro II.8.Detalle de las bandejas TC	50
Cuadro II.9.Dimensiones y variaciones permisibles	57
Cuadro II.10.Características de las bovedillas firth	60
Cuadro II.11.Detalle de las bovedillas TC	61
Cuadro II.12.Tipos de bandejas TC	61
Cuadro III.13.Personal necesario por actividad - sistema convencional	89
Cuadro III.14.Rendimiento por actividad - sistema convencional	89
Cuadro .15.Sobrecarga de la losa aligerada firth	94
Cuadro IV.16.Tabla de fVc	96
Cuadro IV.17.Espaciamiento entre listones	103
Cuadro IV.18.Espaciamiento de soleras y puntales	110
Cuadro IV.19.Tiempo para realizar el despuntalamiento	124
Cuadro IV.20.Personal necesario por actividad - sistema firth	126
Cuadro IV.21.Rendimiento por actividad - sistema firth	126
Cuadro V.22.Separación entre soleras y entre puntales	142
Cuadro V.23.Personal necesario por actividad - sistema TC	148
Cuadro V.24.Rendimiento por actividad - sistema TC	148
Cuadro V.25.Anclaje Vigueta-Viga (Vigueta Muy Corta)	149
Cuadro VI.26.Análisis comparativos de los diferentes sistemas considerando los factores de volumen de concreto	159
Cuadro VI.27.Análisis comparativo de los diferentes sistemas considerandos las diferencias entre los procesos	161
Cuadro VI.28.Ventajas de los sistemas de viguetas prefabricadas vs sistemas convencional	181

---

## INTRODUCCIÓN

Los cambios tecnológicos producidos en los últimos años en la industria de la construcción han dado a conocer diferentes nuevos sistemas más rápidos y eficaces, los cuales no solo aumentan la productividad de la obra, sino que también reducen plazos, aumentan la calidad y reducen el costo final de esta.

Dos de los factores anteriormente mencionados (calidad y duración del proceso) son justamente dos aspectos favorables que se tienen en estructuras de concreto prefabricadas. En particular la duración, es un factor relevante en economías como la de Perú, que presentan altos costos, por lo que el ahorro (no sólo de días, sino también hasta de meses en algunos casos) que se puede obtener con estructuras prefabricadas, en comparación con las vaciadas in situ, puede justificar ampliamente el empleo de las primeras en lugar de las segundas.

En el Perú se vienen desarrollando durante los últimos años el uso de diferentes sistemas de elementos prefabricados. Estos sistemas se están usando cada vez más en nuestro medio siendo una alternativa rápida y confiable. Entre estos se pueden encontrar los sistemas de piso de concreto prefabricado, muy usado en edificaciones para fines de vivienda, comerciales, industriales u oficinas.

Entre los tipos de sistemas de piso más comunes en Perú se puede encontrar el sistema de vigueta prefabricada FIRTH que gracias a su versatilidad se puede usar en los diferentes tipos de edificaciones. Por otro lado, también se cuenta con otros tipos de sistemas no tan difundidos, que a su vez, proporcionan los mismos beneficios y muchas veces a un menor precio. En este caso se puede hablar de la empresa TODOCEMENTO que viene difundiendo este sistema de losas aligeradas hace más de una década, usando un sistema muy usado en diferentes países como Brasil, Alemania, México y Chile.

Las viguetas prefabricadas proporcionan un gran grupo de ventajas, sobretodo en el tema de ahorro, tiempo y logística de la obra. Estas viguetas son hechas a la medida del área a techar, completándose el sistema con ladrillos de techo, especialmente diseñados para cada sistema, diseñados para sostenerse

---

de las vigas por sí mismos, sin ningún tipo de soporte adicional o encofrado.

El fabricante de las viguetas las provee listas para armar, con las medidas y en el momento en que el constructor haya previsto. El constructor, por su parte, ensambla la losa y vierte el concreto de la losa en pocas horas.

Este trabajo consta de seis capítulos, cada uno de estos enfocados en dar a conocer los detalles de cada uno de los tres diferentes sistemas desarrollados.

El capítulo I muestra una visión general de los diferentes sistemas dando a conocer sus bondades, características y los diferentes componentes.

El capítulo II describe los materiales usados en la elaboración de las viguetas y demás componentes, las normas aplicables a cada sistema, las especificaciones técnicas y además presenta los procesos de producción de las viguetas prefabricadas y los diferentes elementos como son las bandejas eléctricas y sanitarias, las bovedillas (ladrillos de techo especiales para cada sistema).

Los capítulos III, IV y V se enfocan principalmente en explicar el proceso constructivo de cada sistema, adicionalmente revisa el procedimiento que se sigue para realizar el cálculo estructural, el control de calidad antes, durante y después de la ejecución para finalmente identificar los errores más usuales y las soluciones que se dan en campo.

En el capítulo VI se realiza el análisis comparativo considerando diferentes parámetros y enfocado desde distintos ángulos, tanto del punto de vista constructivo como el económico y de calidad, todo esto para finalmente lograr demostrar que los sistemas de losas aligeradas con elementos prefabricados son más convenientes y ventajosos para la construcción que el sistema tradicional debido principalmente al ahorro de tiempo, a la calidad que presenta el producto prefabricado y al ahorro de mano de obra, encofrado, etc.

---

## **CAPÍTULO I.- LOSAS ALIGERADAS**

### **1.1. Marco Teórico**

La elaboración del presente tema tiene como marco teórico de desarrollo la comparación de sistemas constructivos innovadores tal como los Sistemas de Losas con Viguetas Prefabricadas el cual consiste en un sistema de viguetas prefabricadas en planta, bloques de arcilla (bovedillas) que cuentan con encajes especiales para las viguetas, integradas en forma monolítica mediante un armado adicional (fierro negativo) y una capa de concreto de 5 cm. vaciado en obra que funcionan como alternativa al sistema tradicional de losa aligerada.

Uno de estos sistemas es el sistema Firth, La vigueta prefabricada FIRTH está compuesta por una armadura de acero pretensado con alambres de 4 y 5 milímetros tridentados y un concreto con un  $f_c$  mínimo de 350 kg/cm<sup>2</sup>, y 500 kg/cm<sup>2</sup> como máximo. Por otro lado, el sistema Losa-Fast de TODOCEMENTO es un sistema de alma abierta o semiprefabricada, constituido por un patín de concreto de  $f_c=280$  kg/cm<sup>2</sup>, una armadura tridimensional electrosoldada de acero llamada "Tralicho" y Fierro corrugado adicional. La cantidad de fierro adicional dependerá de las luces y la sobrecarga que requiere la losa. Estos 2 últimos sistemas reemplazan al sistema de losa aligerada convencional

### **1.2. Consideraciones necesarias para producir un prefabricado**

Los prefabricados de concreto día a día van ganando adeptos en nuestro país, es una forma de aumentar la productividad y reducir los tiempos de ejecución de una obra. En la producción de concreto prefabricado existen una serie de variables que de no ser cuidadosamente consideradas pueden hacer fracasar cualquier negocio. El tema tiene su ciencia y de nada servirán tener las mejores maquinas o los mejores operarios o las mejores instalaciones físicas si no se tiene el adecuado bagaje en la producción de este tipo de elementos. Si bien es cierto que la mecánica de la producción es fácil de asimilar no se debe descartar los procedimientos de control que deben realizarse durante todo el proceso. La literatura disponible sobre el tema es muy escasa y la mejor forma de tener éxito

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOSAS ALIGERADAS UTILIZANDO VIGUETAS PREFABRICADAS FIRTH, VIGUETAS ARMADAS TODOCEMENTO Y VIGUETAS VACIADAS EN OBRA

---

sigue siendo el antiguo, pero aun vigente, método del "ensayo y error". El proceso de producción, la dosificación, la gradación, la materia prima, entre otros, es un secreto muy bien guardado por los concedores; a pesar que lo que funciona para unos no funcionará para otros, ya que, por ejemplo, no es lo mismo producir en la Costa que en la Sierra. En cada una de regiones las condiciones climáticas son diferentes, así como también los agregados, el cemento y el agua. Por lo tanto, antes de pensar en comprar la maquinaria sería importante invertir en la elaboración del Estudio de Factibilidad respectivo que arroje luces sobre los materiales, su dosificación, el proceso productivo, etc. ajustado a las condiciones climáticas que vaya a tener en nuestra ciudad.

Cuando un cliente solicita un elemento estructural, muchas veces solo le interesa la resistencia o la apariencia que éste posee; pero detrás de estas variables se esconden muchas otras que poco o nada le importan; sin embargo, el fabricante debe poseer control sobre ellas, conocerlas, cuantificarlas, analizarlas y de ser posible, hacerles seguimiento. Infortunadamente muchas veces no se poseen los equipos necesarios para realizar estos análisis en nuestras plantas por lo que se debe recurrir con frecuencia a laboratorios especializados en el tema y que elaboren sus ensayos basados en los procedimientos descritos en la norma. Esto puede ser un poco desesperante para el encargado de la Producción, ya que debe esperar al menos 9 días para conocer los resultados, 7 en curado y por lo menos 2 en el laboratorio. No hay otra forma, los ensayos deben elaborarse a 7, 14, 21 y 28 días si se realiza un curado a temperatura ambiente. Pero volviendo al tema, se va a intentar relacionar a continuación las variables que pueden afectar la calidad final de un prefabricado, tomando como referencia el proceso de producción de una planta de mediana escala, curado al ambiente y una producción cada 8 horas. Las variables son las que se citan a continuación:

- Agregados: se deberá tener en cuentas la cantera de procedencia, el tamaño del agregado que se piensa usar y sobretodo realizar los ensayos de rigor como son las propiedades químicas, físicas (granulometría, gradación, forma de las partículas, textura, porosidad, absorción), mecánicas (dureza, resistencia, tenacidad, adherencia). Además se debe tener en cuentas que es necesario contar con un lugar apropiado donde se almacene el agregado considerando la limpieza y el control de la humedad de este.

- 
- Agua: se deberá conocer la calidad del agua que se utiliza para la fabricación de concreto y esto se logra realizando el adecuado control químico (acidez, alcalinidad, dureza, cloro, pH, sedimentos, sólidos disueltos, turbidez, partículas en suspensión, etc.)
  - Cemento: se deberá tener en cuenta la zona donde se va a instalar el prefabricado, en el caso de viguetas usualmente se usa cemento Tipo I.
  - Dosificación: definitivamente uno de los puntos más importantes para lograr un buen prefabricado, usualmente se guían por el peso o por volumen (según condiciones técnicas), la cantidad de agregado fino, cantidad de agregado grueso, cantidad de cemento, humedad natural y agua libre en los agregados (secos o húmedos), cantidad agua de absorción de los agregados (% de absorción), cantidad agua de hidratación del cemento (% de hidratación), cantidad agua de mezclado (= % de absorción + % de hidratación), relación Agua/Cemento (mezcla muy seca) y asentamiento.
  - Mezclado: Es importante tener en claro el orden de ingreso de la materia prima a la mezcladora y sobre todo los tiempos de mezclado.
  - Fabricación: No solo un buen concreto con buenos agregados garantizan un buen producto, además se debe tener en cuenta algunos puntos como son el lijado de molde, la aplicación de desmoldante, el llenado del molde, el vibrado, la densidad (grado de compactación), el desencofrado, los cuidados y mantenimiento de nuestras herramientas y moldes.
  - Fraguado y curado: principalmente se debe fraguar en una zona de preferencia techada, esto para evitar que los rayos del sol evaporen el agua que se usa para el curado.
  - Almacenamiento: luego de 2 días de vaciadas, las viguetas están listas para su manipulación y apilación donde permanecerán por un mínimo de 5 días más antes de ser enviadas a obra.

- 
- **Otras variables:** Se puede hacer uso de aditivos que potencia las cualidades de nuestro prefabricados, asimismo las condiciones climáticas, las formas y volumen de los moldes y las herramientas usadas en la fabricación de los prefabricados influyen en la calidad y costo final del mismo.

Si se analiza detalladamente, una de las claves para lograr un precio competitivo sin comprometer la resistencia ni la calidad del producto es buscar la combinación perfecta ó "acertada dosificación". Todas y cada una de estas variables afectan en mayor o menor grado la calidad de un prefabricado; el éxito está en considerar todas en su debido momento; los detalles que parecen insignificantes terminarán haciendo la diferencia. Al cuantificar las anteriores variables, aproximadamente 40, se aprecia que ésta no es una labor sencilla, por el contrario para producir un buen bloque se necesita experiencia, conocimiento del tema y mantener un minucioso control en el proceso de selección de materias primas, uso de maquinaria y manejo de los prefabricados.

En la medida que se logre automatizar la planta se notará que se puede reducir los riesgos de cometer errores y por lo tanto reducir las variables críticas.

### **1.3. Sistema Constructivo Convencional**

Sistemas Constructivos Convencionales son aquellos sistemas de edificación que empleen materiales y/o procesos constructivos que están reglamentados por normas nacionales.

Son aquellas edificaciones que cumplen con los requisitos y exigencias mínimas para el análisis, diseño, materiales y construcción, establecidas en el Reglamento Nacional de Edificaciones y las Normas Técnicas de Edificación

Es el conjunto de elementos constructivos cuyo diseño supone características físicas y mecánicas propias, ligadas a un procedimiento constructivo también propio, para producir los elementos compuestos de una construcción y/o la construcción total misma

---

Sistemas Constructivos Convencionales, existentes para la edificación de viviendas son las siguientes

- a. Albañilería Portante
- b. Estructuras aporticadas

#### **1.4. Sistemas Constructivos No Convencionales**

A continuación se muestran los marcos en los que se basa el presente trabajo.

##### **1.4.1. Marco Histórico**

El problema de la vivienda en nuestro país, tienen diferentes características por motivos socio económico y culturales, los diferentes estratos de nuestro país tiene acceso a diferentes niveles de tecnología según se encuentren en el área urbana.

El interés de profesionales, organizaciones e instituciones se encuentran encaminados al estudio y experimentación de los sistemas constructivo convencionales y tradicionales que intentan satisfacer las necesidades de los diferentes estratos de nuestra población.

Existe poco interés por investigar, experimentar y difundir los sistemas constructivos no convencionales.

Los Sistemas Constructivos No Convencionales aprovecha la diversidad de materiales y componentes, que cumplan con los requisitos mínimos de durabilidad, resistencia, competencia sísmica y condiciones de habitabilidad.

##### **1.4.2. Marco Legal**

Este ítem analiza y describe brevemente los diferentes decretos legislativos que constituyen el marco legal en el que cual se encuadra el desarrollo de los sistemas de losas aligeradas.

Se realizó una recopilación y análisis de las regulaciones nacionales específicas

---

vinculadas con este tema.

A continuación se muestran los dispositivos legales de los Sistemas Constructivos No Convencionales.

#### **1.4.2.1 Decreto Supremo N° 010-71-VI del 04 de marzo de 1971**

Las personas naturales y jurídicas que posean o representen Sistemas de Prefabricación de Viviendas y los de construcción no convencional, cualquiera sea su naturaleza, deberán obtener, previamente a su utilización en cualquier lugar de la República, la aprobación y autorización de la Dirección General de Edificaciones del Ministerio de Vivienda, para lo que deberán presentar, los documentos y demás información que ella solicite.

Los propietarios que soliciten autorización municipal para ejecutar obras de construcción en las que se utilice Sistemas de Prefabricación y los de construcción no convencional, deberán presentar a los Concejos Municipales la constancia de aprobación y autorización del Ministerio de Vivienda, sin cuyo requisito los Concejos Municipales no otorgarán las respectivas licencias de Construcción.

#### **1.4.2.2 Decreto Legislativo N° 145 del 12 de junio de 1981**

El ININVI tiene por finalidad fomentar, orientar y ejecutar investigaciones y trabajos científicos y tecnológicos vinculados con la problemática de la vivienda y la edificación; y, ejecutar estudios socio-económicos y de toda otra naturaleza relacionado con aquellos, acordes con la realidad nacional. Aprobar sistemas constructivos no convencionales y autorizar su uso.

Realizar estudios y prestar servicios pero la aplicación experimental de sus proyectos, por encargo de las Entidades Públicas o Privadas que operen o desarrollen actividades en el área de la vivienda.

#### **1.4.2.3 Decreto Legislativo N° 582 del 16 de abril de 1990**

Proponer, para su aprobación por el Ministerio de Vivienda y Construcción, la utilización de Sistemas de Construcción No Convencionales".

#### **1.4.2.4 Decreto Supremo N° 008-95-MTC del 16 de junio de 1995**

Se fusiona el Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda - ININVI al Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción – SENCICO

#### **1.4.2.5 Resolución D.E.N. N° 048-2001-05.00 SENCICO del 06 de abril del 2000**

Aprobar el Reglamento para la Aprobación de Utilización de sistemas Constructivos No Convencionales.

Encargar a la Dirección de Investigación y Normalización, para la difusión de dicha normativa.

#### **1.4.3. Sistema Constructivo FIRTH**

Las nuevas tendencias en los programas de vivienda y en la construcción en general están cada vez mas ligadas a sistemas constructivos tecnificados, los cuales permiten un mejor aprovechamiento de la mano de obra con la consecuente mejora en los rendimientos y las reducciones de los plazos de entrega de obra. Todo esto con la finalidad de proporcionar resultados rápidos a la cada vez mayor demanda de viviendas.

Los aligerados convencionales son una prueba de las ventajas comparativas de los sistemas de losas aligeradas pretensadas. Este sistema permite aprovechar mejor los tiempos de construcción al permitir desapuntalar y desencofrar antes lográndose culminar la obra en menos tiempo. Esto sumado a los ahorros de tiempo que y facilidad constructiva del sistema de losas aligeradas pretensadas ha hecho que estos sistemas desplacen al sistema de losas aligeradas

---

tradicional.

Con el sistema se puede obtener luces mayores con alturas de aligerados menores, lo que también representa menor peso y menor costo. Se disminuyen las deflexiones de las losas que muchas veces causan fisuras en la propia losa y en los tabiques de ladrillo y se trabaja con concretos de alta resistencia, lo que asegura durabilidad.

Asimismo, se eliminan los problemas de la falta de recubrimiento inferior de los fierros de las viguetas (futura oxidación), el corrimiento de los ladrillos en el momento del vaciado y las posibles cangrejeras. Además, se tienen viguetas limpias con ancho constante que resisten más sobrecarga que la exigida en las normas.

Las ventajas evidentemente son mayores cuando se tienen pisos típicos o repeticiones de viviendas o edificaciones, pues la planificación de la obra se cumple mejor, se reducen los plazos de ejecución, de desencofrado y la mano de obra, además mejoran la respuesta del concreto ante esfuerzos de tracción, ya que el presfuerzo precomprime el concreto y genera esfuerzos que compensan a los producidos por las cargas de gravedad. Al unirse las viguetas con la losa vaciada in situ, conforman una sección compuesta capaz de cubrir grandes espacios con menor espesor de losa, logrando ventajas económicas y estructurales que hacen de éste, un sistema económico, rápido y seguro.

#### **1.4.3.1. Características del sistema FIRTH**

El Sistema de Viguetas Pretensadas FIRTH busca reemplazar un sistema de losa aligerada tradicional, pudiendo cubrir paños más grandes con menor espesor de losa, dado las ventajas que ofrece el pretensado. El sistema de losas aligeradas es un sistema que aprovecha al máximo las propiedades físicas del concreto y del acero pretensado.

El sistema prefabricado de losas aligeradas (sistema vigueta–bovedilla) consiste principalmente en viguetas prefabricadas en planta, bloques de arcilla (bovedillas) que cuentan con encajes especiales para las viguetas, integradas en forma monolítica mediante un armado adicional (fierro negativo) y una capa de

---

concreto de 5 cm. vaciado en obra que permite obtener entrepisos y cubiertas de fácil realización con un mínimo de encofrados. Mediante el barnizado de su superficie inferior se logra un agradable aspecto, pudiéndose dejar a la vista. Para ello deberán elegirse viguetas de buena terminación superficial con bordes laterales bien rectos. También pueden aplicarse cielorrasos de yeso o finos a la cal.

La vigueta prefabricada FIRTH se fabrica en una sección de ancho variable entre 11 y 5 centímetros y una altura de 10 centímetros que llevan en su interior alambres rectos. Eestá compuesta por una armadura de acero pretensado con alambres de 4 y 5 milímetros, acero de baja relajación y tridentados las cuales se tensan a una resistencia a la rotura de 18 mil kilogramos por centímetro cuadrado, bastante superior a las barras corrugadas usadas en el concreto armado y son responsables de la seguridad estructural de las losas construidas con este sistema.

El pretensado inicial, con mayor número de cables rectos hacia la zona inferior de la vigueta, hace que ésta se curve hacia arriba, produciéndose tracción en la parte superior y compresión hacia la zona inferior. Con el vaciado de la losa superior y con la aplicación de las cargas muertas y vivas posteriores (el piso terminado, los tabiques y la sobrecarga), esta deformación inicial desaparece, invirtiéndose los esfuerzos.

Las viguetas se pueden fabricar a pedido en diversas luces y tienen un peso de aproximadamente 18 kilogramos por metro. Luego de haber alcanzado una cierta resistencia se izan y se transportan a las obras, para colocarlas en hileras espaciadas (50 o 60 centímetros) y formar luego una losa aligerada armada en una dirección.

Las bovedillas se apoyan directamente en las viguetas cubriendo en forma conjunta toda la superficie de la losa. Su función es eliminar la cimbra de contacto y aligerar la losa. Hay que tener en cuenta que la bovedilla no contribuye a la resistencia de la losa.

El espaciamiento entre viguetas de eje a eje es de 50 o 60 cm; las viguetas

---

tienen una forma de "T" invertida, en cuyas alas se apoyan las bovedillas de arcilla, evitándose el fondo del encofrado. Solo se necesita colocar soleras de 2.00 m y puntales a 1.50 m.

Sobre las bovedillas se coloca la losa de 5 cm, que forma una sección compuesta en conjunto con las viguetas, en la cual van embebidas las instalaciones eléctricas, sanitarias, malla de temperatura y el acero negativo.

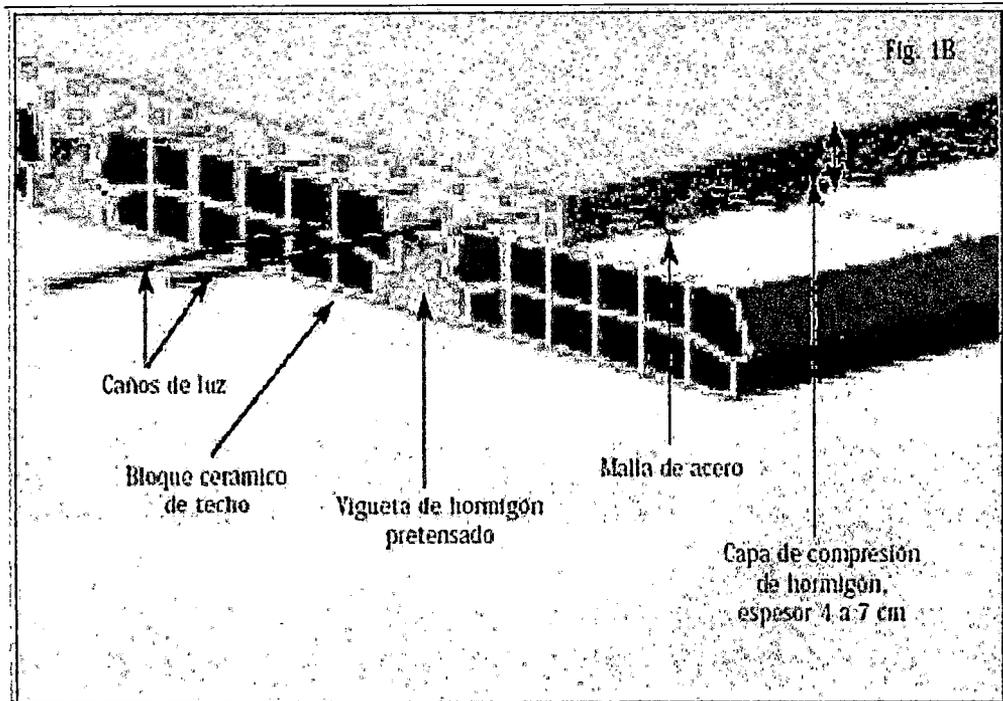
La losa final, está conformada por viguetas de sección compuesta en forma de "T", que forma un diafragma rígido y cuyos componentes están integrados mediante una adherencia mecánica.

En planta se fabrican viguetas estandarizadas que son fácilmente manipulables y colocadas en obra sin requerir encofrado ni mano de obra especializada.

Existen cinco tipos de viguetas pretensadas y cuatro alturas diferentes para los bloques de relleno, con lo que es posible lograr una losa aligerada económica para cualquier sobrecarga y luz. Las alturas de las losas pueden ser de distintas dimensiones: se tiene losas de 17, 20, 25 y 30 cm.

La resistencia mínima del concreto de estas viguetas es de  $f'c=350$  kg/cm<sup>2</sup>, y puede llegar a  $f'c=500$  kg/cm<sup>2</sup> como máximo. Los elementos prefabricados tienen altas resistencias con dimensiones y pesos menores a los convencionales. La construcción con este sistema es sencilla, rápida y económica.

La Figura 2. Muestra un detalle general del sistema constructivo a base de vigueta y bovedilla. Este sistema se usa actualmente en casas y edificios de 1 a 5 niveles, básicamente en los proyectos de interés social que ejecutan los organismos oficiales y particulares.



**Fig.1. Detalle general del sistema constructivo a base de vigueta y bovedilla**

#### 1.4.3.2. Componentes del sistema FIRTH

Las Losas a base de vigueta y bovedillas son un sistema estructural formado por componentes portantes prefabricados denominados viguetas, componentes aligerantes llamados bovedillas y por una losa de compresión. El sistema está perimetralmente confinado con una dala ó viga de concreto reforzado.

**a.- Vigueta pretensada.-** Componente portante resistente del sistema, formado por alambres de presfuerzo y de concreto de alta resistencia, las cuales son de alma llena mediante fabricación de moldes fijos ó extrusión (molde deslizante).

**b.- Bovedilla ó componente aligerante.-** Componente aligerante de relleno apoyado directamente en las viguetas, fabricados de materiales con densidad inferior a la del concreto, tales como cemento-arena, poliestireno, barro ó cualquier otro material que disminuya el peso y aligere la losa.

No se considera contribución alguna por parte de las bovedillas a la resistencia de la losa.

---

La separación entre viguetas depende de las dimensiones de la bovedilla que se utilice, normalmente oscila entre 50 y 60 cm medida centro a centro de viguetas. La altura de la bovedilla depende del claro de la losa y existen desde 12 cm hasta 25 cm.

**c.- Losa de compresión.-** Concreto vaciado en obra con el acero de refuerzo requerido, el cual queda encima de las viguetas y bovedillas, siendo su función estructural integrar y dar continuidad al sistema.

Al realizarse el vaciado del concreto en la obra, se integra en forma monolítica la vigueta con la capa de compresión (como si toda la losa se vaciará al mismo tiempo).

La resistencia mínima del concreto vaciado en la obra será de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , fabricado con tamaño máximo de agregado de 19 mm (3/4") y debe vibrarse para asegurar su penetración en las cuñas.

La cuña de concreto es la porción del concreto vaciado en obra que se aloja entre los elementos aligerantes embebiendo a la vigueta.

La losa de compresión, que se vacía en obra debe tener 5 cm de espesor mínimo, esto se usa en función de las características del sistema estructural global y de las longitudes de los claros de soporte:

**d.- Acero de refuerzo en losa de compresión.-** Se requiere colocar acero de refuerzo en la capa de compresión para resistir los esfuerzos de flexión que se lleguen a presentar así como para evitar agrietamientos por cambios volumétricos debidos a variaciones de temperatura, el acero de refuerzo calculado es el mínimo requerido por contracción y temperatura.

El refuerzo de la losa de compresión debe ser ortogonal y podrá ser habilitado empleando mallas ó varillas. No se podrá sustituir este refuerzo con ninguna clase de fibra.

**e.- Apuntalamiento provisional.-** De acuerdo a sus características el sistema

losa-bovedilla requiere de apuntalamiento provisional hasta que el concreto vaciado en obra alcance una resistencia suficiente. (7 días recomendados)

#### 1.4.4. Sistema Constructivo LOSA-FAST TODOCEMENTO

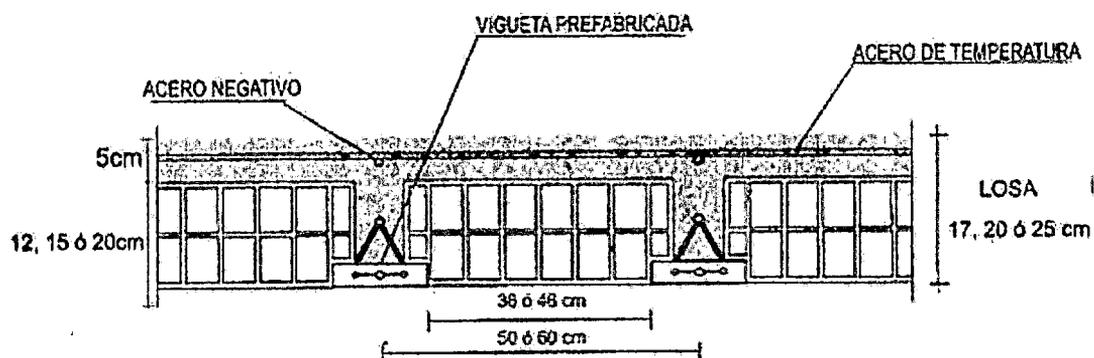
##### 1.4.4.1. Características del sistema TODOCEMENTO

El sistema de losa aligerada sin encofrados está conformado por:

- Viguetas parcialmente fabricadas en planta y armadas en una dirección;
- Bovedillas de arcilla o mortero de cemento.
- Vaciado en obra.

Estos sistemas son diseñados según requerimiento de los proyectos en los diferentes espesores de losa y en longitud hasta de 6.50m.

Sistema prefabricado de losas aligeradas que consta de viguetas parcialmente fabricadas en planta, bovedillas y bandejas para instalaciones eléctricas, ductos sanitarios y detalles estructurales.



**Fig. 2. Corte Transversal de Losa Aligerada**

La manipulación de las viguetas prefabricadas son relativamente livianas (14 kg/ml) pudiendo ser manipuladas por 2 hombres. Para largos menores de 3.50 m. pueden ser suspendidas de los extremos. Cuando el largo es mayor deberá apoyarse a 50 ó 60 cms. de los extremos

### 1.4.4.2. Componentes del sistema TODOCEMENTO

a.- **Las viguetas.**- La vigueta es el elemento compuesto por la armadura y por un patín de concreto colocado en la parte inferior y a todo lo largo de la misma. La función del patín es servir de apoyo a las piezas aligerantes de la losa llamadas bovedillas.

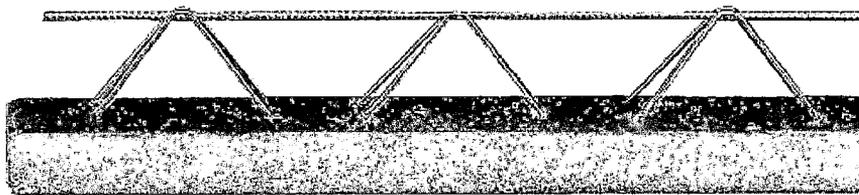
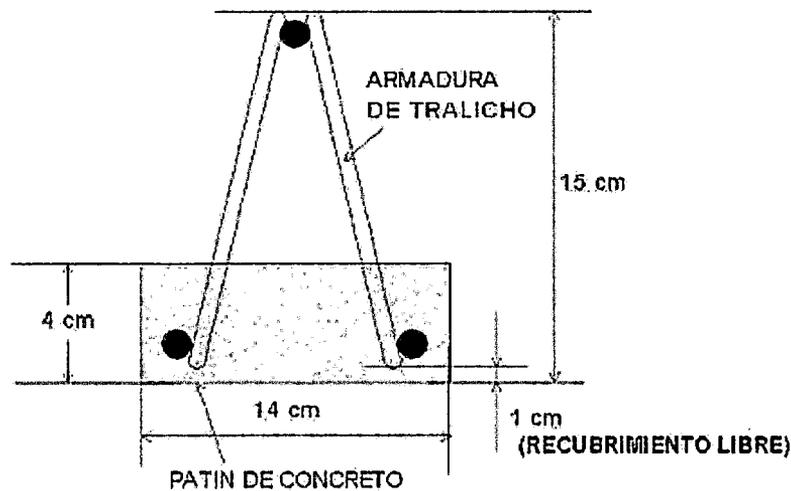


Fig. 3. Vista lateral de la vigueta armada

La vigueta prefabricada es la parte más importante del sistema de losa vigueta-bovedilla, ya que es el elemento estructural responsable de la resistencia de la losa.



RESISTENCIA DEL CONCRETO  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$   
PESO DE VIGUETA = 14 kg/m

Fig. 4. Sección de la vigueta armada

---

Son fabricadas en planta bajo estricto control de calidad y constan de los siguientes elementos:

- **Tralicho**

Se denomina tralicho a la estructura de acero de alto límite de fluencia (5000 Kg/cm<sup>2</sup>), compuesto por dos fierros inferiores y uno superior unidos entre sí por un reticulado continuo en zigzag electrosoldado, para impedir el balanceo lateral superior e inferior.

Dichos fierros han sido trenzados tratados en frío y controlados desde el origen. Adicionalmente se le incorpora el fierro inferior que requiere según diseño y posteriormente en obra, se le incorpora la armadura superior requerida según los planos.

Esta vigueta con tralicho constituye una estructura rígida con momento de inercia propio, que contribuye al aumento de la rigidez que tendría la losa si los fierros superiores e inferiores no estuviesen unidos.

Los reticulados continuos en zigzag unen el concreto preparado en obra con el de la parte inferior de la vigueta, lográndose una armadura apta para absorber los esfuerzos de adherencia. El ancho final de vigueta es de 14 cm.

- **Concreto**

De resistencia mínima  $f + 280$  kg/cm<sup>2</sup> salvo requerimientos especiales y es de 4 cm de espesor.

**b.- Bloques.-** Son de arcilla, pesan alrededor de 9 kg. y presentan en ambos lados de la parte inferior hendiduras que le permiten descansar sobre la vigueta sin requerir encofrado. El ancho de estos bloques es de 40 cm o 50 cm.

Las bovedillas son los elementos aligerantes del sistema y pueden ser de diversos materiales, las hay de cemento-arena, de poliestireno, de barro, etc., las

---

bovedillas se apoyan directamente en las viguetas cubriendo en forma conjunta toda la superficie de la losa. Su función es eliminar la cimbra de contacto y aligerar la losa.

No se considera contribución alguna por parte de las bovedillas a la resistencia de la losa.

La separación entre viguetas depende de las dimensiones de la bovedilla que se utilice, normalmente es de 50 cm. medida centro a centro de viguetas, la altura de la bovedilla depende del claro de la losa.

**c.- Losa de compresión.-** La capa de compresión es la capa de concreto vaciado en la obra que queda encima de las bovedillas. El espesor comúnmente usado es de 5 cm (La resistencia del concreto vaciado en la obra será usualmente de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ).

La capa de compresión actúa como una pequeña losa apoyada sobre las viguetas prefabricadas, de tal manera que se podría retirar sin ningún problema las bovedillas, después de construida la losa.

Al realizarse el vaciado del concreto en la obra, las diagonales de la armadura funcionan como conectores entre el concreto recién vaciado y el patín de la vigueta, integrando en forma monolítica la vigueta con la capa de compresión (como si toda la losa se vacía al mismo tiempo).

**d.- Acero de refuerzo en losa de compresión.**

El acero de refuerzo en la losa de compresión se trabaja de la misma forma que el sistema Firth (Ver Capítulo I ,1.4.3.2.d)

**e.- Apuntalamiento provisional.**

El apuntalamiento provisional para la losa de compresión se trabaja de la misma forma que el sistema Firth (Ver Capítulo I ,1.4.3.2.e)

---

## CAPÍTULO II.- ELEMENTOS PREFABRICADOS USADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS ALIGERADOS

### 2.1. Vigueta Prefabricada FIRTH

#### 2.1.1. Descripción de los elementos

La vigueta prefabricada FIRTH es constituida por los siguientes elementos:

- **Cemento:** Cemento Portland, Sol tipo1 suministrado por Cemento Lima S.A. en cual cumple con las especificaciones de la *norma ASTM C-150 "Standard Specification For Portland Cement"*.
- **Arena gruesa:** Proviene de la cantera "La Gloria". Esta arena cumple con las especificaciones de la *norma ASTM C-33 "Standard Specification For Concrete Aggregates"*.
- **Confitillo:** El agregado grueso corresponde a confitillo (huso N°8) proveniente de la cantera "Flor de Nieve". Este confitillo cumple con las especificaciones térmicas de la *norma ASTM C-33 "Standard Specification For Concrete Aggregates"*.
- **Acero pretensado:** Alambres de 4 mm. y 5 mm. acero de baja relajación y tridentado. Cumple con la *norma ASTM-421 y UNE-36-094Y1860*.

#### 2.1.2. Normas Aplicables

Las viguetas pretensadas FIRTH cumplen con los requerimientos de la *norma Peruana de Estructuras capítulo 18 Concreto presforzado*, La cual toca algunos puntos como los rrequisitos de funcionamiento de elementos sometidos a flexión, esfuerzos admisibles en el acero de presforzado, pérdidas de presfuerzo, resistencia a flexión, etc.

### 2.1.3. Especificaciones Técnicas

Dependiendo de la altura de la losa y del espaciamiento entre viguetas se tienen distintos volúmenes de concreto utilizados los cuales se muestran a continuación en el cuadro #1

**Cuadro #1: Comparativo de consumo de concreto**

ALT. DE LOSA (cm.)	SIST. LOSA CON VIGUETA FIRTH		SIST. LOSA TRAD.	% AHORRO	
	VIGUETA (m3/m2)	DOBLE	VIGUETA SIMPLE (m3/m2)		
17 a 60 cm	0.06		0.058	0.08	28%
17 a 50 cm	0.07		0.06	0.08	25%
20 a 60 cm	0.08		0.068	0.09	25%
20 a 50 cm	0.09		0.07	0.09	22%
25 a 60 cm	0.11		0.088	0.1	13%
25 a 50 cm	0.12		0.09	0.1	10%
30 a 25 cm	0.15		0.11	0.113	2%

Fuente: Manual de Viguetas Prefabricadas (Firth)

**Nota:** en caso que en la techa hayan ensanches y/o bandejas sanitarias, habrán que restar al volumen de la losa, el volumen que ocupan las viguetas y los elementos que conforman la losa (bandeja, bovedillas, etc.).

#### 2.1.3.1. Viguetas Pretensadas

De acuerdo a la longitud y a la sobrecarga Firth presenta diferentes tipos de viguetas con diferente resistencia del concreto y distinta cuantía cada una como se muestra en el cuadro #2

**Cuadro #2: Características de las viguetas firth**

serie	área acero (cm <sup>2</sup> )	fpu (kg/cm <sup>2</sup> ) resist.ult.acero	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	vol.vigueta (m <sup>3</sup> )	Peso vig. (kg/ml)
101	0.378	18000	350	0.0072	17
102	0.504	18000	350	0.0072	17
103	0.63	18000	420	0.0072	17
104	0.784	18000	420	0.0072	17
105	0.98	18000	500	0.0072	17

Fuente: Manual de Viguetas Prefabricadas (Firth)

La vigueta Firth, independiente de la separación entre viguetas, tiene una sección constante de 11 x 10 cm la cual calza perfectamente con la bovedilla como se muestra en la fig. 6. Además esta vigueta tiene un dentado a los largo de toda su longitud que permite el anclaje con la capa de concreto vaciada en obra como se puede apreciar en la fig. 7.

**VIGUETA 11 X 10: SECCION DEL ALIGERADO a 50, 60 cm**

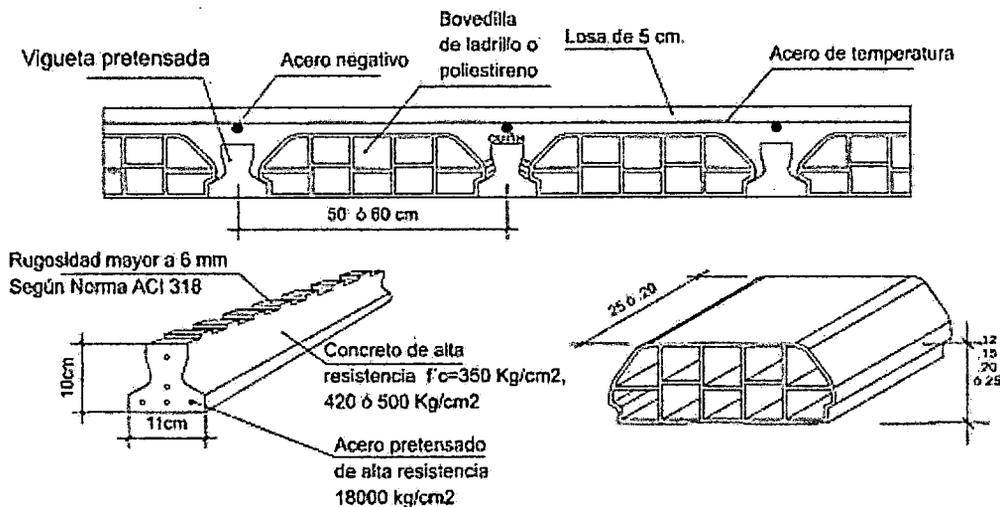


Fig. 5, Sección Transversal Losa Firth. Fig. 6, Vigueta Firth.

Fig. 7, Bovedilla Sistema Firth

**ANCLAJE MECANICO VIGUETA PRETENSADA FIRTH - LOSA IN SITU**

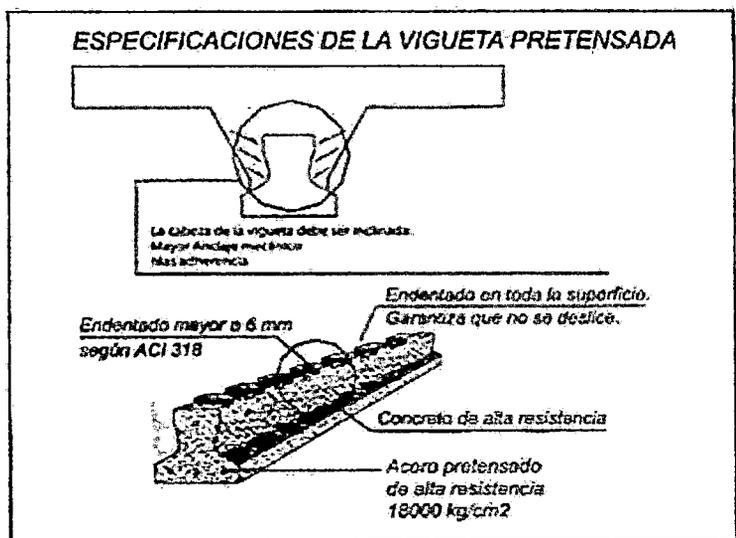


Fig. 8. Anclaje Mecánico Vigueta Pretensada

Fuente: Manual de Viguetas Prefabricadas (Firth)

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOSAS ALIGERADAS UTILIZANDO VIGUETAS PREFABRICADAS FIRTH, VIGUETAS ARMADAS TODOCEMENTO Y VIGUETAS VACIADAS EN OBRA

Todas las series de viguetas Firth pueden ser utilizadas para los diferentes espaciamientos (@50 y @60) y para los diferentes peraltes como se muestra en el cuadro #3

**Cuadro #3: Combinaciones de peraltes y espaciamientos**

peralte	espaciamento	series
17,20,25 cm	a 50 y 60 cm	V101,V102,V103,V104,V105
30 cm	a 50 cm	V101,V102,V103,V104,V105

Fuente: Manual de Viguetas Prefabricadas (Firth)

### 2.1.3.2. Losa de Concreto

La cantidad de bovedillas usadas por m<sup>2</sup> de losa varía de acuerdo al espaciamento entre viguetas estopor la forma del ladrillo. Las cantidades de ladrillos usados se muestran a continuación en el cuadro #4:

**Cuadro #4: Cantidad de bovedillas utilizadas x m<sup>2</sup> de losa**

ESPACIAMIENTO	BOVEDILLA/m <sup>2</sup>	DESPERDICIO
@50	8 un/m <sup>2</sup>	3%
@60	8.5 un/m <sup>2</sup>	5%

Fuente: Manual de Viguetas Prefabricadas (Firth)

### Especificaciones del concreto

Agregado grueso: Piedra N°57 o N°56

Slump de diseño máximo: 3 ½".

Nota: Según la densidad del acero se deberá soltar con un aditivo superplastificante.

**Cuadro #5: Cantidad de concreto usado en losas aligeradas**

CANTIDAD DE CONCRETO PARA LOSAS ALIGERADAS			
ALTURA DE LOSA	SISTEMA FIRTH	SISTEMA CONVENC.	AHORRO
17cm	0.06 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.08 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	25%
20 cm	0.07 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.09 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	22%
25 cm	0.09 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.10 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	10.00%

Fuente: Manual de Viguetas Prefabricadas (Firth)

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOSAS ALIGERADAS UTILIZANDO VIGUETAS PREFABRICADAS FIRTH, VIGUETAS ARMADAS TODOCEMENTO Y VIGUETAS VACIADAS EN OBRA

#### **2.1.4. Producción**

Se describe el proceso productivo de las viguetas prefabricadas los materiales, las instalaciones, las herramientas y el proceso paso a paso.

##### **2.1.4.1. Fabricación de la vigueta pretensada**

Para instalar una planta de fabricación de vigueta se requiere un terreno con un área suficiente para alojar las mesas de fabricación, mesas de habilitado de armaduras, almacenes de: agregados, cemento, armaduras, varillas y producto terminado; así como espacio para maniobras de carga y descarga.

Una relación aproximada es de 2m<sup>2</sup> de terreno por cada ml de vigueta producida al día; por ejemplo, si se desea producir 500ml de vigueta diariamente se necesita un terreno de 1000 m<sup>2</sup> de superficie.

A continuación se enumeran los principales componentes que se requieren para poner en funcionamiento una fábrica de prefabricados

1. Mesas de fabricación
2. Almacén de grava
3. Almacén de arena
4. Mezcladora de concreto
5. Almacén de cemento
6. Almacén de armadura
7. Mesas de habilitado de armaduras
8. Almacén del producto terminado
9. Almacén del producto terminado
10. Área para carga de viguetas a camión

La distribución de la planta es muy importante al momento de la producción, ya que con un correcto orden se puede aumentar la productividad y a su vez disminuir la cantidad de procesos. La figura 8 muestra un arreglo de planta opcional.

### ARREGLO GENERAL DE UNA PLANTA DE VIGUETAS PREFABRICADAS

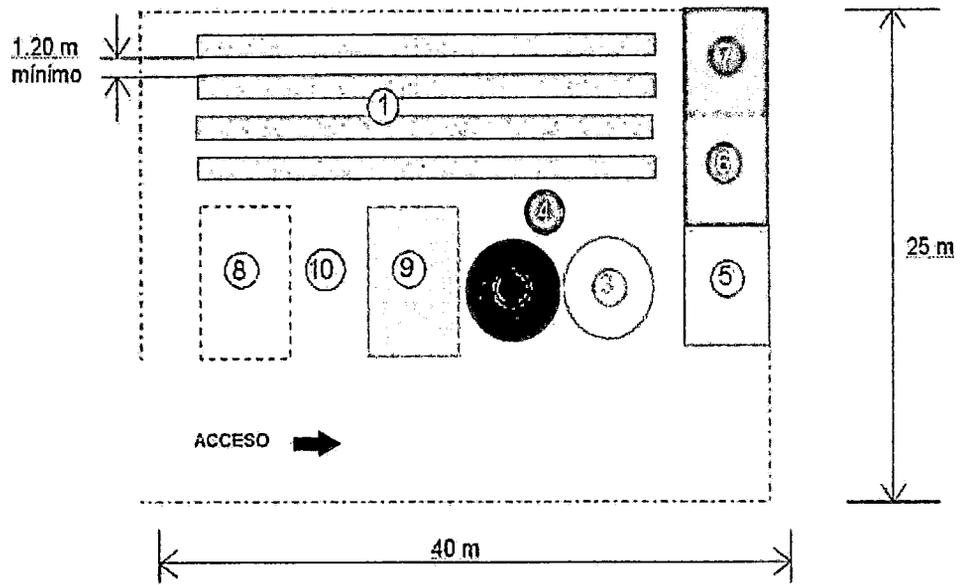
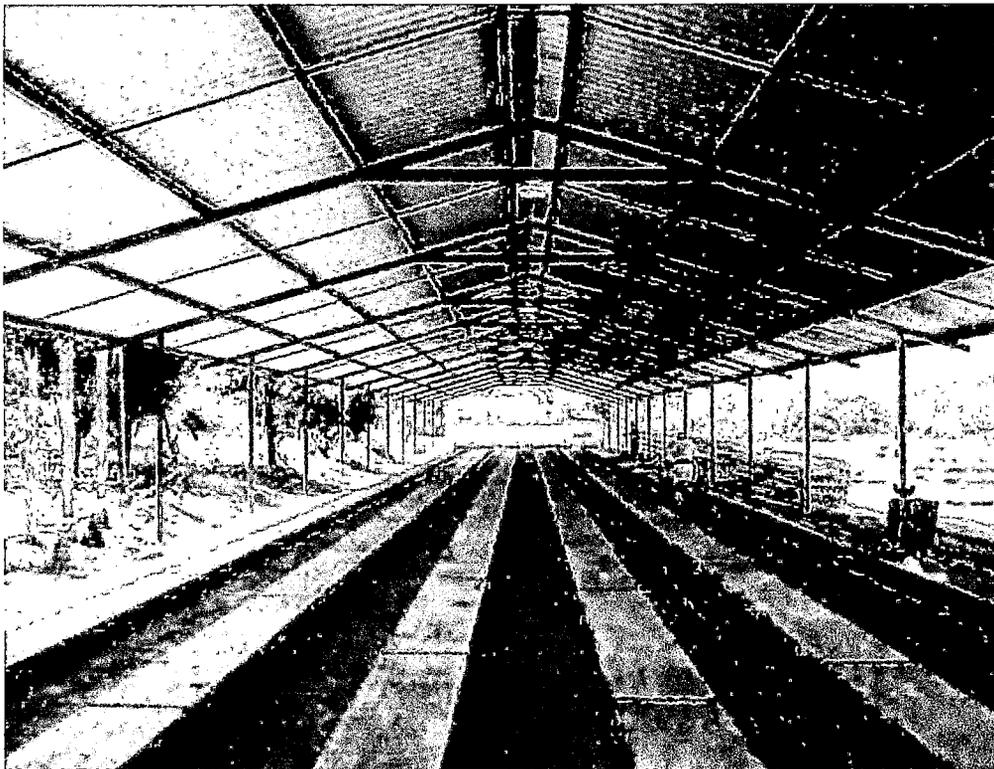


Fig. 9 .Arreglo general planta de viguetas prefabricadas



Fot. 1. Panorámica de una planta de viguetas

#### 2.1.4.2. Proceso de producción

##### Paso 1: Limpieza de moldes y aplicación de desmoldante.

- Se disuelven grasa automotriz en diesel (1/6).
- Con un trapeador se aplica una capa de esta solución a los moldes para permitir el desmoldado de la vigueta una vez que esta haya fraguado.
- También se puede aplicar una capa de aceite quemado.



Fot.02. Limpieza y aplicación de desmoldante.

##### Paso 2: Corte de alambre.

- Con ayuda de unas cizallas se corta el alambre de presfuerzo.
- La longitud será el largo de los moldes, mas puntas suficientes en ambos extremos para anclarlo y tensarlo con el sistema hidráulico (gato).

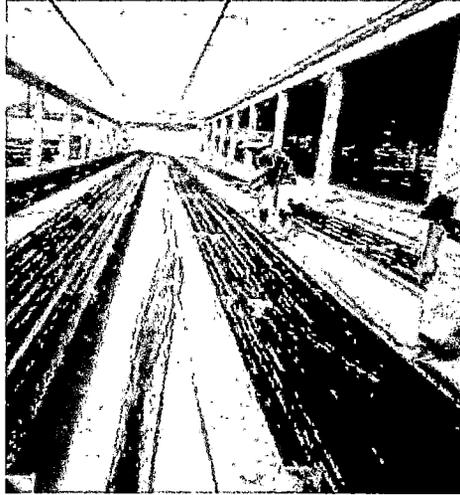


Fot.03. Corte del alambre

---

### Paso 3: Colocación de alambre.

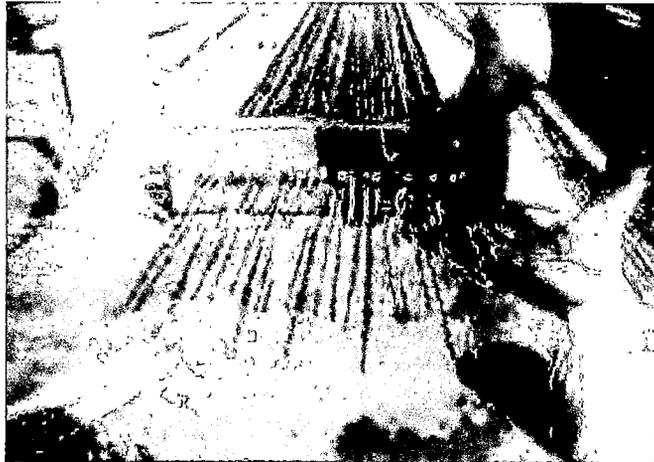
- Se colocan los alambres junto a la pista de moldes.
- Los alambres se hacen pasar por los agujeros de los separadores que tendrá cada molde. El juego de alambres y separadores son colocados en los moldes.



**Fot.04. Colocación de Alambre**

### Paso 4: Anclaje de alambre.

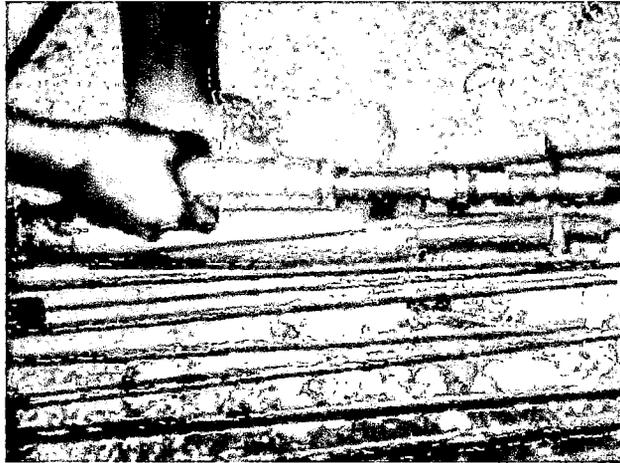
Los alambres se hacen pasar por los agujeros de la viga de anclaje y se aseguran con los “barriles” y cuñas. Su función es permitir el tensado e impedir que el alambre se corra cuando ha sido estirado.



**Fot.05. Anclaje del alambre**

### **Paso 5: Tensado de alambre.**

Con un equipo hidráulico (bomba y gato) ya sea manual o eléctrico se van estirando los alambres. Usualmente uno por uno, aunque existen equipos que pueden estirar dos a la vez. La carga que se está aplicando se lee en un manómetro y es dejada de aplicar cuando ha llegado a la carga especificada de diseño.



**Fot.06. Tensado del alambre**

### **Paso 6: Fabricación del concreto.**

La dosificación dependerá de los materiales de la región, por lo que deberá recurrirse a un laboratorio para verificar la resistencia del concreto. La resistencia mínima del concreto que se emplea es de 350 kg/cm<sup>2</sup>



**Fot.07. Fabricación del concreto**

---

### Paso 7: Vaciado de concreto.

Una vez elaborado el concreto, se lleva en carretillas y se vacía en los moldes, distribuyéndolo con la ayuda de una pala. Se inicia en un extremo de la mesa y se van vaciando los diferentes tamaños de vigueta hasta terminar toda la mesa.



**Fot.08. Vaciado del concreto**

### Paso 8: Enrasado.

Con la ayuda de una regla de madera, se enrasan los moldes cubriendo toda la longitud de la vigueta.



**Fot.09. Enrasado de la Mezcla**

---

**Paso 9: Vibrado de concreto.**

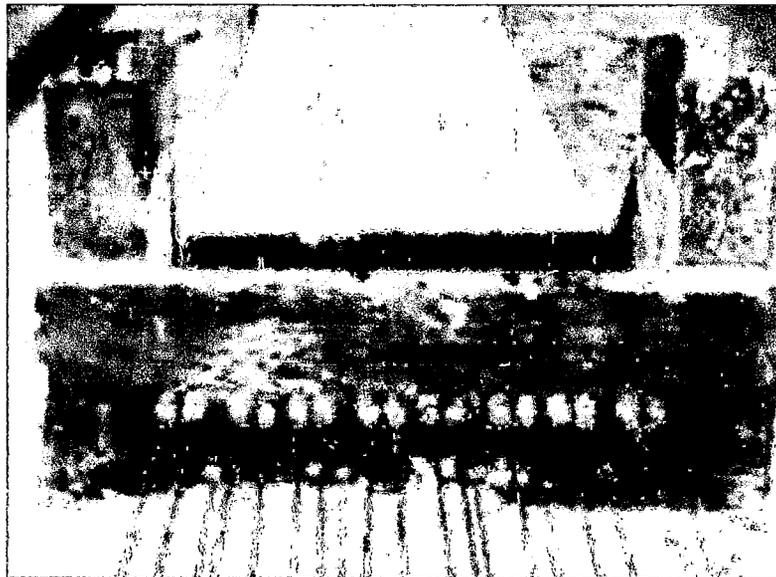
Para asegurar la adherencia con los alambres, el concreto debe vibrarse evitando con esto oquedades en el concreto.



**Fot.10. Vibrado de concreto**

**Paso 10: Destensado de alambre.**

Típicamente 24 horas después del vaciado se pueden desmoldar las viguetas. Primero se aflojan los alambres del extremo móvil de la pista.



**Fot.11. Destensado del alambre**

---

### Paso 11: Corte de alambre.

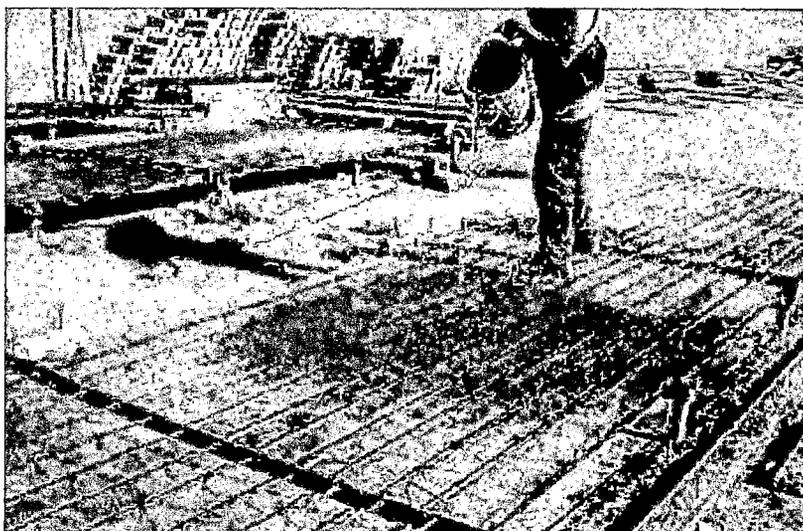
Luego con un equipo de soldar se cortan los alambres para separar un tramo de vigueta de otro, esto es entre un separador y otro.



**Fot.12. Corte del alambre**

### Paso 12: Curado.

Es necesario efectuar un curado adecuado de las viguetas ya vaciadas. Se realiza a base de riego de agua, tantas veces como sea necesario, dependiendo de las condiciones climáticas, hasta el desmolde de las viguetas.



**Fot.13. Curado del concreto**

### **Paso 13: Desmolde.**

Al siguiente día (24 hrs.) del vaciado, se procede al desmolde de las viguetas. Esto se hace manualmente utilizando para ello una tabla o un tubo, haciendo palanca sobre las otras viguetas. Se van despegando de varios puntos, hasta que se desprenden totalmente.

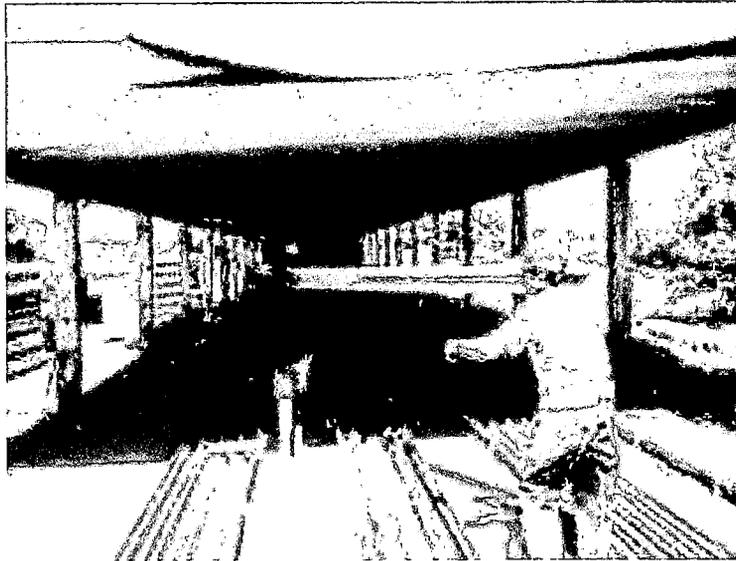
Con una barra de acero que se hace pasar por las “asas” de alambre que se dejaron después de vibrar el concreto, se hace palanca para sacar la vigueta de los moldes.



**Fot.14. Desmolde de las viguetas**

### **Paso 14: Acarreo de viguetas.**

Ya que se ha desmoldado, la vigueta se retira y se lleva a las pilas del almacén de producto terminado de acuerdo a la clave de cada vigueta. Se puede hacer en forma manual o empleando una grúa. Finalmente las viguetas son llevadas al almacén, apiladas de acuerdo al claro.

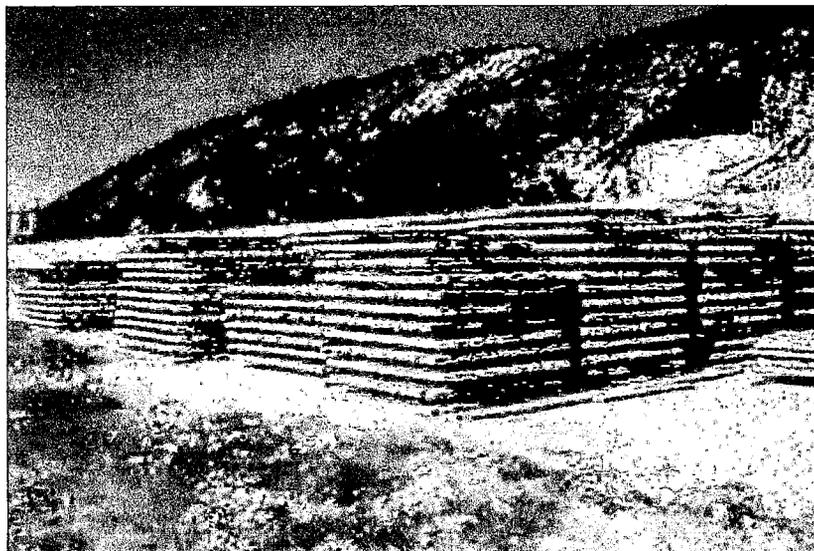


**Fot.15. Acarreo de las viguetas**

### **Paso 15: Almacenamiento**

Las viguetas se apilan unas sobre otras, hasta un máximo de 8, colocando entre ellas tablas de apoyo a los tercios del claro. Cada pila representa un tipo de vigueta.

Deberán permanecer almacenadas un mínimo de 7 días con el fin de que el concreto alcance la resistencia necesaria para proceder al montaje en la obra.



**Fot.16. Almacenamiento de las viguetas**

## 2.2. Vigueta Armada TODOCEMENTO

### 2.2.1. Descripción de los elementos

La vigueta armada TODOCEMENTO es constituida por los siguientes elementos:

- **Cemento:** Cemento Portland, Sol tipo 1 suministrado por Cemento Lima S.A. en cual cumple con las especificaciones de la *norma ASTM C-150 "Standard Specification For Portland Cement"*.
- **Arena gruesa:** Proviene de las canteras de la Molina. Esta arena cumple con las especificaciones de la *norma ASTM C-33 "Standard Specification For Concrete Aggregates"*.
- **Confitillo:** El agregado grueso corresponde a confitillo (huso N<sup>º</sup>8) proveniente de la cantera "La Gloria". Este confitillo cumple con las especificaciones térmicas de la *norma ACTM C-33 "Standard Specification For Concrete Aggregates"*.
- **Acero Tridimensional Electrosoldado (Tralicho):** Fabricado por Prodac Fabricadas con varillas de acero laminado en frío, con una fluencia de 5,000 kg/cm<sup>2</sup> y una resistencia mínima a la rotura de 5,600 kg/cm<sup>2</sup>. Este acero cumple con las normas de fabricación
  - Alambre Lisa: ASTM A 82-94. Incisos: 5, 6.1.2, 6.1.3, 6.2, 7 y 8.
  - Alambre Corrugado: ASTM A 496-94. Incisos 6, 8, 9 y 10.
- **Acero Corrugado:** Proveniente de Aceros Arequipa o Sider Perú dependiendo del distribuidor mayorista y del diámetro. Cumple con las especificaciones técnicas de Composición Química, Propiedades Mecánicas y Tolerancias dimensionales:

ASTM A615 Grado 60 - 96a / ITINTEC 341.031 Grado ARN420 - 91.

### 2.2.2. Normas Aplicables

Las normas que aplican en el caso de las viguetas armadas TODOCEMENTO son la *norma Peruana de Estructuras capítulo 16 Concreto Prefabricado* la cual toca los temas de diseño de elementos, uniformidad estructural y diseño de conexiones y apoyos

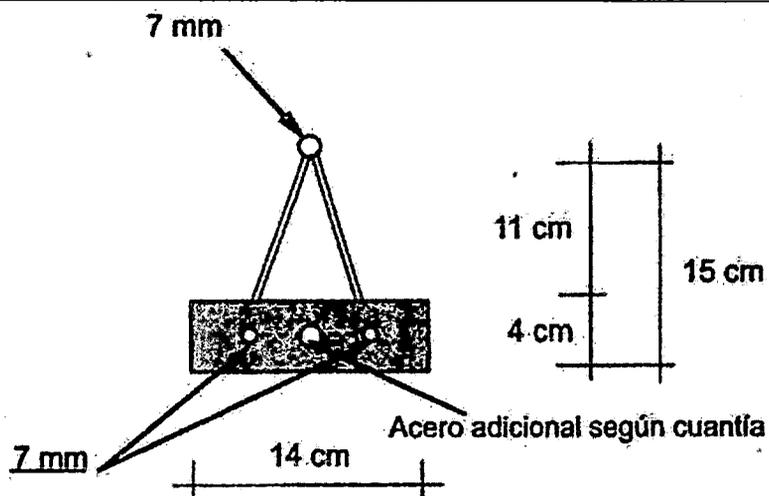
### 2.2.3. Especificaciones Técnicas

#### 2.2.3.1. Las Viguetas

Elemento de concreto armado, prefabricado en planta según diseño estructural, el cual tiene que cumplir las características de resistencia, cuantía, etc., como se muestra en el cuadro #6.

**Cuadro #6: Características de la vigueta armada – TC**

Longitud de Vigueta:	Según Planos Estructurales
Acero Positivo:	Según Cuantía en Planos Estructurales
f'c Vigueta:	280 Kg/cm <sup>2</sup>
f <sub>e</sub> Tralicho:	5,000 Kg / cm <sup>2</sup>
f'c Acero Adicional:	4,200 Kg / cm <sup>2</sup>
Distancia entre Ejes:	60 cm Losa de 17 cm
	50 cm Losa de 20 cm
	50 cm Losa de 25 cm



**Fig. 10. Detalle vigueta Armada TC**

### 2.2.3.2. Armadura PRODAC

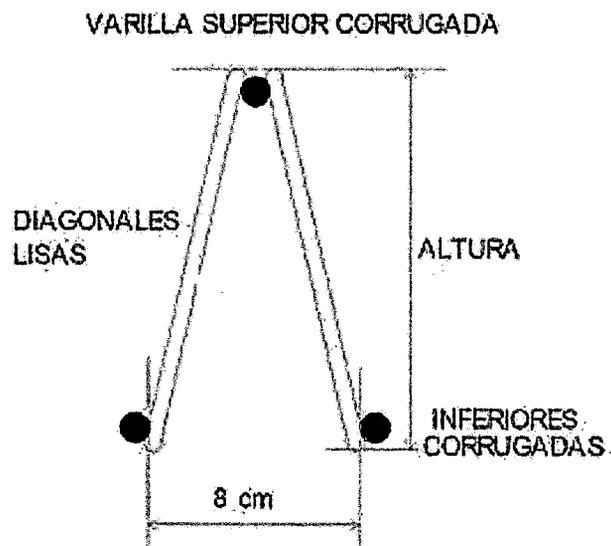
La armadura PRODAC es un producto dirigido principalmente a la fabricación de viguetas prefabricadas de concreto, para utilizarse en la construcción de losas con el sistema de vigueta-bovedilla.

La armadura es un producto electrosoldado triangular, formado por tres varillas longitudinales corrugadas, una superior y dos inferiores, unidas por varillas diagonales lisas en forma de zig-zag mediante el proceso de soldadura por resistencia eléctrica a cada 20 cm.

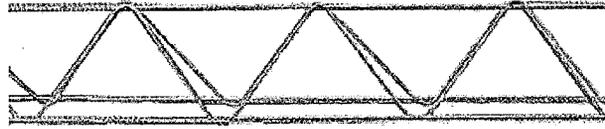
La principal aplicación de las Armaduras, es la prefabricación de viguetas de concreto, elemento medular del Sistema Vigueta-Bovedilla para la construcción de losas.

A partir de la Armadura se fabrica la Vigueta vaciando un patín de concreto en la parte inferior de la armadura. El patín sirve de apoyo a las bovedillas, que son la parte aligerante de la losa.

Las Armaduras aportan la resistencia de las Viguetas prefabricadas, las cuales son responsables de la seguridad estructural de las losas construidas con el sistema Vigueta-Bovedilla.



**Fig. 11. Detalle del tralicho**



**Fig. 12. Vista transversal del tralicho**

#### 2.2.3.3. Acero Corrugado

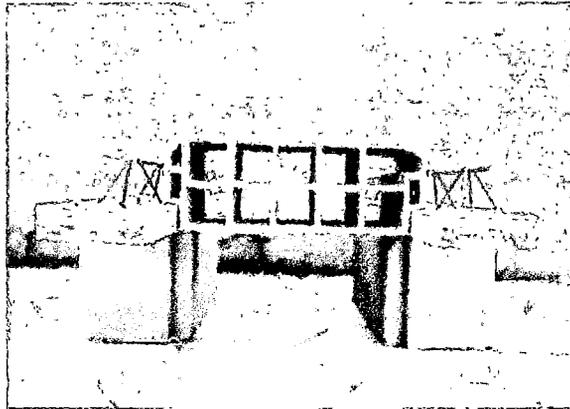
- DENOMINACION: BACO ASTM A615-GRADO 60
- DESCRIPCION: Barras de acero rectas de sección circular, con resaltes Hi-bond de alta adherencia con el concreto.
- NORMAS TECNICAS: Composición Química, Propiedades Mecánicas y Tolerancias dimensionales: ASTM A615 Grado 60 - 96a / ITINTEC 341.031 Grado ARN420 - 91.
- PRESENTACION: Se produce en barras de 9 m y 11.9 m de longitud en los siguientes diámetros: 6 mm, 8 mm, 3/8", 12 mm, 1/2", 5/8", 3/4", 1". La medida 1 3/8" se produce en 12m

#### 2.2.3.4. Bovedillas (Bloques de arcilla)

Bloques de arcilla cocida, también denominadas bovedillas, son fabricados en 3 diferentes alturas para los diferentes tipos de losas aligeradas como se muestra en el cuadro #7.

**Cuadro #7: Detalle de las bovedillas TC**

Losa (cm)	Altura (cm)	Ancho (cm)	Fondo (cm)	Peso (Kg.)	Rendimiento (und. / m <sup>2</sup> )
17	12	50	25	8.00	6.67
20	15	40	25	12.00	8.00
25	20	40	25	10.40	8.00



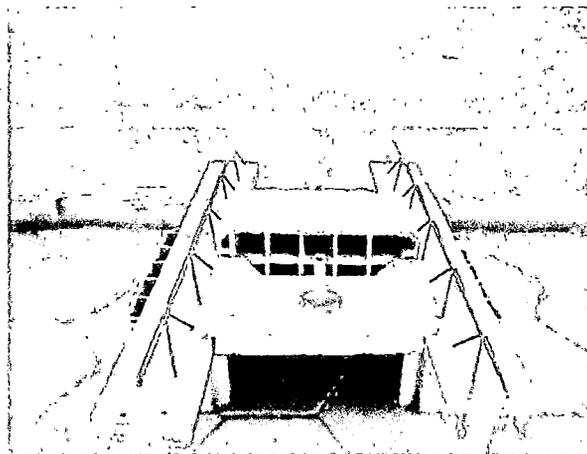
**Fot.17. Vista transversal de la Bovedilla de TC**

**Elementos Complementarios:**

El Sistema Losa-Fast® incluye bandejas de concreto para instalaciones eléctricas, sanitarias y estructurales las cuales encajan perfectamente entre las viguetas prefabricadas.

**Cuadro #8: Detalle de las bandejas TC**

Tipo de Bandeja	Losa (cm)	Altura (cm)	Ancho (cm)	Fondo (cm)
Eléctrica y Sanitaria	17 20 y 25	4	50 40	20
Estructural	17 20 y 25	4	50 40	10 10



**Fot.18. Vista transversal de la bandeja TC**

---

## 2.2.4. Producción

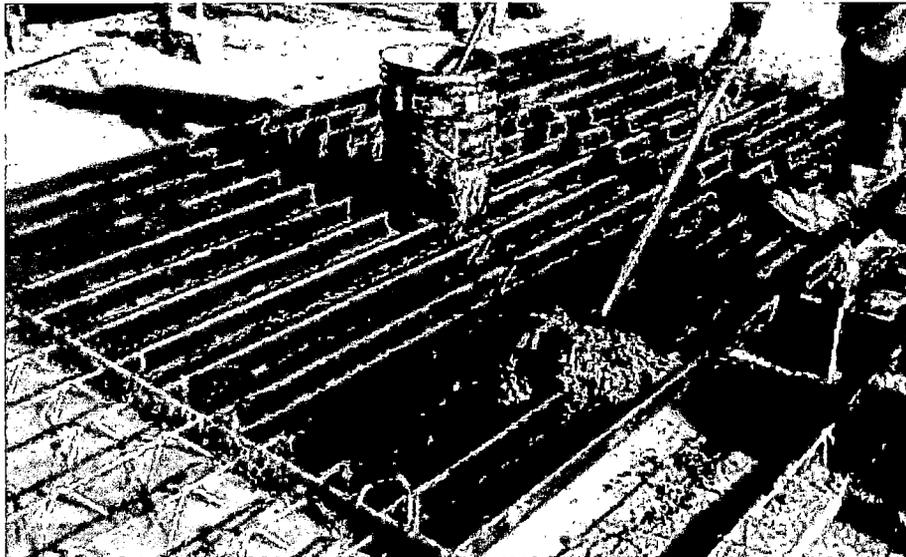
### 2.2.4.1. Fabricación de la vigueta armada TODOCEMENTO

La instalación es similar a la descrita en el Capítulo II, 2.1.4.1

### 2.2.4.2. Proceso de fabricación de la vigueta

#### Paso 1: Lijado, limpieza de moldes y aplicación de desmoldante

Se debe aplicar una capa de aceite quemado a los moldes antes del vaciado del concreto para facilitar el desmolde de las viguetas una vez que éstas hayan fraguado.



Fot.19. Lijado y Limpieza de los moldes

#### Paso 2: corte de armadura

La armadura se corta con cizallas al tamaño de la vigueta y luego de cortarla se coloca una tarjeta indicando la ubicación de la vigueta en la losa (número y ubicación en el paño)

Los largos de la vigueta varían cada 1 cm, desde 0.5 m hasta 6.5m.



**Fot.20. Corte de Armadura**

### **Paso 3: habilitado de armaduras y amarre de acero adicional**

Para aumentar la resistencia a la flexión de la vigueta es necesario colocarle acero adicional de acuerdo a la tabla proporcionada por el departamento técnico.

En la mesa de habilitado, con alambre recocido se amarra el acero adicional a lo largo de toda la vigueta, el cual se coloca directamente sobre las varillas inferiores de la armadura. Una vez habilitadas las armaduras se colocan a un lado de los moldes de fabricación.

Cuando se requiera traslapar dos tramos de armadura para lograr una longitud de vigueta determinada, se recomienda que el traslape se realice aproximadamente a los cuartos de la longitud de la vigueta.



**Fot.21. Habilidado de las armaduras**

#### **Paso 4: fabricación del concreto**

La fabricación del concreto se realiza en un trompo (mezcladora de concreto), la resistencia del concreto que se emplea es de 280 kg/cm

#### **Paso 5: vaciado del concreto**

Una vez elaborado el concreto, se lleva en carretillas y se vacía en los moldes. Se inicia en un extremo de la mesa y se van vaciando los diferentes tamaños de vigueta hasta terminar toda la mesa.

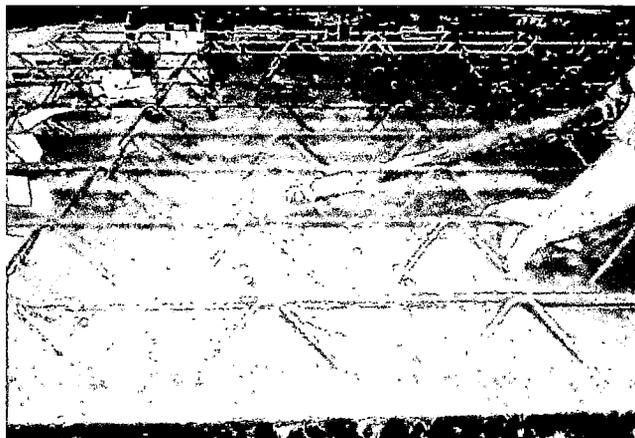
#### **Paso 6: enrasado**

Con la ayuda de una regla de madera, se enrasan los moldes cubriendo toda la longitud de la vigueta.

#### **Paso 7: hincado y vibrado de las armaduras en el concreto**

Las armaduras se van introduciendo en el concreto fresco. Esto se hace manualmente aplicando un movimiento vibratorio pendular al mismo tiempo que se va introduciendo en el patín de concreto.

La armadura se lleva hasta el fondo del molde y se da un pequeño tirón hacia arriba para dar el recubrimiento adecuado.



**Fot.22. Vibrado de las armaduras**

### **Paso 8: separación de viguetas**

Las viguetas se separan unas de otras con separadores de lámina, que se hincan en el concreto permitiendo obtener viguetas con los extremos bien acabados



**Fot.23. Separación de las viguetas**

### **Paso 9: curado**

Es necesario efectuar un curado adecuado de las viguetas ya vaciadas.

Se realiza a base de riego de agua, tantas veces como sea necesario, dependiendo de las condiciones climáticas, hasta el desmolde de las viguetas.

### **Paso 10: desmolde**

Al siguiente día (24 hrs.) Del vaciado, se procede al desmolde de las viguetas en época de verano, para el resto del año, se desmolda en 2 días. Esto se hace manualmente utilizando para ello una tabla o un tubo, haciendo palanca sobre las otras viguetas. Se van despegando de varios puntos, hasta que se desprenden totalmente.



**Fot.24. Desmolde de las viguetas**

### **Paso 11: acarreo**

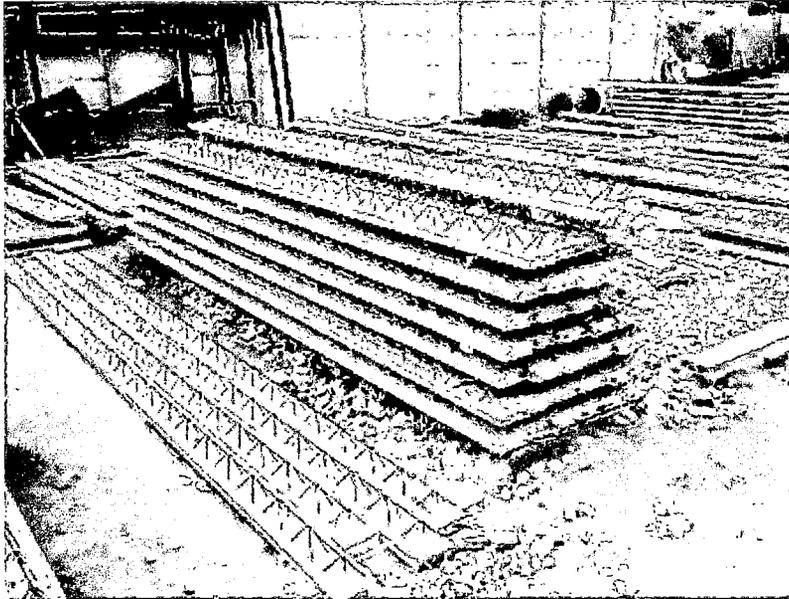
Ya que se ha desmoldado, la vigueta se retira y se lleva a las pilas del almacén de producto terminado de acuerdo a la ubicación y tamaño de cada vigueta. Se puede hacer en forma manual.



**Fot.25. Acarreo de las viguetas**

## **Paso 12: almacenamiento**

Las viguetas se apilan unas sobre otras, hasta un máximo de 8 estibas, colocando entre ellas tablas de apoyo a los tercios del claro. Deberán permanecer almacenadas un mínimo de 7 días con el fin de que el concreto alcance la resistencia necesaria para proceder al montaje en la obra.



**Fot.26. Almacenamiento de las viguetas**

### **2.3. Bovedillas FIRTH**

#### **2.3.1. Normas Aplicables**

##### **2.3.1.1. Norma 331.017.2003 Unidades de Albañilería. Ladrillos usados en albañilería**

Resumen: Establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos de arcilla destinados para el uso de albañilería estructural y no estructural, donde la apariencia externa no es un requerimiento.

##### **2.3.1.2. Norma 331.040.2006 Unidades de Albañilería. Ladrillo hueco**

---

## **cerámico para techos y entrepisos aligerados**

Resumen: Establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos huecos de arcilla a ser usados en losas aligeradas de la losa y entrepiso.

### **2.3.1.2.1. Ladrillo hueco cerámico para techos y entrepisos aligerados**

Es la unidad de albañilería fabricada de arcilla, esquistos arcillosos, sustancias terrosas; conformada mediante moldes, prensado o extrusión y sometida a un tratamiento de calor, a temperaturas elevadas (quema), para ser utilizadas en losas aligeradas de losa.

Requisitos físicos (Resistencia mínima a la flexotracción en daN/cm<sup>2</sup>)

$$R_{\text{prom}} = 2.2$$

$$R_{\text{mín}} = 2.0$$

### **Cuadro #9: Dimensiones y variaciones permisibles**

Alto	Ancho	Largo	Variación
10, 12, 15, 20, 25, 30	30	30,33,40	+/- 2%

### **2.3.1.3. Norma 339.613.2005 Unidades de albañilería. Métodos de muestreo y ensayos de ladrillos de arcilla usados en albañilería**

Resumen: Establece los procedimientos para el muestreo y ensayo de los ladrillos de arcilla cocida, utilizados en albañilería

#### **a. Módulo de Rotura (Ensayo de flexión)**

Se realizará con una muestra secada al horno durante no menos de 24 horas y a 110 C.

#### **Procedimiento**

- Apoye el espécimen de prueba en su mayor dimensión de manera que la carga

---

se aplique en la dirección del espesor de la unidad en un tramo no menor que la longitud de la unidad menos 2.5 mm y cargado en el centro del tramo.

- Aplique la carga en la superficie superior del espécimen a través de una plancha de acero de 6mm de espesor y 40 mm de ancho, y de una longitud de por lo menos igual al ancho de espécimen.
- Los apoyos del espécimen de ensayo deberán estar libres para rotar en las direcciones longitudinal y transversal y se deberán ajustar de manera tal que ejerzan fuerza alguna en esas direcciones.
- La velocidad de aplicación de la carga no deberá exceder de 8896N/min. Se considera satisfecho si la velocidad del cabezal móvil de la máquina de ensayo, no es mayor a 1.27mm/min, contado inmediatamente de aplicada la carga.

#### Cálculo y Resultados

El módulo de rotura de c/espécimen se calcula con la expresión que se indica a continuación, con aproximación de 0.01 Mpa.

$$S=3w(L/2-x)/bd^2$$

Donde:

S, Módulo de rotura del espécimen en el plano de falla (Pa)

w, Carga máxima aplicada con la máquina de prueba (N)

L, Distancia entre apoyos (mm)

b, Ancho Neto (cara a cara menos los huecos del espécimen en el plano de falla (mm)

d, Espesor del espécimen en el plano de falla (mm)

x, Distancia promedio desde el centro del espécimen hacia el plano de falla, medido en la dirección del plano a lo largo de la línea central de la superficie sometida a tensión (mm)

#### 2.3.2. Especificaciones Técnicas

Se admitirá una tolerancia de +/- 2% de las dimensiones nominales. Los ladrillos ensayados a la flexotracción según la *Norma Técnica Itintec 331.018* deberán

cumplir los siguientes valores:

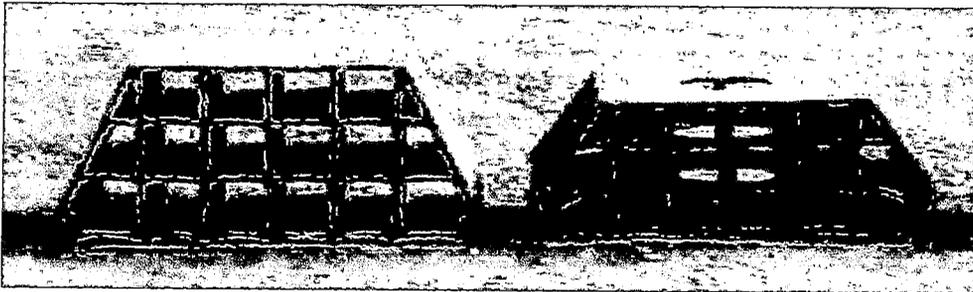
H=15 cm

H=12 cm



H=25 cm

H=20 cm



Fot.27. Vista transversal de la Bovedillas FIRTH

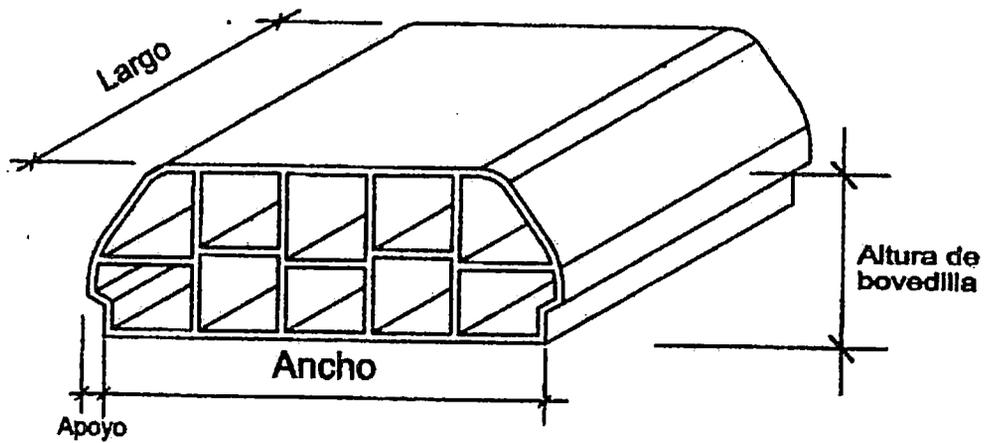


Fig. 13. Detalle de la Bovedillas FIRTH

**Cuadro #10: Características de las bovedillas firth**

alt.de losa (cm)	altura de bov. (cm)	ancho (cm)	apoyos (cm)	largo (cm)	peso máximo (cm)	volumen (m3)
17 a 60	12	49	1.74	20	9.3	0.012
17 a 50	12	39	1.74	25	9.1	0.012
20 a 50	15	39	1.74	25	10.6	0.014
20 a 60	15	49	1.74	20	11	0.014
25 a 50	20	39	1.74	25	12.65	0.019
25 a 60	20	49	1.74	20	12.8	0.019
30 a 50	25	39	1.74	25	13.8	0.024

*Fuente: Manual de Viguetas Prefabricadas (Firth)*

## 2.4. Bovedillas TODOCEMENTO

### 2.4.1. Normas Aplicables (Ver Capítulo 2, 3.1)

Las normas aplicables son las mismas normas usadas en las bovedillas Firth y se encuentran explicadas en el capítulo II, 3.1

### 2.4.2. Especificaciones Técnicas

Las bovedillas son bloques de concreto, cerámico o de otro material, que de forma adecuada que se sitúa entre los nervios que han de formar la losa de un piso.

Los ladrillos cumplen con los requisitos especificados en:

a.- *Norma Técnica Peruana Itintec 331.017* en cuanto a lo que se refiere a materia prima.

b.- *Norma Itintec 331.040* para techos y entrepisos aligerados.

Bloques de arcilla cocida, también denominadas bovedillas, son fabricados en 3 diferentes alturas para los diferentes tipos de losas aligeradas.

**Cuadro #11: Detalle de las bovedillas TC**

Losa (cm)	Altura (cm)	Ancho (cm)	Fondo (cm)	Peso (Ka.)	Rendimiento (und. / m <sup>2</sup> )
17	12	50	25	8.00	6.67
20	15	40	25	12.00	8.00
25	20	40	25	10.40	8.00

## 2.5. Bandejas TODOCEMENTO

### 2.5.1. Normas Aplicables

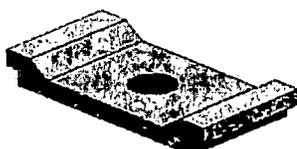
No hay una normatividad para este tipo de elementos, aunque debido a su uso, se podrían aplicar ciertos puntos de la norma para ladrillos de techo, con la salvedad que estas bandejas no están expuestas a soportar más que el peso de las instalaciones y los golpes por manipuleo.

### 2.5.2. Especificaciones Técnicas

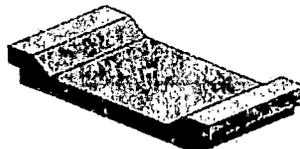
El Sistema Losa-Fast® incluye bandejas de concreto para instalaciones eléctricas, sanitarias y estructurales las cuales encajan perfectamente entre las viguetas prefabricadas

**Cuadro #12: Tipos de bandejas TC**

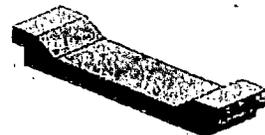
Tipo de Bandeja	Losa (cm)	Altura (cm)	Ancho (cm)	Fondo (cm)
Eléctrica y Sanitaria	17 y 25	4	50 y 40	20
Estructural	17 y 25	4	50 y 40	10 y 10



Bandeja Eléctrica



Bandeja Sanitaria



Bandeja Estructural

**Fig. 14. Tipos de bandejas TC**

### **2.5.3. Producción**

#### **Paso 1: Limpieza de Moldes y aplicación de desmoldante**

Los moldes se deben lijar y luego se debe aplicar una capa de desmoldante antes del vaciado para facilitar el desmolde una vez que las bandejas hayan fraguado.

#### **Paso 2: Armadura**

Debido al tamaño de la bovedilla y al trabajo que va a realizar, se utilizan los fierros sobrantes de la producción (de aprox. 5 cm menos de la longitud de apoyo de la bovedilla). Cabe resaltar que esta bandeja, debido al uso de fierro, es más resistente a la flexión que cualquiera de las bovedillas de arcilla.

#### **Paso 3: Fabricación del concreto**

Se realiza en trompo y se emplea una resistencia de 280 kg/cm<sup>2</sup>

#### **Paso 4: Vaciado del concreto**

El concreto es transportado en carretilla y se vacía en los moldes, se inicia en un extremo del molde hasta el otro extremo, luego se colocan los separadores y finalmente las armaduras.

#### **Paso 5: Enrasado**

Con la ayuda de una regla de madera se procede a enrasar los moldes

#### **Paso 6: Curado**

El curado se realiza con agua, y se repite tantas veces como sea necesario, dependiendo de las condiciones climáticas.

### **Paso 7: desmolde**

El desmolde usualmente se realiza luego de 24 horas de haber sido vaciadas, y se espera 48 horas más antes de ser despachadas.

### **Paso 8: Acarreo y almacenamiento**

Se retiran las bandejas y se almacenan de manera inversa a la colocación y en forma entrecruzada (igual al almacenamiento de los ladrillos)

## CAPÍTULO III.- ANÁLISIS DEL SISTEMA DE LOSA ALIGERADA CONVENCIONAL

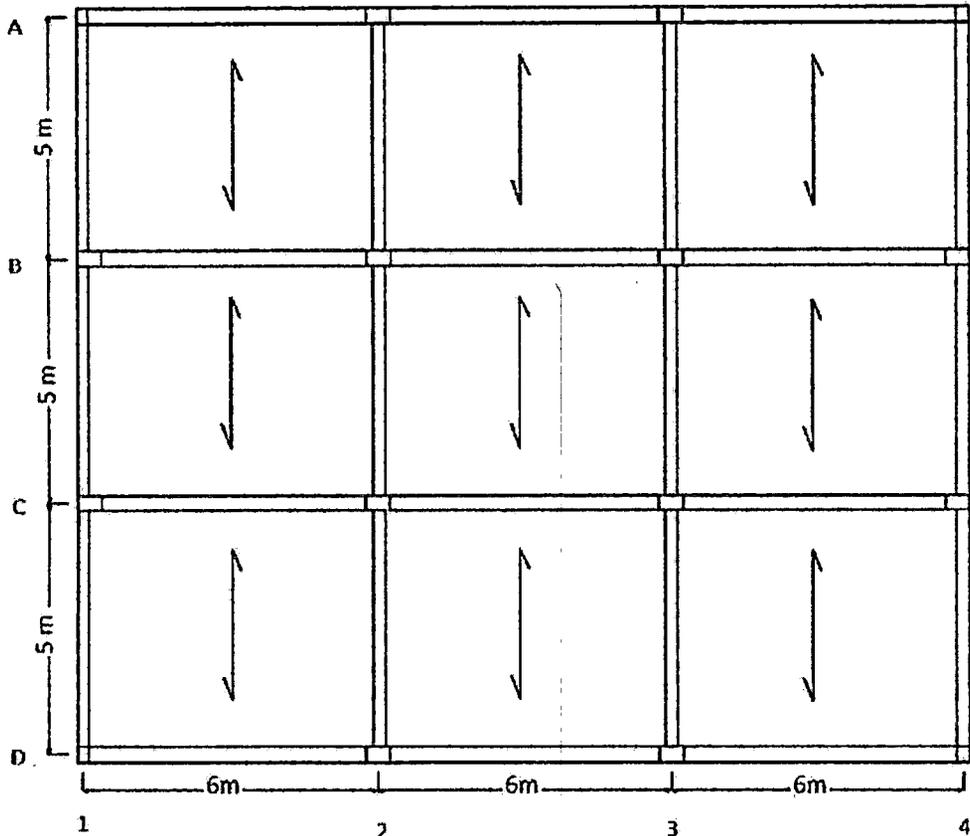


Fig. 15. Plano de losa típico

### PLANTA DE LOSA TIPICA

#### 3.1. Calculo

Se recomienda tomar los siguientes valores de espesor de la losa ( $h$ ) para no verificar deflexiones:

$$L/25 < h < L/20 \quad 5/25 < h < 5/20 \quad h=0.20 \text{ cm o } h=0.25 \text{ cm}$$

Donde

$h$  = peralte total de la losa

$L$  = luz libre entre apoyos de la losa aligerada

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOSAS ALIGERADAS UTILIZANDO VIGUETAS PREFABRICADAS FIRTH, VIGUETAS ARMADAS TODOCEMENTO Y VIGUETAS VACIADAS EN OBRA

La losa aligerada unidireccional se armará (sentido en el cual están dirigidas las viguetas) en el sentido de la menor longitud entre los apoyos del ambiente por techar.

Pero cuando las luces son relativamente semejantes ( $L1 ; L2$ ), o cuando  $L1 > 5 m$ , se recomienda colocar perpendicularmente al armado, en la zona central de la losa, una doble vigueta (dos viguetas juntas), cuyo objetivo es proporcionar rigidez torsional a las viguetas principales y también "coser" una posible fisura que puede formarse en la zona de contacto vigueta bloque por flexión en el sentido ortogonal al armado, esta vigueta no actúa como apoyo del aligerado.

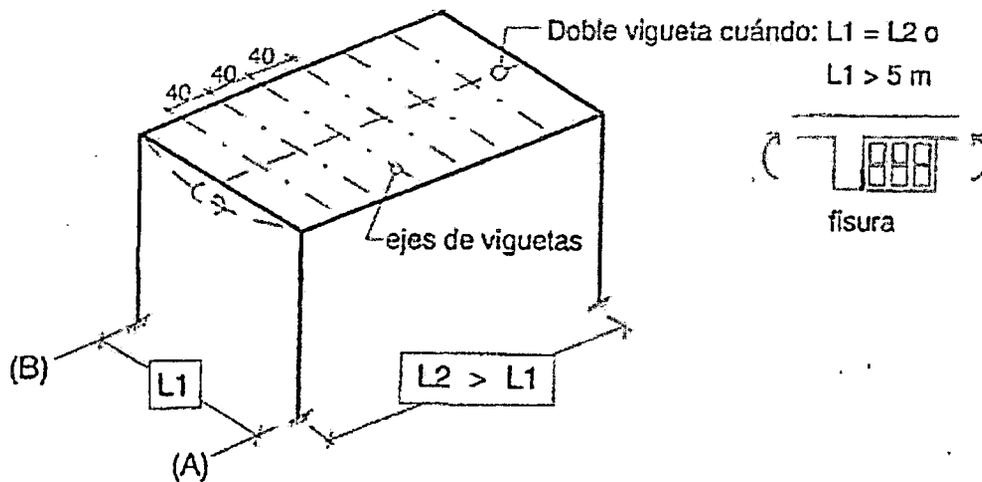


Fig. 16. Esquema de losa Aligerada

Se debe tener presente que las viguetas no llevan refuerzo por corte (estribos), debiendo entonces el concreto absorber íntegramente la fuerza cortante.

Metrado de cargas para determinar  $W_u$ :

### Carga Permanente

P.P. Losa Aligerada:  $0.35 t/m^2 \times 0.40 m/vigueta = 0.14 t/m$

Tabiquería :  $0.10 t/m^2 \times 0.40 m/vigueta = 0.04 t/m$

P.Acabados :  $0.10 t/m^2 \times 0.40 m/vigueta = 0.14 t/m$

**Wd= 0.22 t/m**

**Cargas Vivas o Sobrecarga (WI)**

S/C : 0.30 t/m<sup>2</sup> x 0.4 m/vigueta = 0.12 t/m<sup>2</sup>

**WI=0.12 t/m<sup>2</sup>**

Se tiene:

Nivel	h (m)	Wd (t/m)	WI (t/m)
Piso Típico	0.25	0.22	0.12

**Combinación de Cargas:**

**Wu= 1.5 Wd + 1.8 WI**

**Momentos máximos resistentes en la sección**

b= 40 cm

d=22 cm

f'c= 280 kg/cm<sup>2</sup>

f<sub>y</sub>= 4200 kg/cm<sup>2</sup>

Se hace uso de las sgts. expresiones:

$$M_{to\ max} = \Phi f'c b d^2 \omega (1 - 0.59\omega) \dots\dots\dots (1)$$

$$\omega_{\max} = \rho_{\max} \frac{f_y}{f'c} \dots\dots\dots (2)$$

$$\rho_{\max} = 0.50 \rho_b \dots\dots\dots (3)$$

$$\rho_b = 0.85 \beta_1 \frac{f'c}{f_y} \frac{6000}{(6000 + f_y)} \dots\dots\dots (4)$$

Reemplazando se obtiene

$$\rho_b = 0.0283;$$

$$\rho_{max} = 0.50 \times 0.0283 = 0.01415$$

$$\omega_{sist} = 0.01415 \times \frac{4200}{280} = 0.212$$

Luego se tiene de la ecuación 1:

$$M_{to_{máx.}} = 0.9 \times 0.28 \frac{t}{cm^2} \times 0.40m \times (22 \text{ cm})^2 \times 0.212 \times (1 - 0.59 \times 0.212) = 9.0491 \text{ t-m}$$

$$\rightarrow M_{to_{máx.}} = 9.05 \text{ t-m}$$

Para el momento negativo

$$M_{to_{mín.}} = 0.9 \times 0.28 \frac{t}{cm^2} \times 0.10m \times (22 \text{ cm})^2 \times 0.212 \times (1 - 0.59 \times 0.212) = 2.2622 \text{ t-m}$$

$$\rightarrow M_{to_{mín.}} = 2.26 \text{ t-m}$$

### Corte Máximo en la sección de losa aligerada

El esfuerzo cortante máximo que puede tomar el concreto en una vigueta es:

$$V_c = V_r = \phi \times 1.1 \times 0.53 \sqrt{f'c} b_w d$$

$$V_c = 0.85 \times 1.1 \times 0.53 \sqrt{280} \times 0.10m \times 0.22m = 1.82 \text{ t}$$

Verificando:

$$W_u = 1.5 * W_D + 1.8 * W_L$$

$$W_u = 1.5 * 0.22 + 1.8 * 0.12 = 0.546 \text{ t/m}$$

### Fuerza cortante máxima en la cara de apoyo:

$$V_u = 1.15 \left( \frac{W_u \times l_n}{2} \right)$$

$$V_u = 1.15 \left( \frac{0.546 \times 4.675}{2} \right) = 1.4677 \text{ t} \quad \rightarrow \quad V_u = 1.47 \text{ t}$$

Luego como  $V_c = 1.82 \text{ t}$  es mayor que  $V_u = 1.47 \text{ t}$ , entonces no se necesita ensanche de viguetas.

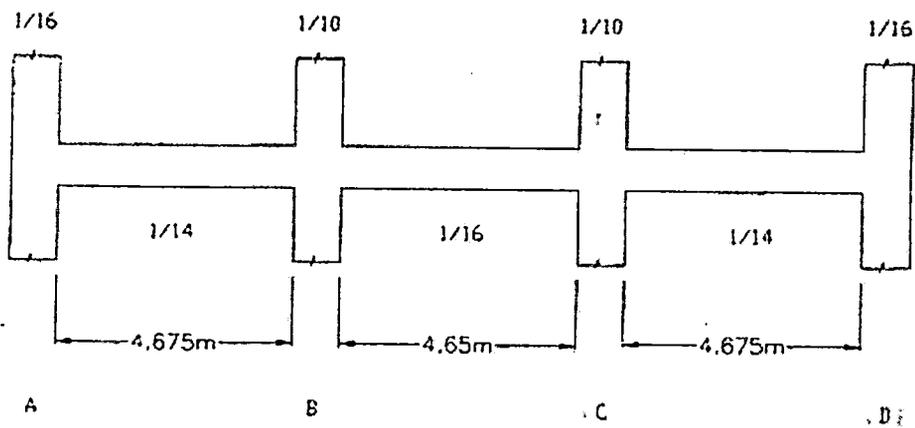
### Calculo de los momentos de diseño

Se usará los coeficientes de diseño del ACI para calcular los momentos:

Determinación de la carga última para la losa.

$$W_u = 1.5W_d + 1.8W_l = 1.5 \times 0.22 + 1.8 \times 0.12 = 0.546 \text{ t/m}$$

Luego:



$$M_A^- = M_D^- = \frac{1}{16} W_u l_n^2 = \frac{1}{16} (0.546) x 4.675^2 = 0.745 \text{ t-m}$$

$$\rightarrow M_A^- = M_D^- = 0.75 \text{ t-m}$$

$$M_B^- = M_C^- = \frac{1}{10} W_u l_n^2 = \frac{1}{10} (0.546) x 4.6625^2 = 1.186 \text{ t-m}$$

$$\rightarrow M_B^- = M_C^- = 1.19 \text{ t-m}$$

$$M_{AB}^+ = M_{CD}^+ = \frac{1}{14} W_u l_n^2 = \frac{1}{14} (0.546) x 4.675^2 = 0.852 \text{ t-m}$$

$$\rightarrow M_{AB}^+ = M_{CD}^+ = 0.85 \text{ t-m}$$

$$M_{BC}^+ = \frac{1}{16} W_u l_n^2 = \frac{1}{16} (0.546) x 4.675^2 = 0.745 \text{ t-m}$$

$$\rightarrow M_{BC}^+ = 0.75 \text{ t-m}$$

### Calculo del refuerzo:

Se usa:

$$A_{s(1)} = \frac{M_u}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)} \dots \dots (1)$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} \dots \dots (2)$$

Se parte el valor de "a" en d/5

M(t-m)	d(m)	b(cm)	As(cm <sup>2</sup> )	a(cm)	Acero
-0.75	0.22	10	1.00208	1.76837	1/2"
			0.93964	1.65818	
			0.93719	1.65386	
			0.93709	1.65368	
			0.93709	1.65368	
-0.75	0.22	10	1.00208	1.76837	1/2"
			0.93964	1.65818	
			0.93719	1.65386	
			0.93709	1.65368	
			0.93709	1.65368	
-0.75	0.22	10	1.00208	1.76837	1/2"
			0.93964	1.65818	
			0.93719	1.65386	
			0.93709	1.65368	
			0.93709	1.65368	
-0.75	0.22	10	1.00208	1.76837	1/2"
			0.93964	1.65818	
			0.93719	1.65386	
			0.93709	1.65368	
			0.93709	1.65368	

### Refuerzo por Contracción y Temperatura

$$A_{st} = 0.0018 \times b \times t$$

Donde:

b es el ancho de la losa

t es el peralte de la losa

Para una losa de espesor 5 cm y de ancho 1 m se tiene:

$$A_{st} = 0.0018 \times 100 \times 5 = 0.90 \text{ cm}^2$$

$$s \leq 5t = 5 \times 5 = 25 \text{ cm}$$

$$s \leq 45$$

Por lo tanto usar  $\phi 1/4'' @ 0.25 \text{ m}$

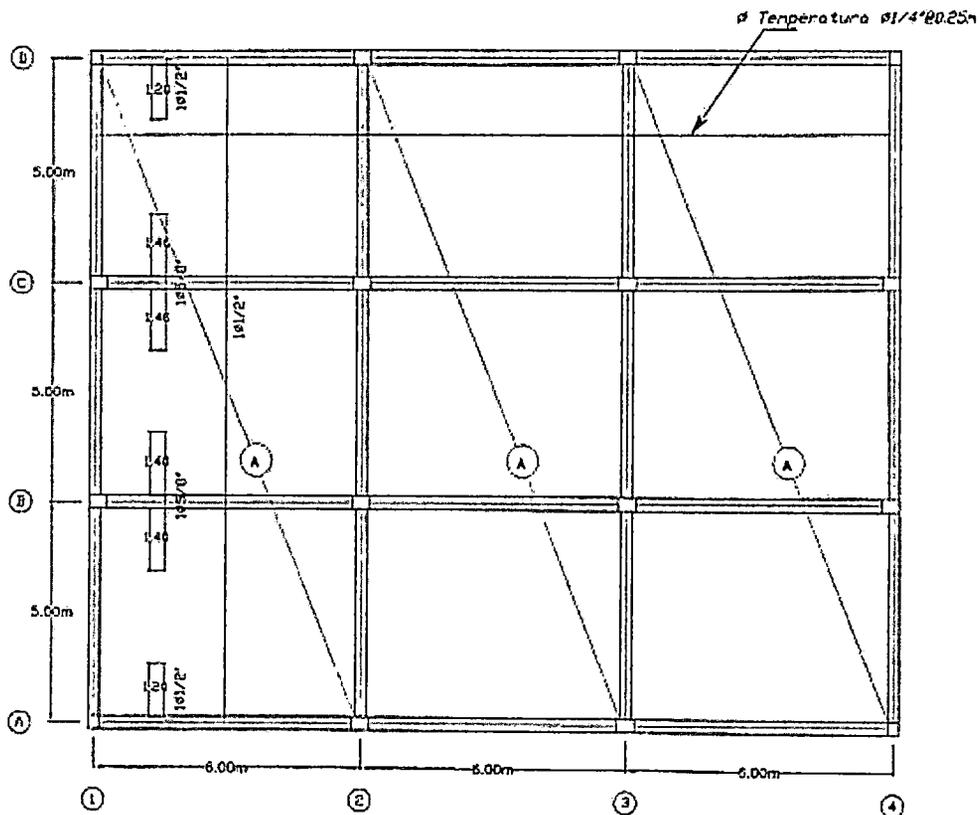


Fig. 17. Losa aligerada piso típico

### 3.2. Control de calidad antes de la ejecución de la losa

Se deberá verificar la calidad de todos los componentes citados en el proceso constructivo tales como el correcto fijado de las soleras, fondo de vigas, frisos, la colocación del fierro en las viguetas y fierro de temperatura y finalmente el correcto vaciado y curado de la losa(Ver Capítulo III, 3)

### 3.3. Durante la ejecución

#### 3.3.1. Proceso constructivo

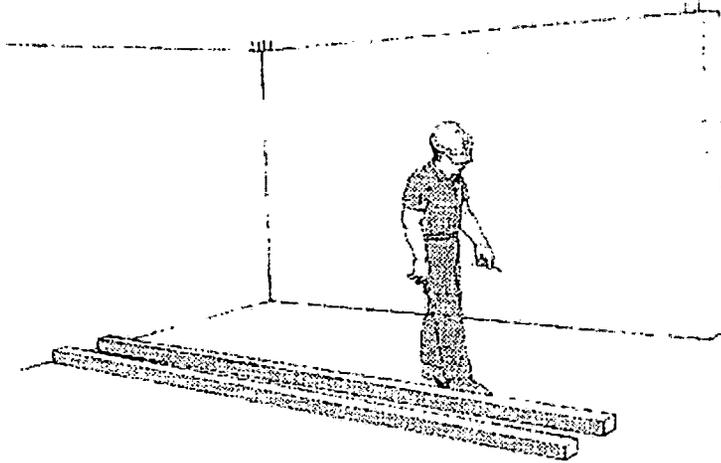
##### a. FIJAR SOLERAS

Operación que tiene la finalidad de fijar cuarterones en posición horizontal sobre los pies derechos para apoyar tableros en fondos de encofrados.

## PROCESO DE EJECUCIÓN

1. Presente las soleras en el piso.

Comprobando, a simple vista, que sus cantos estén rectos



**Fig. 18. Soleras**

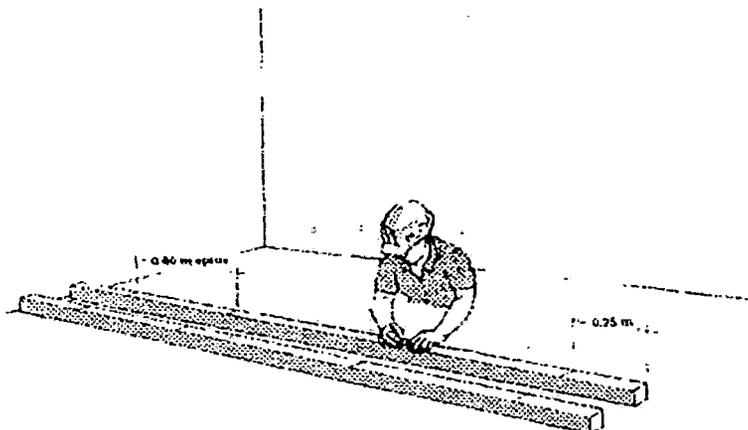
### NOTA:

En caso que la solera se encuentre ligeramente alabeada, fijarla con la parte alabeada hacia arriba.

2. Señale la ubicación de los pies derechos, en las soleras

Marcando en una de las caras los lugares donde se colocaran.

Teniendo presente que los pies derechos exteriores se colocaran a 25 centímetros de los extremos de la solera.

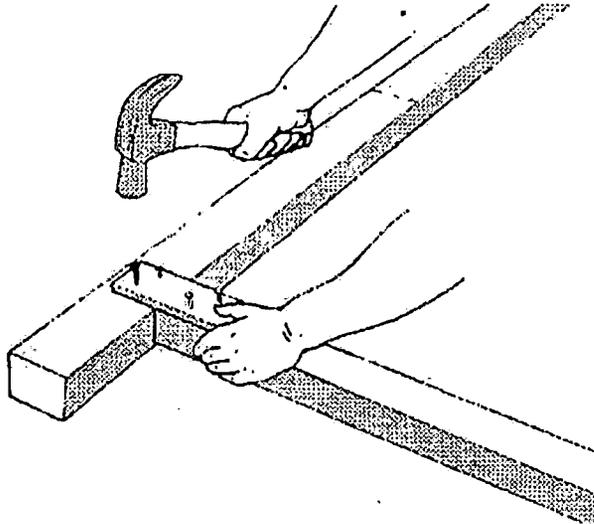


**Fig. 19. Marcado de las soleras**

3. Fije los pies derechos de los extremo

Clavando la oreja a la solera, sobre las marcas hechas en el punto 2. dejando fuera la cabeza de los clavos.

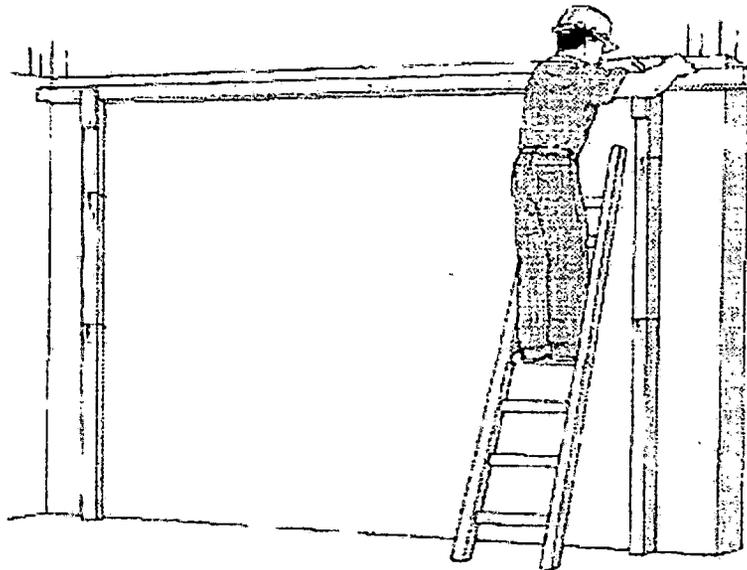
Verificando que los pies derechos queden perpendiculares a la solera.



**Fig. 20. Fijado de los pies derechos**

4. Coloque la solera en la posición que ocupará.

Levantando los pies derechos hasta que queden verticales, la solera quedara horizontal a la altura requerida. Asegurando el conjunto (pies derechos, soleras) con listones, tablas o alambres fijados a los muros.

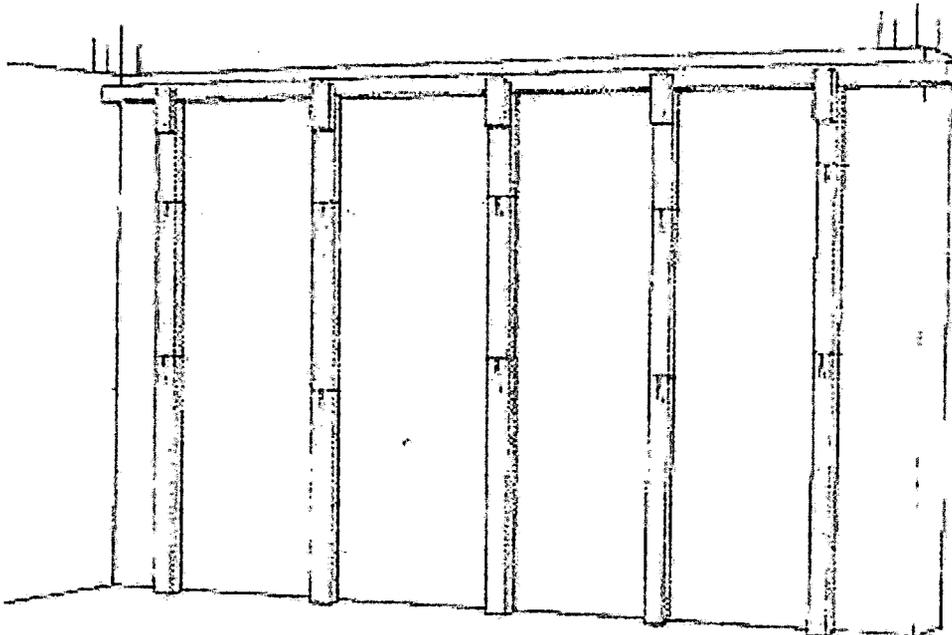


**Fig. 21. Colocación de la solera**

5. Coloque la solera en el otro extremo, seguir paso 4.

6. Fije el resto de pies derechos

Clavando las orejas a la solera, sobre las marcas hechas en el punto 2, presionando el pie derecho, hacia arriba, contra la solera.



**Fig. 22. Fijado de pies derechos**

**OBSERVACIONES:**

Las soleras intermedias se fijarán a las tablas colocadas entre los dos extremos. Se colocaran cuñas para alcanzar la altura requerida. En ambientes con más de 3 metros de luz, La solera del centro se levantara de acuerdo a la contraflecha .

## b. FIJAR FONDO DE VIGUETAS

Operación que tiene la finalidad de fijar tablas sobre soleras las que servirán para soportar ladrillos huecos, armadura y concreto fresco.

### PROCESO DE EJECUCIÓN

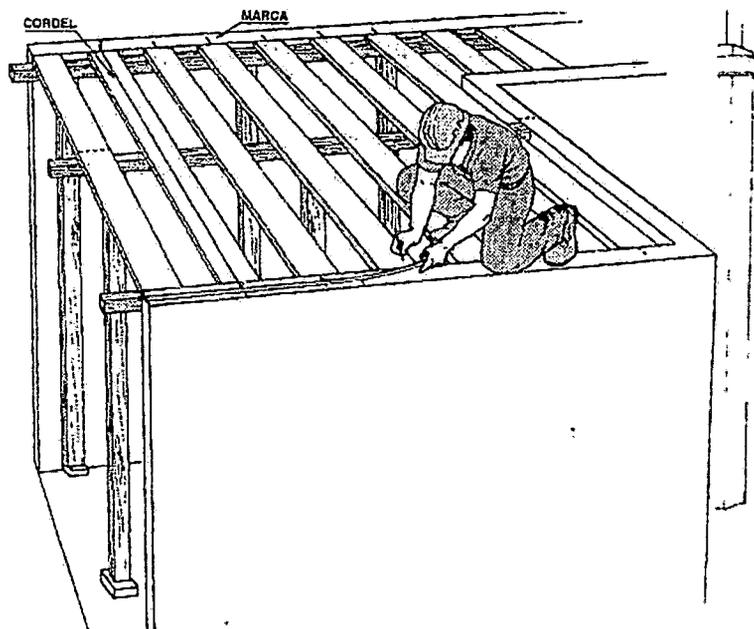
#### 1. Marque los ejes de viguetas.

Sobre los muros o al costado de las vigas.

Midiendo a partir de uno de los extremos primero 35 cm., luego 40 cm.

Repitiendo las medidas en el muro o viga opuesta.

Uniendo las marcas, correspondientes, con un cordel.



**Fig. 23. Marcado de los ejes de las viguetas**

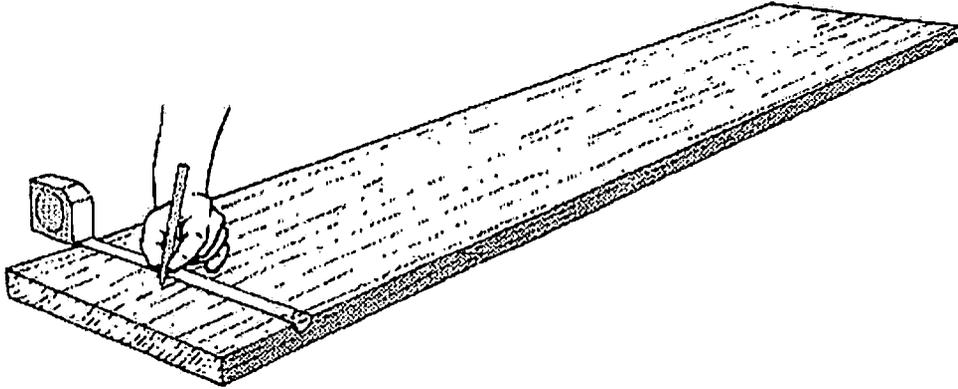
#### OBSERVACIONES:

Si al concluir el marcado de los ejes de viguetas quedará una dimensión inferior a 35 cm. Se colocara una tabla.

Al fijar los ejes de viguetas, tenga en cuenta las vigas chatas, en caso de existir.

2. Trace el eje longitudinal de la tabla.

- Dividiendo el ancho en dos partes iguales, en ambos extremos
- Uniendo con una línea recta las marcas hechas.



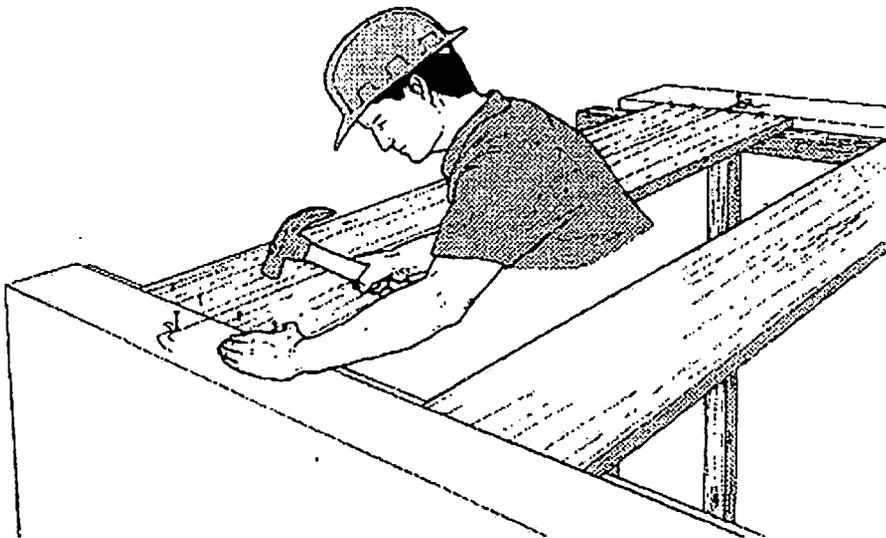
**Fig. 24. Trazado del eje longitudinal de la tabla**

3. Clave la tabla a la solera.

Iniciando en uno de los extremos.

Haciendo coincidir el eje de la tabla, con el cordel, colocado en el paso 1

Dejando la cabeza del clavo fuera.



**Fig. 25. Clavado de la tabla a la solera**

**OBSERVACIÓN:**

En ambientes con más de 3 ms. de luz, se deberá considerar contraflecha.

### c. ARRIOSTRAR PIES DERECHOS

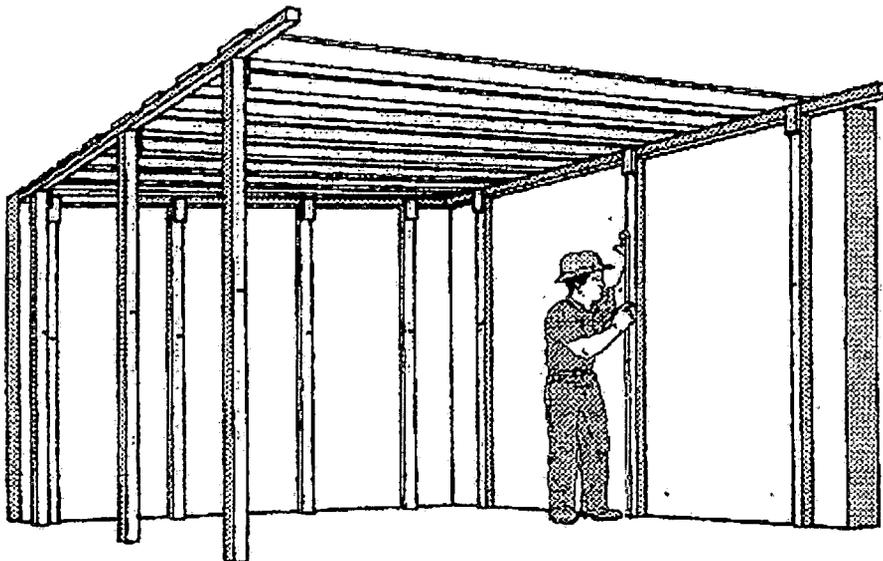
Operación que tiene la finalidad de unir con tablas horizontales los pies derechos, para dar mayor estabilidad y solidez a los encofrados.

#### PROCESO DE EJECUCIÓN

1. Ubique la altura de arriostre.

Midiendo a partir del piso y marcando sobre los pies derechos.

Teniendo en cuenta la longitud del pie derecho y el peso que soportará, debiendo quedar aproximadamente en el tercio central.



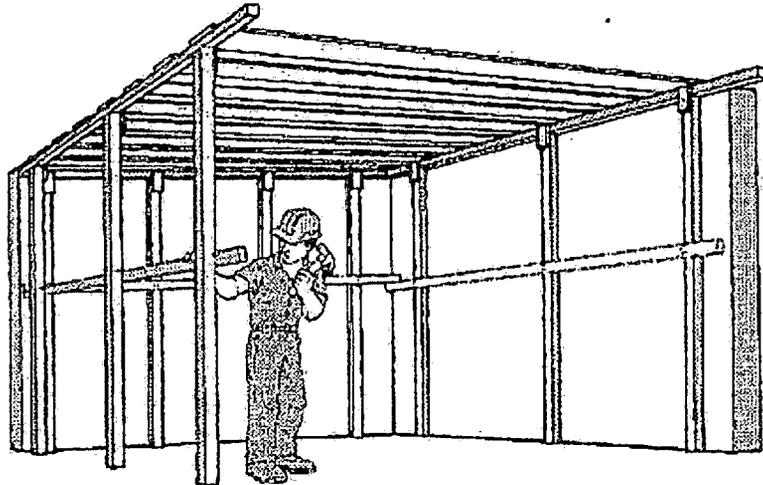
**Fig. 26. Ubicación de la altura del arriostre**

2. Clave tablas una a continuación de otra.

Haciendo coincidir uno de sus cantos con las marcas y topando con los muros si hubiera. Dejando fuera la cabeza del clavo

NOTA:

El arriostramiento de pies derechos también se realiza usando tablas inclinadas, para lo cual se fija la tabla en la parte inferior y superior de los pies derechos, en forma alternada



**Fig. 27. Clavado de tablas de arriostre**

#### **d. FIJAR FRISOS**

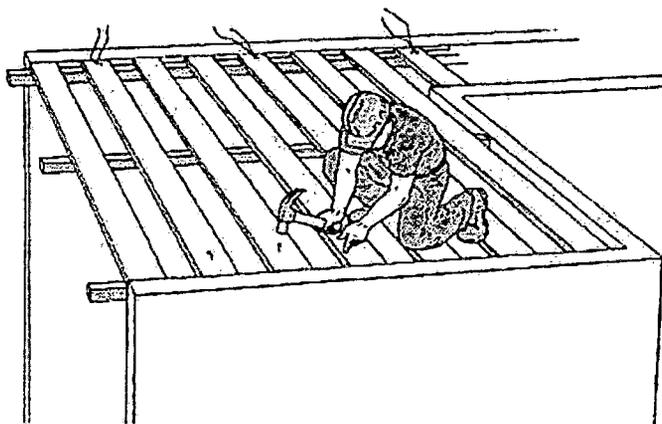
Operación que tiene la finalidad de fijar tablas o tablonces de canto en forma horizontal, en los encofrados de losas y/o vigas, para contener el concreto fresco.

#### **PROCESO DE EJECUCIÓN**

1. Fije alambre N° 16 a la tabla (vigüeta) que soportará la losa.

Introduciendo un clavo, los 2/3 de su longitud, aproximadamente, a 10 cm. de la parte interior del muro.

Doblando el alambre por la mitad, dando una vuelta en el clavo que debe ser doblado en sentido contrario al friso.



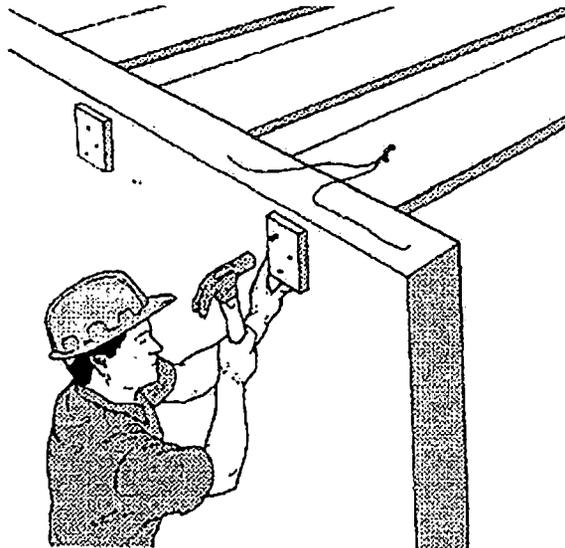
**Fig. 28. Fijado de Frisos**

2. Coloque tacos.

En la parte superior y posterior del muro separados 1.20 ms, aproximadamente.

Verificando que los tacos sean del mismo espesor que el friso.

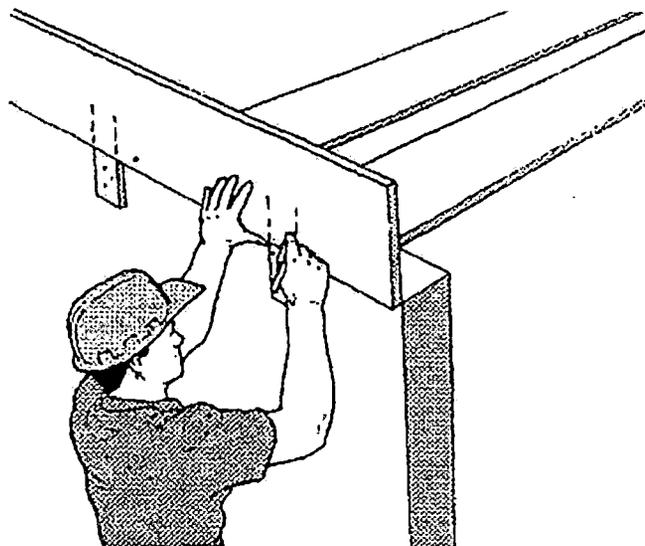
Clavándolos a 1 cm. debajo de la arista superior del muro, aproximadamente.



**Fig. 29. Colocación de tacos**

3. Presente la tabla o friso, sobre los tacos.

- Marcando la ubicación de los tacos en la parte inferior de la tabla.

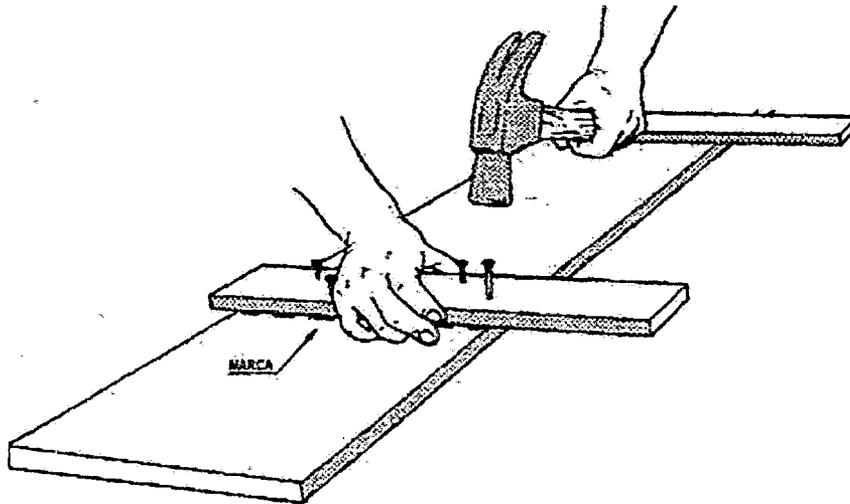


**Fig. 30. Marcado de la ubicación de los tacos**

4. Clave chapas en el friso.

Sobre las marcas efectuadas en el punto 3.

Fijándolas con clavos, cuidando que sobresalgan del canto una longitud igual a la altura de los tacos fijados en el muro. Dejando fuera la cabeza de los clavos.



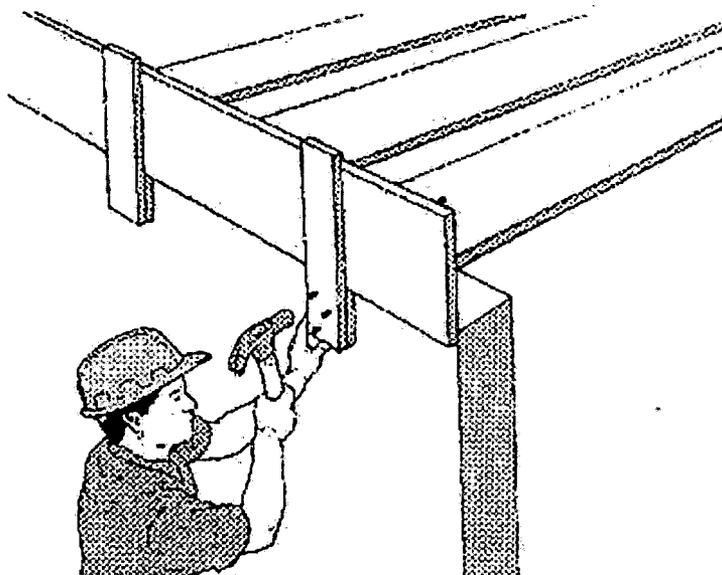
**Fig. 31. Clavado de chapas en el friso**

5. Fije el friso a los tacos.

Colocando la tabla sobre los tacos haciendo coincidir con las chapas.

Dejando una de las puntas del alambre debajo del canto de la tabla.

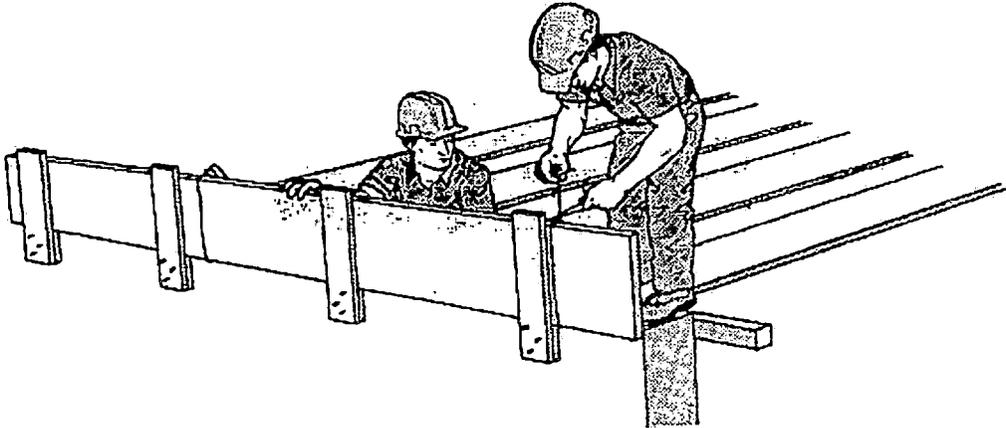
Clavando chapas a los tacos.



**Fig. 32. Fijado de los frisos**

6. Amarre el alambre.

Abrazándolo a la tabla, comprobando su verticalidad. Tensando el alambre.



**Fig. 33. Amarre del alambre a la tabla**

**OBSERVACIÓN:**

Otra manera de asegurar el friso es el siguiente:

Clave el barrote sobre la tabla separados unos 70 cm.

Clave tacos en la parte inferior del barrote a unos 15 cm. Retirado de la tabla.

Presente el tablero, pasando los alambres a ras del muro y asegurándolos sobre los barros.

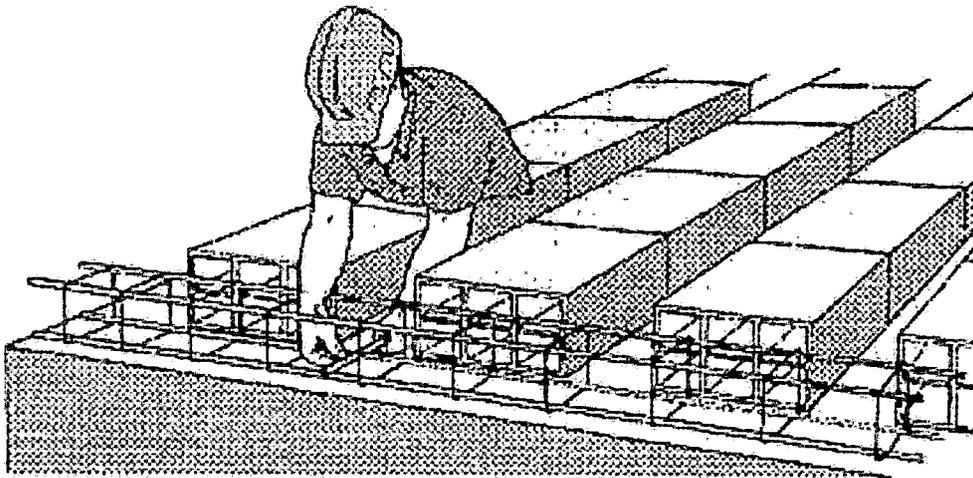
### e. COLOCAR FIERRO EN VIGUETAS

Operación que tiene la finalidad de colocar los fierros de las viguetas de una losa aligerada, de acuerdo a las especificaciones técnicas indicadas en los planos. Se realiza usando el tortol, alambre N° 16 y se utiliza una wincha o metro.

#### PROCESO DE EJECUCIÓN

##### 1. Coloque los fierros positivos

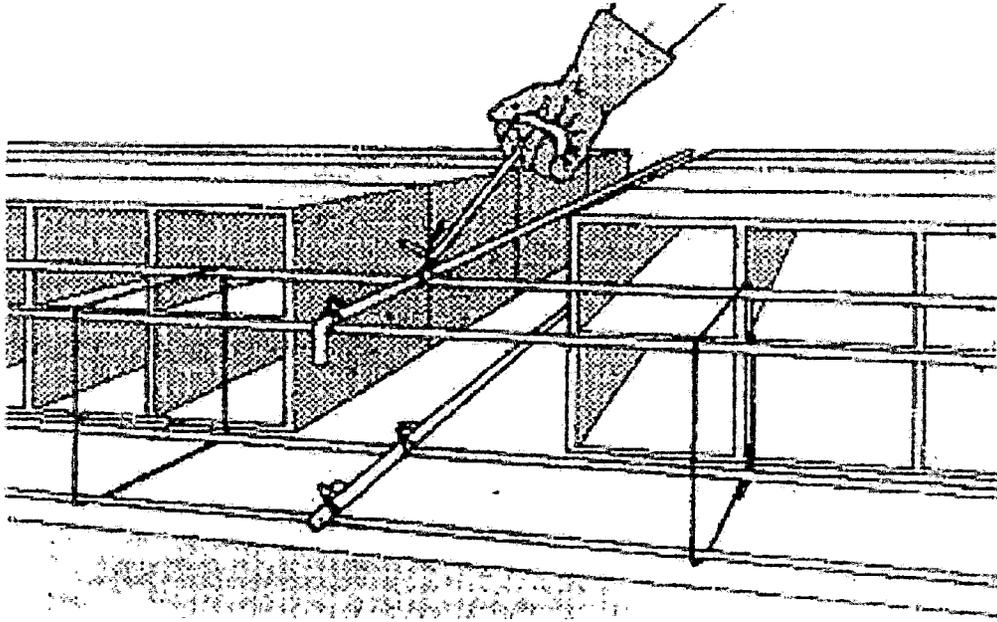
Apoyándolos en los fierros positivos de las vigas o sobre los muros portantes. Colocando dados de concreto.



**Fig. 34. Colocación de los fierros positivos**

NOTA: También se pueden utilizar separadores de plástico.

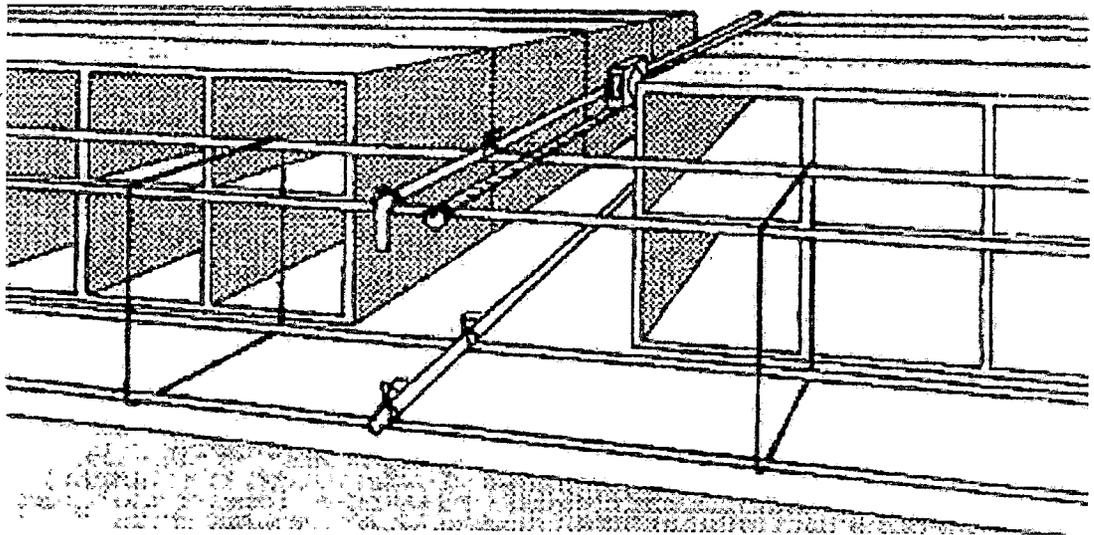
2. Coloque los fierros negativos. • Apoyándolos en los fierros negativos de las vigas centrándolos y amarrándolos a estos.



**Fig. 35. Colocación de los fierros negativos**

3. Verifique posición de fierros.

- Midiendo la distancia existente de la cara del apoyo a los extremos de los fierros, debe ser igual a la indicada en los planos.



**Fig. 36. Verificación de la posición de los fierros**

## f. ALINEAR LADRILLOS

Operación que consiste en colocar, sobre el encofrado de una losa aligerada, ladrillos huecos alineándolos con un cordel.

### PROCESO DE EJECUCIÓN

1. Ubique los ejes de las viguetas. • Sobre las tablas del encofrado.

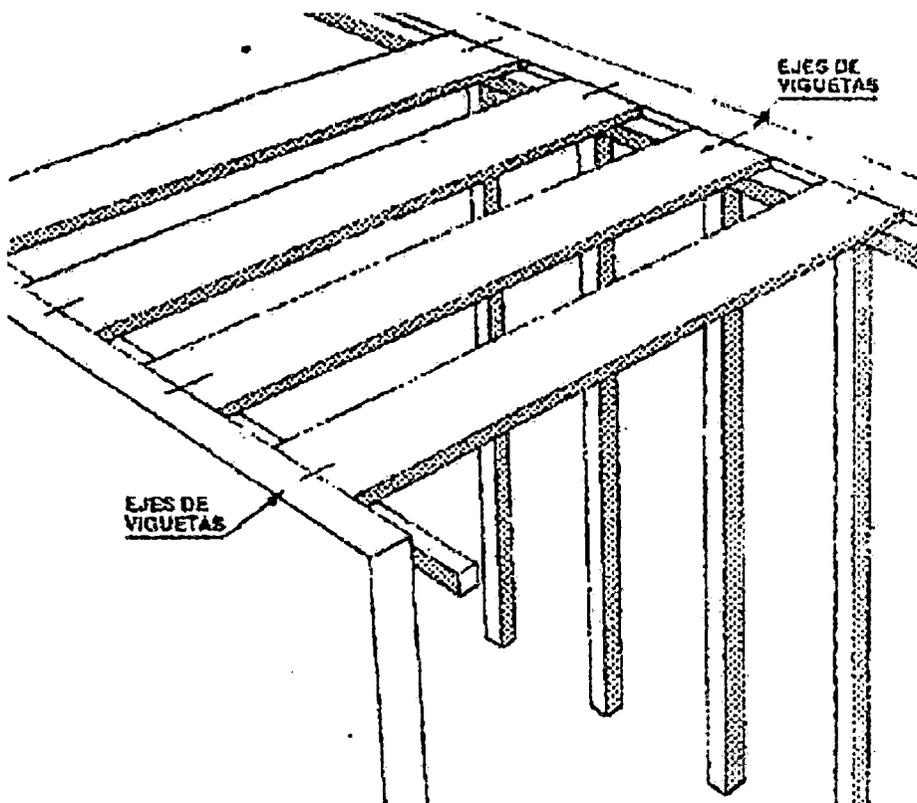


Fig. 37. Ubicación de los ejes de las viguetas

2. Mida y marque la mitad del ancho de una vigueta (5 cm). En los extremos de la tabla y a un mismo lado del eje.



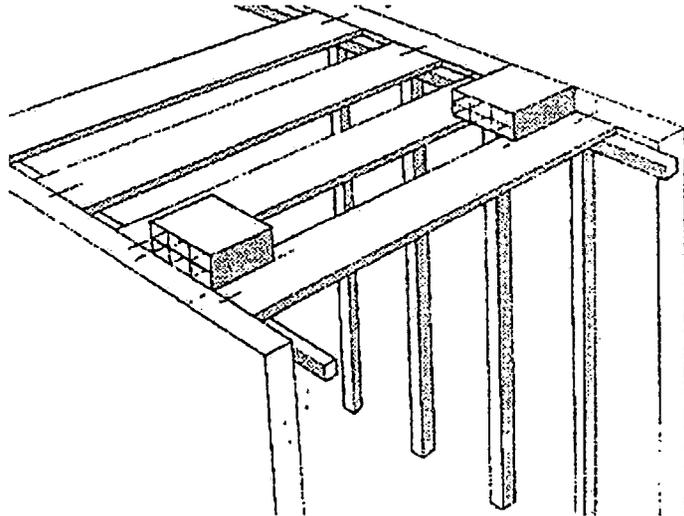
Fig. 38. Medición y marcado de la mitad del ancho de la vigueta

3. Coloque dos ladrillos huecos, en los extremos de la tabla.

Apoyándolos sobre dos tablas consecutivas.

Verificando que los huecos queden paralelos a las tablas.

Haciendo coincidir la cara exterior de los ladrillos, con las marcas hechas en el punto 2.

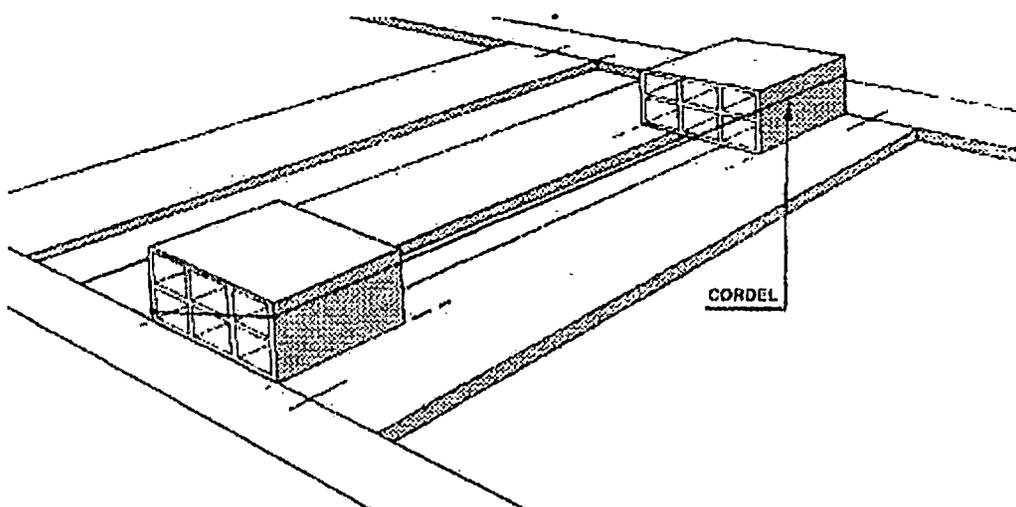


**Fig. 39. Colocación de los ladrillos guías**

NOTA: Taponear los huecos de los ladrillos que irán en los extremo

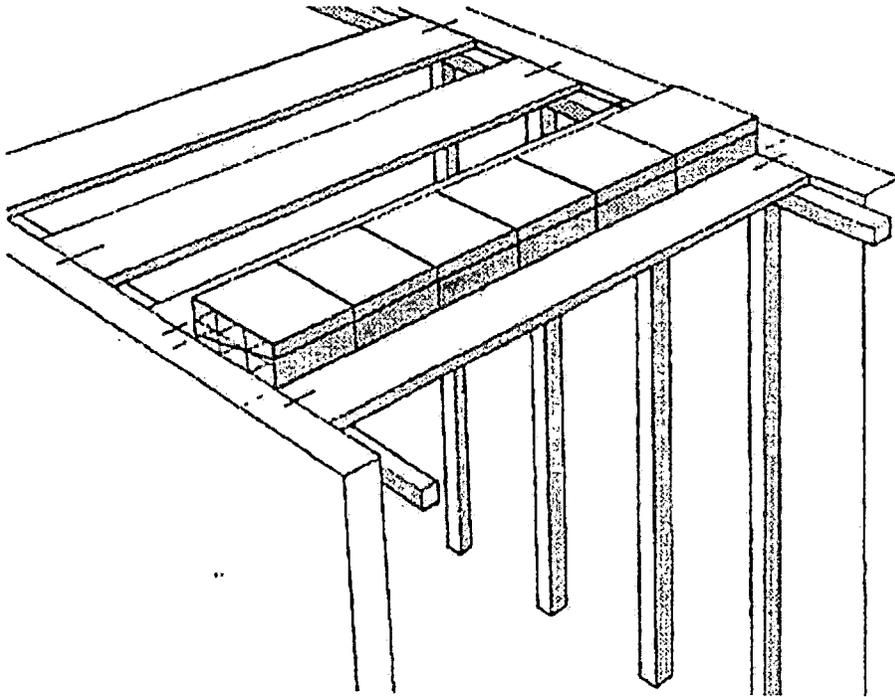
4. Ate un cordel.

- Abrazando a los ladrillos huecos colocados en 3.



**Fig. 40. Atado del cordel**

5. Coloque resto de ladrillos. • Alineándolos con el cordel.



**Fig. 41. Colocación del resto de ladrillos de techo.**

6. Repita los pasos de los puntos 2 al 5, en el resto de las tablas.

#### **g. COLOCAR FIERRO DE TEMPERATURA**

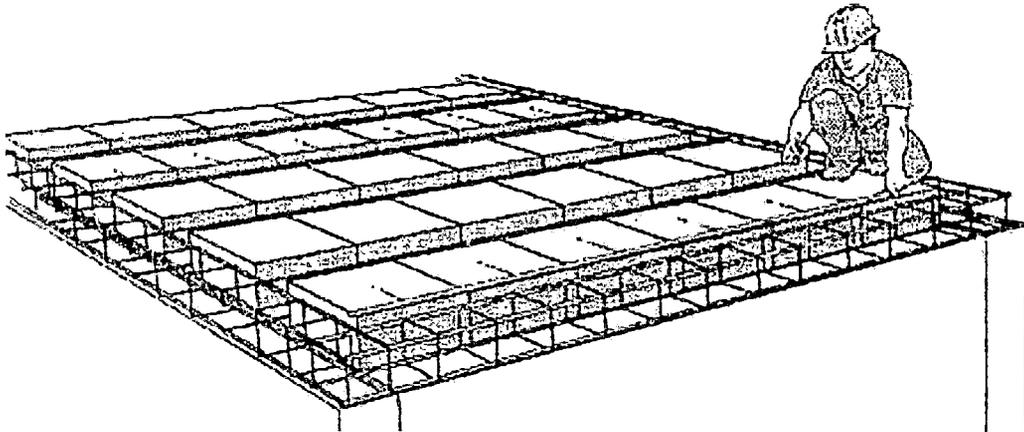
Operación que tiene la finalidad de colocar el acero de temperatura, que lleva una losa aligerada, de acuerdo a las especificaciones técnicas de los planos. Se realiza usando la wincha, alambre N° 16 y el tortol.

#### **PROCESO DE EJECUCIÓN**

1. Marque la ubicación de los fierros.

En los extremos y centros del paño de la losa, sobre los ladrillos.

Haciendo la primera marca a una distancia del apoyo, igual a la mitad del espaciamiento indicado en el plano.



**Fig. 42. Marcado de la ubicación de los fierros**

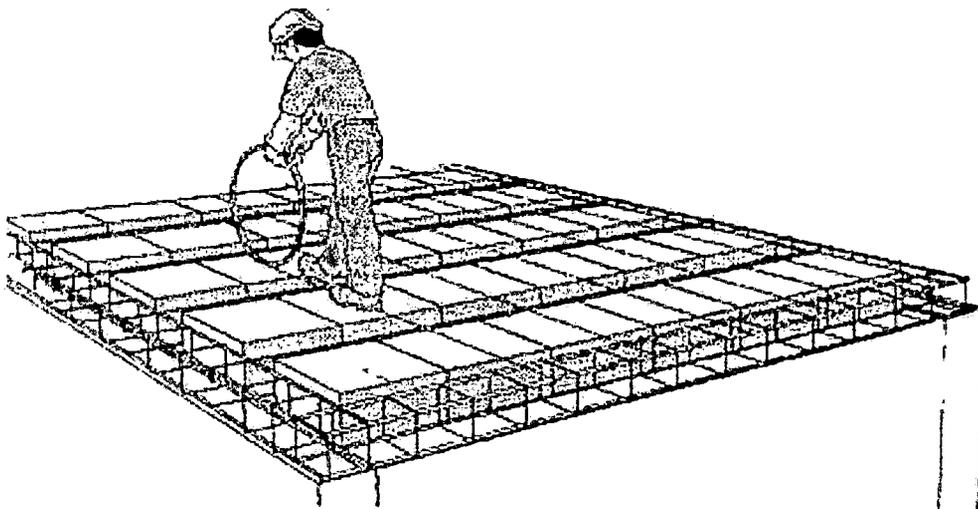
2. Coloque el fierro sobre las marcas.

Separando del rollo una cantidad trabajable.

Haciendo un gancho en el extremo y amarrándolo en la armadura de la viga.

Desenrollando y extendiendo el fierro sobre las marcas.

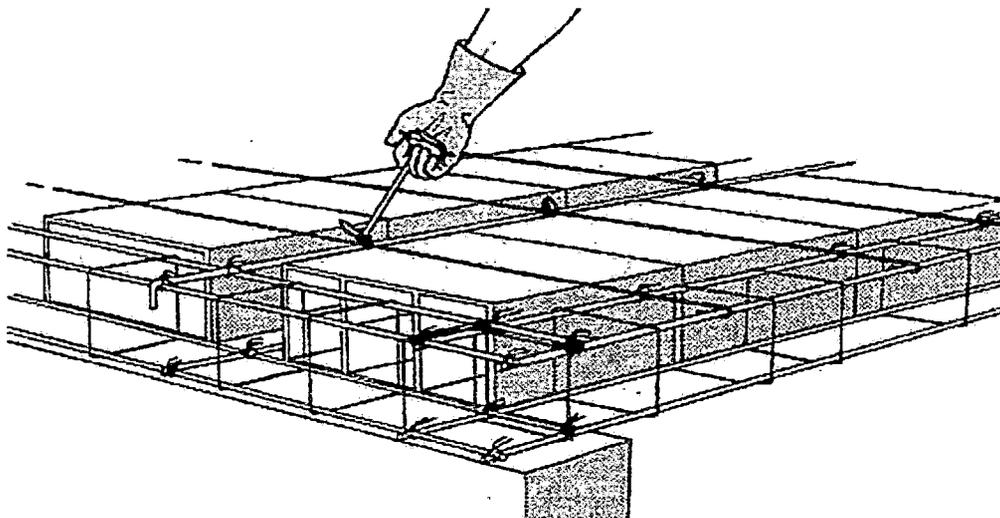
Trasladándose pisando el fierro que se desenrolle.



**Fig. 43. Colocación del fierro sobre las marcas**

3. Amarre los fierros.

- Con alambre N° 16, a los fierros negativos de las viguetas (bastones), usando el tortol.



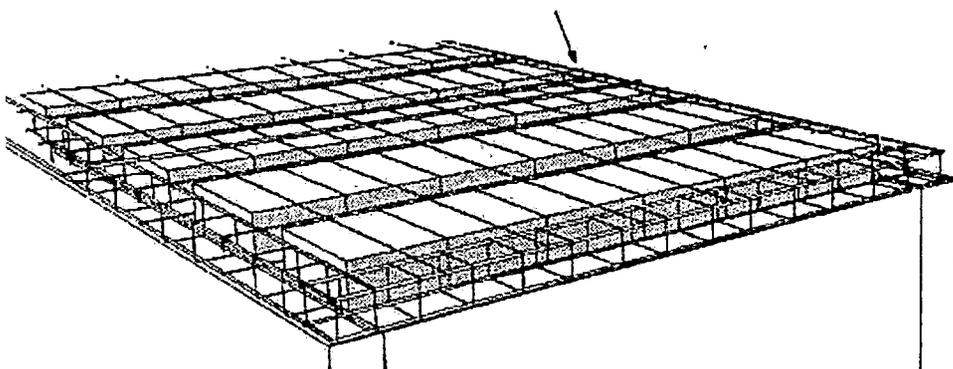
**Fig. 44. Amarre de los fierros**

4. Coloque fierros al través (templadores).

Repitiendo los pasos de los puntos 1 al 3.

Teniendo presente las especificaciones técnicas que aparecen en los planos.

Coloque uno o más templadores, según longitud del paño.



**Fig. 45. Colocación de los templadores**

**OBSERVACIÓN:**

En caso de utilizar varillas rectas, se seguirán sólo los pasos 1, 3 y 4.

### 3.3.2. Personal requerido (Ver Capítulo VI – Análisis de precios unitarios)

**Cuadro #13: Personal necesario por actividad - sistema convencional**

Actividad	Personal			
	Capataz	Operario	Oficial	Peón
Encofrado y Desencofrado	0.10	1.00	1.00	0.50
Colocación del Acero de Refuerzo	0.10	1.00	1.00	
Colocación del ladrillo hueco	0.10			4.00
Vaciado del concreto	0.10	4.00	2.00	5.00

### 3.3.3. Rendimientos (Ver Capítulo VI – Análisis de precios unitarios)

**Cuadro #14: Rendimiento por actividad - sistema convencional**

Actividad	Unidad	Rendimiento x día
Encofrado y Desencofrado	m2	15.00
Colocación del Acero de Refuerzo	kg	200.00
Colocación del ladrillo hueco	und	1350.00
Vaciado del concreto	m3	75.00

### 3.4. Control de calidad después de la ejecución de la losa

Luego de haber ejecutado la losa se deberá controlar todo lo concerniente a ladrillos de techo, fierro y concreto. En la siguiente sección se revisaran los errores más usuales y las recomendaciones y consideraciones del caso.

### 3.5. Identificación y Solución de los errores más usuales

#### 3.5.1. Ladrillos de techo y/o puntos de luz fuera de lugar

Los ladrillos no mantienen su posición exacta luego de vaciado, esto da viguetas de secciones variables, lo cual en algunos casos puede resultar estructuralmente peligroso si la sección se reduce mucho. A su vez esto permite que el concreto penetre entre los ladrillos y el encofrado dificultando el acabado.

Se recomienda la supervisión de la persona encargada y de preferencia la

presencia del ingeniero durante los vaciados tener cuidado al momento del vaciado y vibrado de la losa.



**Fot.28. Ladrillos de techo mal colocados**

### **3.5.2. Acero expuesto o fuera de lugar**

Los fierros positivos pueden quedar mal ubicados lo cual ocasionará un trabajo inadecuado de los fierros desde el punto de vista estructural o pueden ocasionar también fierro expuestos los cuales son susceptibles a la oxidación.

Se recomienda utilizar separadores, esto con el fin de mantener el fierro en su posición respectiva y lograr el recubrimiento requerido.

### **3.5.3. Problemas con el acabado**

Un mal vaciado y/o vibrado puede ocasionar movimiento de las bovedillas, lo que ocasionaría el ingreso del concreto por debajo de las bovedillas, por lo que se tendría una losa más difícil de tarrajear, por lo tanto más mano de obra, más tiempo y mas material utilizado en el tarrajeo.

Se recomienda supervisar y tomar las precauciones del caso al momento del vaciado y vibrado



**Fot.29. Vaciado mal realizado**

#### **3.5.4. Mal vibrado, cangrejas**

Esto no solo dificulta el acabado, sino que también dependiendo del tamaño de la cangrejera puede ocasionar problemas estructurales.

#### **3.5.5. Vaciado incompleto de una losa**

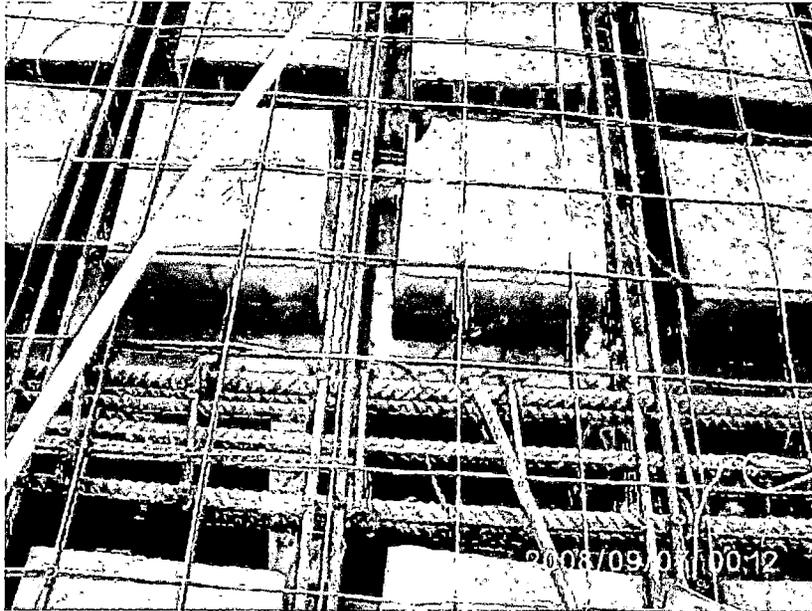
Si no se va a relajar un vaciado completo de toda la losa hay que tener en cuenta que este se tiene que realizar dejando los tercios sin vaciar de tal forma que la losa se complete en el siguiente vaciado.

#### **3.5.6. Ladrillos de techo perimetrales sin recubrimiento.**

Cuando no se cubre a las bovedillas perimetrales (cercanas a la viga) se corre el riesgo de perder concreto durante el vaciado y esto podría ocasionar una viga sin suficiente concreto.

Esto se soluciona colocándole una capa de mortero a la parte de los ladrillos que

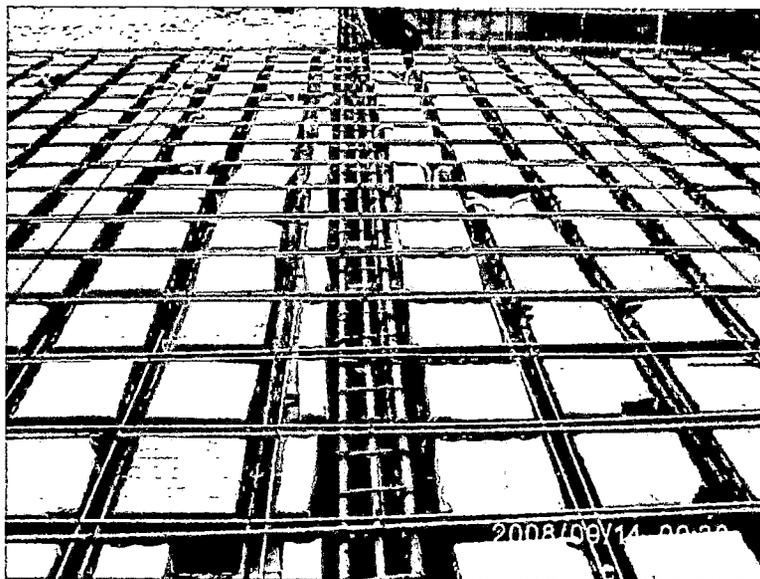
limita con la viga.



**Fot.30. Correcto recubrimiento de los ladrillos de techo**

### 3.5.7. Falta de colocación de acero de temperatura.

La falta de acero de temperatura en una losa no permite que la losa actúe de manera monolítica, sino que cada vigueta actúe independientemente, lo que obviamente no se busca.



**Fot.31. Correcta colocación de acero de temperatura**

### 3.5.8. Falta de limpieza y mojado de la zona a vaciar.

Sin el correcto mojado y limpieza de las bovedillas previo al vaciado nunca se logrará la adecuada unión entre el concreto vaciado y la bovedillas, y no solo eso, si que también podría ocasionar rajaduras en la losa por falta de agua durante la reacción química.



Fot.32. Ladrillos de techo sin limpiar

### 3.5.9. Losa presenta rajaduras

Aproximadamente 3 horas después del vaciado, la losa debe ser curada con agua, estos para evitar las fisuras y futuros problemas estructurales, pero en muchas ocasiones este curado no es suficiente ya que el agua se evapora debido a muchos factores, principalmente al viento, calor, bovedillas sin humedecer, etc.

La solución es mojar las bovedillas antes minutos antes del vaciado, y cubrir la losa del viento, todo esto para evitar que el agua se evapore con mayor rapidez y lograr un curado adecuado.

## CAPÍTULO IV.- ANÁLISIS DEL SISTEMA DE LOSA ALIGERADA USANDO VIGUETAS PREFABRICADAS FIRTH

### 4.1. Cálculo

Se usa la *Tabla De Momentos Admisibles (Tabla 1)* (ver anexo IV: tablas de diseño Firth), cuando la losa es una losa continua. Los momentos admisibles se comparan con el momento último de la losa compuesta y se determina la serie de la vigueta.

Si la losa es simplemente apoyada puede usarse la tabla 2 que está en función de la luz y de la sobrecarga de la losa.

La resistencia de una losa aligerada está dada principalmente por tres factores:

- Características de las viguetas (Cantidad de acero, tipo de acero, etc.);
- Altura de los bloques (Determina principalmente el espesor de la losa);
- Espesor de la capa de compresión. (5 cm. usualmente)

**Cuadro #15: Sobrecarga de la losa aligerada firth**

ALTURA DE LOSA (cm)	LOSA TRADICIONAL	SISTEMA DE LOSA CON VIGUETAS FIRTH			
	ARCILLA a 40 cm (kg/m <sup>2</sup> )	LOSA CON VIGUETA SIMPLE		LOSA CON VIGUETA DOBLE	
		ARCILLA (kg/m <sup>2</sup> )	POLIESTIRENO (kg/m <sup>2</sup> )	ARCILLA (kg/m <sup>2</sup> )	POLIESTIRENO (kg/m <sup>2</sup> )
17 a 60 cm	270	245	180	250	200
17 a 50 cm	270	245	180	290	230
20 a 60 cm	300	275	210	310	245
20 a 50 cm	300	280	210	345	280
25 a 60 cm	350	330	250	395	320
25 a 50 cm	350	335	250	430	350
30 a 25 cm	400	400	300	515	420

*Fuente: Manual de Viguetas Prefabricadas (Firth)*

Para el cálculo deberá tenerse en cuenta las cargas accidentales actuantes, cargas concentradas de muros, cargas en voladizo, etc. En los folletos de los fabricantes de viguetas se encuentran tablas de cálculo que determinan la altura del ladrillo cerámico a utilizar y el espesor de la capa de compresión para cada tipo de carga.

### **Pasos para calcular series de las viguetas y aceros negativos**

- 1- Seleccionar el apaño a calcular
- 2- Determinar las cargas que actúan en la losa
  - a- Peso propio indicadas en la tabla 1
  - b- Peso de piso terminado
  - c- Sobrecarga (alrededor de 300 kg/cm<sup>2</sup>)
  - d- Cargas adicionales (tabiques, etc.)
3. Amplificar las cargas
4. Calcular los momentos y cortantes últimos como si se tratase de una losa convencional

### **Cálculo del acero negativo en la losa**

As negativo =  $f(b_w, d, f_c, M \text{ negativo})$

Donde:

$b_w = 11 \text{ cm.}$

$d = \text{altura de la losa} - 2 \text{ cm}$

$f_c$  del concreto de la losa

### **Cálculo de la Serie de la vigueta**

$M_u \text{ positivo} \leq M_{adm} \text{ vigueta (tabla 1)}$

### **Cálculo del Cortante Último en la losa**

$\phi V_c = 0.85 \times 0.53 \times (f_c)^{1/2} * b_w \times d \times 1.10$

Donde:

$f_c = \text{resistencia de la losa in situ}$

$b_w = 12 \text{ cm.}$

d= Altura de la losa – 12 cm.

**Cuadro #16: Tabla de  $\phi Vc$**

Losa	$\phi Vc$	$\phi Vc$
<b>f'c losa in situ</b>	<b>210 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>350 kg/cm<sup>2</sup></b>
17 cm	1.25 ton	1.60 ton
20 cm	1.50 ton	1.95 ton
25 cm	2.00 ton	2.50 ton
30 cm	2.40 ton	3.00 ton

*Fuente: Manual de Viguetas Prefabricadas (Firth)*

Nota: en caso  $Vult.viga > \phi Vc$ , retirar intercaladamente las bovedillas hasta que  $Vult.viga \leq \phi Vc$ . (Ver Anexo 3 - Tablas #1 y #2)

#### **4.2. Control de calidad antes de la ejecución de la losa**

La recepción de cualquier tipo de material en obra, y, en particular de las viguetas pretensadas, es un aspecto importante en el control de la calidad de toda obra. Dedicar diez minutos a la comprobación del material en el mismo momento de su descarga puede evitar muchos problemas durante y después de la ejecución de la obra.

Es muy importante realizar este control antes o durante la descarga del material ya que en ese momento resulta muy sencillo llamar al proveedor, decirle que no se está de acuerdo con el material enviado, y que no se recibirá. Si se descubren defectos en el material cuando ya se está utilizando, todo es mucho más difícil: el proveedor puede no tener camiones disponibles para restituirlo, o puede poner muchas excusas para enviar uno. Si se tiene el material a medio poner se tendría que sacar todo de la obra para que se pueda retirar, y además, quedará la obra parada mientras se recibe el nuevo.

La situación puede ser todavía más complicada si aparecen defectos estructurales una vez que se tiene la obra terminada. Unas viguetas de un tipo que no corresponda, o con los hilos insuficientemente tensados, pueden ocasionar desde excesivas flechas, que a su vez ocasionan grietas en tabiques, hasta el colapso de la estructura si la tipología que se ha montado no es capaz de resistir las solicitaciones de cargas existentes en el edificio.

Se puede evitar gran parte de los problemas derivados de un mal material, o de un material inadecuado comprobando rutinariamente unos cuantos aspectos de lo que traiga cada camión.

Por lo tanto hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

- Revisión de los diseños previos de los encofrados a utilizar y determinación de la distribución de el apuntalamiento y los tableros, conforme los planos de ubicación de las viguetas prefabricadas.
- Provisión en obra de la calidad y cantidad de puntales, vigas y tableros requeridos.
- Los lugares donde se ubiquen los puntales, serán firmes y estarán libres de cualquier material o elemento que impida la libre colocación y manipuleo de los mismos.
- Los elementos de encofrados de vigas y el acero de refuerzo u otros elementos de apoyo que soportarán las viguetas y sistema prefabricado, deberán prever en su ejecución, los espacios necesarios para el apoyo firme de las viguetas, y estarán concluidos y en condiciones de soportar la carga a ser implementada.

#### 4.2.1. Comprobación de cantidades y medidas:

Durante este proceso, realizado por humanos, se producen los correspondientes errores humanos: Se puede confundir al medir, la persona que está en la oficina del proveedor puede anotar mal las medidas (por eso siempre es recomendable pasar la lista que se necesita), la persona que hace la orden de carga puede equivocarse, y, finalmente, el operario que cargue el camión puede cargar una vigueta por otra.

Es por eso que se debe comprobar dos cosas cuando llega un camión:

- Que las cantidades y medidas de las viguetas que trae el camión coincidan con las que se han pedido.
- Que los tipos de viguetas que trae el camión coinciden con las del plano de montaje del propio proveedor. Este plano debe venir junto con las viguetas. En caso de que no sea así, se aconseja retener el camión hasta que el proveedor facilite el plano de montaje y se pueda hacer esta comprobación, ya que un error en la tipología de la vigueta puede ocasionar gravísimos problemas estructurales en nuestra obra.

#### 4.2.2. Comprobación de ausencia de defectos

Se van a considerar dos tipos de defectos:

Los que se van a calificar de leves son aquellos que, sin implicar un riesgo para la integridad de nuestra obra, sí van a conllevar una mayor dificultad en el montaje. Es decisión nuestra si se acepta esta mayor dificultad o bien se requiere al proveedor que sustituya el material.

Los graves son aquellos que impliquen un riesgo para la integridad de la obra, o bien, impidan el montaje de la losa. En este caso es totalmente necesario devolver el material al proveedor y que éste lo sustituya por otro en buen estado.

##### 4.2.2.1. Defectos Leves

###### 4.2.2.1.1. Viguetas parcialmente pegadas

Si el concreto estaba excesivamente licuado a la hora de fabricar las viguetas, o bien la máquina tenía los moldes desgastados, es posible que el concreto de dos viguetas adyacentes (todas las máquinas fabrican varias viguetas simultáneamente) haya entrado en contacto y, al fraguar, hayan quedado pegadas. No debería ser difícil despegarlas con la ayuda de una palanca. Si no se despegan fácilmente, o al despegarse se producen roturas en las alas de las viguetas, entonces se está en el supuesto del caso 2.2.1.7, y se debe exigir al proveedor la reposición inmediata de estas viguetas.

---

#### 4.2.2.1.2. La vigueta no tiene una sección completamente uniforme

En ocasiones, es necesario parar la producción de viguetas por diferentes motivos: averías en la mezcladora, en la alimentación de concreto al molde de viguetas, o simplemente, debido a que el operario no ha estado atento. Al reiniciar la producción y poner en marcha los vibradores de la máquina moldeadores, parte de esa vibración afecta a una zona de vigueta ya desmoldada provocando un bulto que no debería ser de más de 25 cm. de longitud.

#### 4.2.2.1.3. Viguetas con restos de concreto (rebabas)

Si los moldes no ajustan bien, se producen fugas del concreto de la vigueta hacia los lados por debajo del molde. Estas fugas, al fraguar, quedan adheridas a la vigueta provocando las rebabas.

No tiene mayor importancia que la labor de quitarlas con un martillo, o a veces, incluso a mano o con la propia bovedilla al ponerla. Algún fabricante incluye en su fabricación un proceso de eliminación de rebabas para garantizar que este defecto no se produzca en sus viguetas.

#### 4.2.2.1.4. Alambres ligeramente fuera de sitio

Los alambres de las viguetas deben estar donde dicen las fichas técnicas del fabricante. De esta forma se garantiza, además del recubrimiento de los propios hilos, que la vigueta es capaz de resistir las cargas y esfuerzos que se indican en las mismas fichas técnicas. Por desgaste de los "guía-hilos" de la máquina moldeadora, por error del operario al colocarlos, o por muchos otros motivos, estos hilos pueden no estar exactamente donde debieran. Si la diferencia de sitio no excede de uno o dos milímetros, el defecto no es grave, y lo único que pasará es que la vigueta estará arqueada hacia donde estén desplazados los hilos, dificultando la colocación de bovedillas.

Un detalle muy importante de este defecto, es que permite saber si el fabricante tensa como es debido sus armaduras.

---

Al desplazar los alambres, se desequilibran las secciones de acero con respecto a la del concreto. Esto debe arquear la vigueta. Si una vigueta con los hilos desplazados no está arqueada, significa que los hilos no están tensados como debieran, y eso sí que es un defecto grave, ya que la vigueta no resistirá lo que dicen las fichas técnicas, y, si consigue resistir las sollicitaciones de nuestra obra, lo hará con mucha más flecha de la prevista.

#### 4.2.2.1.5. Viguetas Torcidas

Una vigueta está torcida cuando no tiene los hilos equilibrados dentro de su propia sección. Este defecto siempre es consecuencia de unos hilos fuera de sitio, o de una vigueta mal diseñada. En este caso es aplicable todo lo expuesto en el apartado anterior (2.2.1.4)

#### 4.2.2.1.6. Viguetas sin marcar

Por avería en marcadores si se marca mecánicamente, o bien por ausencia del operario marcador, o bien por las prisas para entregar un material, pueden salir viguetas de una fábrica sin el debido marcaje. Esto dificulta enormemente el correcto posicionado de la vigueta en obra ya que cuesta mucho más de identificar. Legalmente no debería admitirse. En la práctica supone que hay que medir y contar los hilos de cada vigueta.

#### 4.2.2.1.7. Arrastre del concreto superior

Si en el concreto cae una piedra de mayor tamaño del normal debido, por ejemplo, a la rotura de una de las mallas de los agregados, es posible que esa piedra, sea arrastrada por la máquina moldeadora por la superficie de la vigueta. Esto provoca un desgarró en la parte superior de la vigueta, sin la mayor ya que quedará totalmente resuelto en el momento en que se llena la losa.

#### 4.2.2.2. Defectos Graves

##### 4.2.2.2.1. Falta concreto

---

Cuando por el motivo que sea se produce un atasco o fallos en la alimentación de la máquina moldeadora, las viguetas resultantes adolecen de falta de concreto en la parte superior. Este es un defecto que puede parecer que no tenga importancia ya que al llenar la losa quedaría resuelto pero no es así. Una vigueta con menos concreto en su parte superior ha visto muy mermada su "cabeza de compresiones" y por tanto reducirá considerablemente sus capacidades de resistencia a flexión y cortante. Efectivamente, el llenar la losa puede aliviar la situación pero durante la fase de ejecución habrá que apuntalar mucho más esas viguetas si no se quiere que nuestra losa parezca un "toldo". Lo más recomendable es la sustitución de las viguetas.

#### 4.2.2.2.2. Alambres fuera de sitio

Tal como se dice en el apartado 2.2.1.4, los alambres de las viguetas deben estar donde dicen las fichas técnicas del fabricante. Si la diferencia de sitio excede de un milímetro, el defecto es grave, y puede ocasionar graves distorsiones entre lo que se supone de debe cumplir la vigueta y lo que realmente cumple. Una vigueta con los hilos como la de la imagen es muy probable que no cumpla con los requisitos de momento, cortante y recubrimientos que constan en sus fichas técnicas.

Un detalle muy importante de este defecto, es que permite saber si el fabricante tensa como es debido sus armaduras.

Al desplazar los hilos, se desequilibran las secciones de acero con respecto a la del concreto. Esto debe arquear la vigueta. Si una vigueta con los hilos desplazados más de un milímetro no está considerablemente arqueada, significa que los hilos no están tensados como debieran, y eso es un defecto grave, ya que la vigueta no resistirá lo que dicen las fichas técnicas, y, si consigue resistir las sollicitaciones de nuestra obra, lo hará con mucha más flecha de la prevista.

#### 4.2.2.2.3. Viguetas rotas

Por supuesto, una vigueta rota no debe colocarse bajo ningún concepto en obra. Se puede debatir sobre quién la ha roto y quien debe pagarla: el constructor, el transportista, el fabricante, etc...., pero es totalmente inadmisibles la colocación en obra.

#### 4.2.2.2.4. Grietas horizontales a lo largo de la vigueta en los laterales

En algunos diseños de vigueta, se disponen los alambres en dos grupos diferenciados, un grupo en la parte inferior de la vigueta, y otro en la parte superior, dejando el alma sin prácticamente armadura. Esto se hace así debido a la dificultad de llenar de concreto el alma de la vigueta si está llena de alambres. Esto provoca diferentes tensiones entre las partes superior, inferior y central de la vigueta. Por este motivo, pueden aparecer grietas en los puntos más débiles de las viguetas que son las uniones entre las alas y el alma. Estas grietas son muy graves ya que al producirse, provocan una desunión entre las tracciones de los hilos y el concreto que debe soportarlas, por tanto inutiliza totalmente la vigueta, pudiendo llegar a partirse en dos.

#### 4.2.2.2.5. Alambres deslizados

Esta es una de las patologías más graves y peligrosas que puede presentar una vigueta. Una vigueta con un alambre escurrido es sencillamente como si ese alambre no estuviera. Por tanto no puede aceptarse bajo ningún concepto un material con alambres deslizados.

Como mucho, se puede asimilar esa vigueta con el alambre escurrido, a una vigueta de tipo inferior que corresponda a los alambres que no están deslizados. Este problema se produce por una falta de adherencia entre el alambre y el concreto de la vigueta, cosa que puede ser debida a múltiples factores: el trenzado del alambre inadecuado, el alambre engrasado o sucio, la granulometría del concreto inadecuada, exceso de algún tipo de aditivo, o simplemente puede ser debido a que se ha destensado la vigueta antes de tiempo.

#### 4.2.2.2.6. Viguetas totalmente pegadas

En este caso, el problema no es que sea grave o no, sino que simplemente no es posible separar las viguetas sin romper las alas y por tanto no es posible su colocación en obra (salvo en montajes con vigueta doble, pero eso ya es otro tema).

### 4.3. Durante la ejecución

#### 4.3.1. Control de Calidad

- Trazado y ubicación de viguetas y bovedillas.
- Verificación de niveles y cotas, que cumplan con los planos y especificaciones del proyecto.
- Revisión de contraflechas para viguetas de luces considerables o en voladizo. Se preverá dejar apuntalamientos en los cuartos de la luz de dichas viguetas, hasta que el concreto adquiera su resistencia de diseño.
- Limpieza de residuos de cualquier material en las viguetas apuntaladas.
- Fiscalización podrá modificar el sistema en general si a su juicio no reúnen las condiciones de seguridad y eficiencia exigidas.

#### 4.3.2. Proceso Constructivo

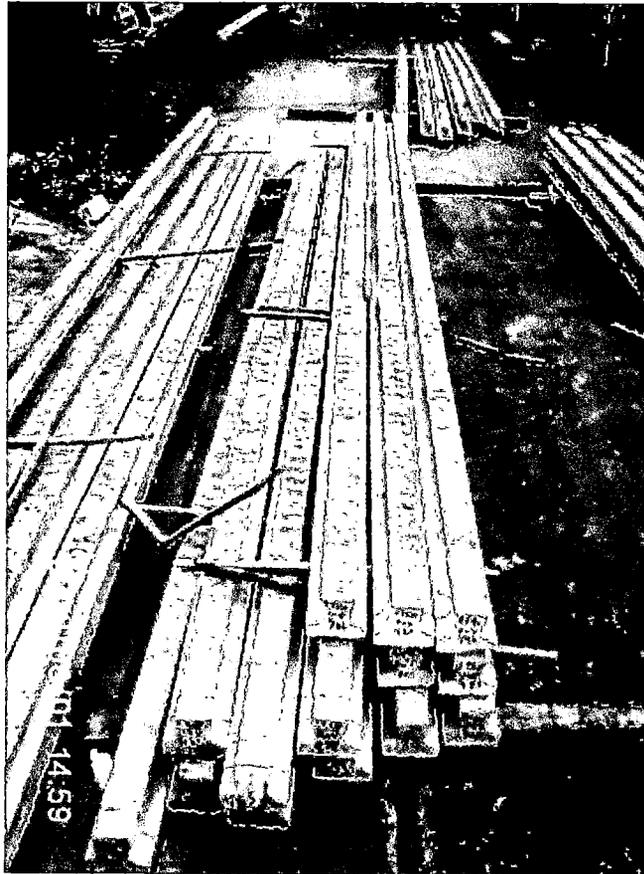
##### 4.3.2.1. Apilación, Almacenamiento en obra y Manipuleo.

Las viguetas deben ser manipuladas y apiladas en posición de «T» invertida (con su parte ancha hacia abajo) y sobre una superficie plana (primer listón a 30cm de los extremos). Para el apilamiento, se deben colocar listones próximos a los extremos de las viguetas plana (primer listón a 30cm de los extremos).

Dependiendo de las hileras que se formen al momento de almacenar las viguetas variará el espaciamiento entre los listones como se muestra en el cuadro #17

**Cuadro #17: Espaciamiento entre listones**

ESPACIAMIENTO ENTRE LISTONES	# HILERAS DE VIGUETAS
1.50 m	9
2.00 m	7



Fot.33. Apilación de Viguetas

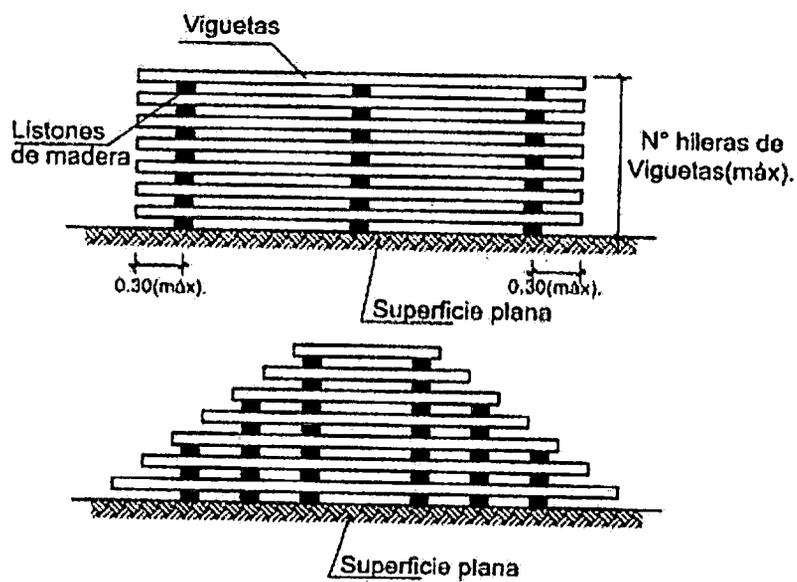
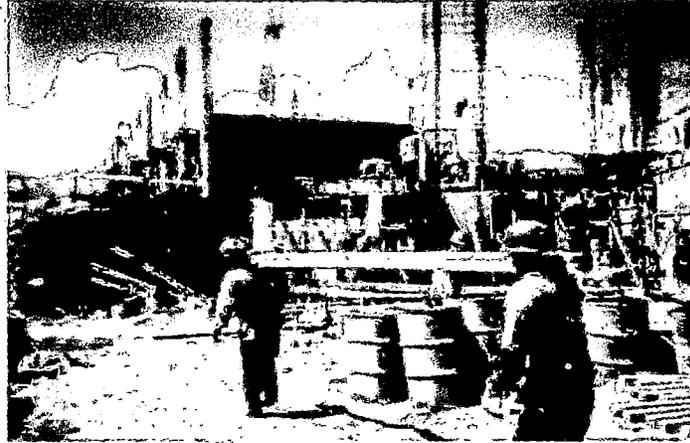


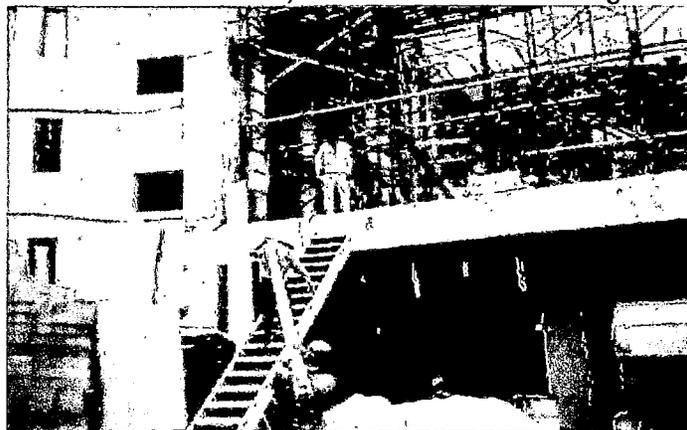
Fig. 46,47. Forma de apilar viguetas

#### 4.3.2.2. Izaje

El izaje puede ser:



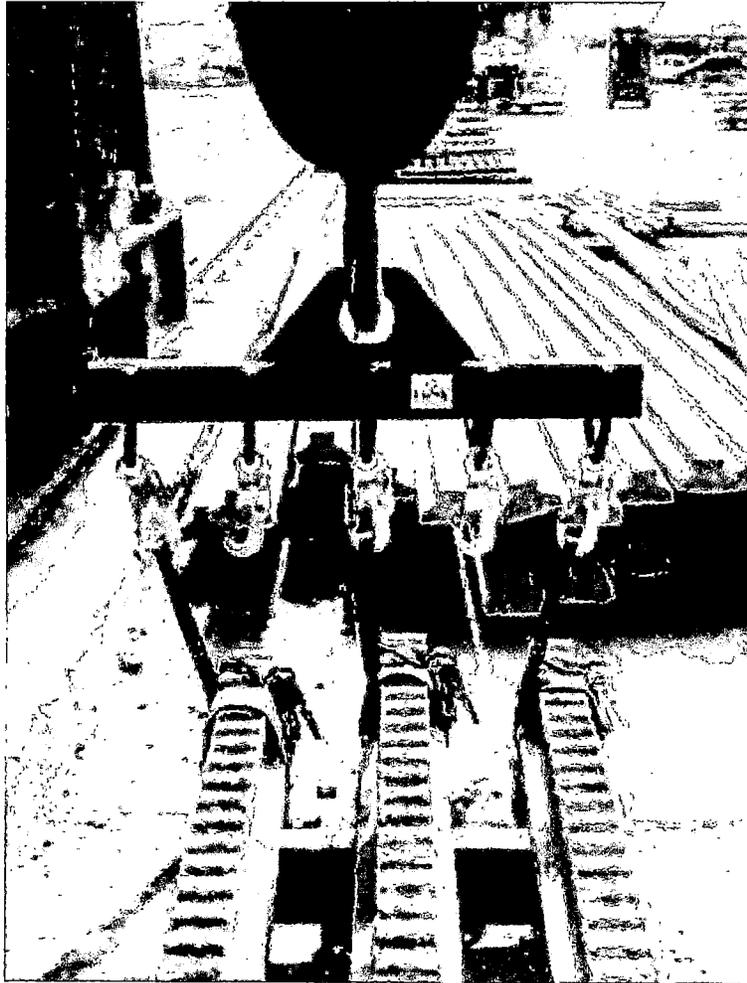
Fot.34. Manual (las viguetas deben ser manipuladas por dos trabajadores en forma de T invertida) como se muestra en la figura



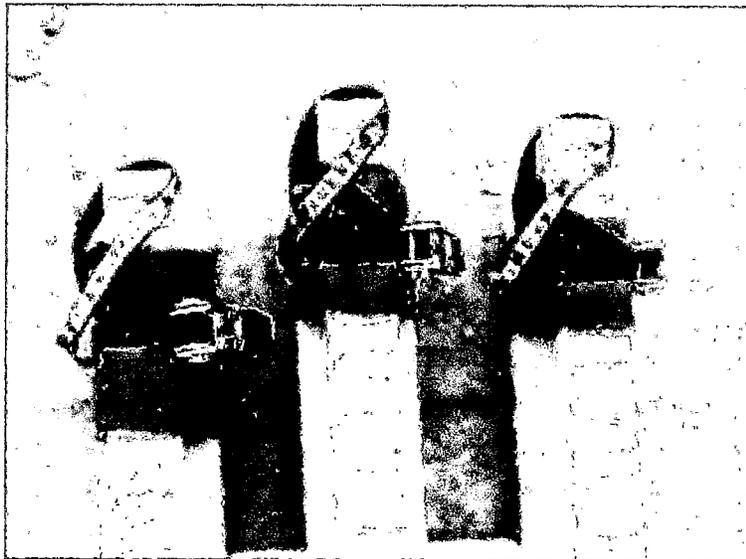
Fot.35. Izaje Con rampa



Fot.36. Izaje con Winche

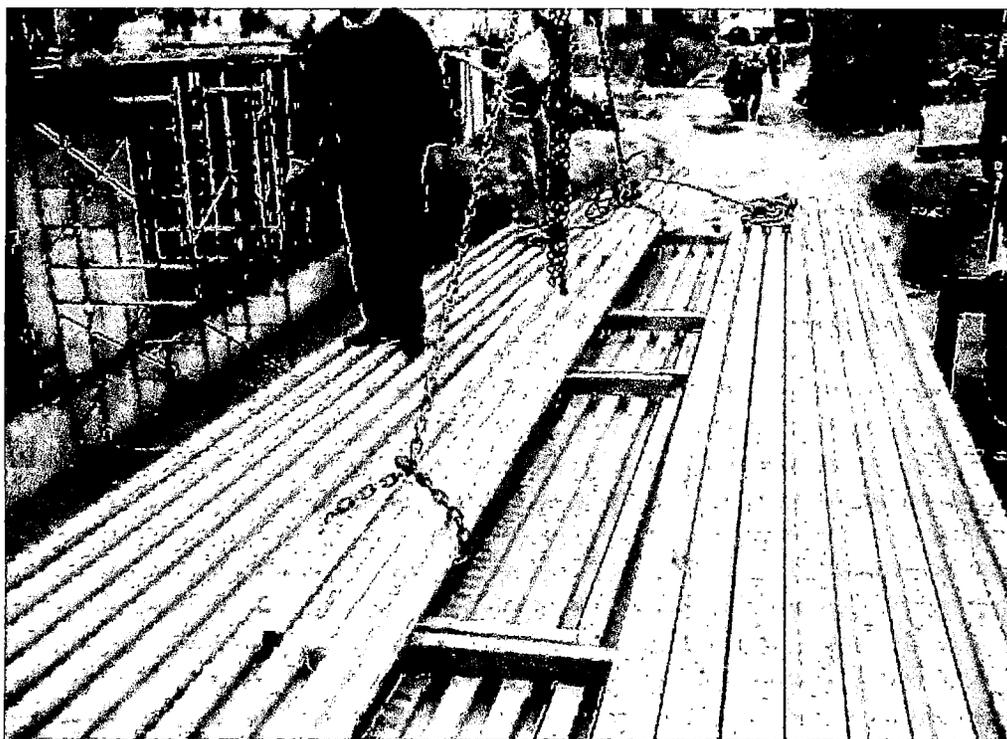


Fot.37. Izaje realizado con Herramienta de Izaje FIRTH



Fot. 38. Herramienta de Izaje FIRTH

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOSAS ALIGERADAS UTILIZANDO VIGUETAS  
PREFABRICADAS FIRTH, VIGUETAS ARMADAS TODOCEMENTO Y VIGUETAS VACIADAS EN OBRA



Fot.39. Izaje Con pluma (nota: Dejar hasta 2 metros de volado de dónde  
coger las viguetas)

#### 4.3.2.3. Montaje de las viguetas

Las viguetas ingresarán entre 7.5 y 10 cm en las vigas.

Colocar las bovedillas como elementos distanciadores de las viguetas.

Se recomienda comenzar con las bovedillas y luego continuar con las viguetas, y así sucesivamente.

Las viguetas se colocan en forma manual dentro de la dala ó cerramiento ó bien sobre los muros cargadores y deberán apoyarse dentro de la dala por lo menos 7 cm. Por ejemplo, si se tiene un claro libre de 3.00 m, más 7 cm de apoyo en cada muro, la vigueta requerida deberá tener 3.14 ms. de longitud total.

a) Montaje dentro de la dala: lo correcto es llevarla hasta la mitad ó eje del armado de la dala ó cadena, (7 cm mínimo de apoyo).

b) Montaje sobre muros: La recomendación es que la viga apoye todo el ancho del muro mínimo.



Fot.40. Montaje Típico de viguetas FIRTH



Fot.41. Izaje con grúa

#### 4.3.2.4. Apuntalamiento.

De acuerdo a sus características el sistema de vigueta pretensada es autoportante (no requiere cimbra de contacto ni apuntalamiento) hasta 3.0 ms, por lo que en claros mayores es necesario apuntalar siendo este apuntalamiento el que menos materiales y mano de obra utiliza con respecto a los sistemas tradicionales.

Como recomendación se apuntala al centro todo claro mayor a 2.5 ms porque al vaciar la losa de compresión se pueden usar bombas y al acumularse el concreto provoca altas concentraciones de carga.

Deberán colocarse soleras (3" y 4") perpendiculares a las viguetas a una distancia de 2.00 m aproximadamente. La separación entre puntales será de 1.50 m. Por lo general, sólo es necesario contraflechas para luces mayores de 6.00 m que serán indicadas por el Departamento Técnico de Firth. El despuntalamiento se efectuará una vez que la losa de concreto haya alcanzado la resistencia requerida (7 días).

Es necesario levantar un apuntalamiento provisorio que sostenga las viguetas como lo indicado en la fig. 3-B. Si los puntales se apoyan directamente en el terreno es conveniente colocar debajo, además de las cuñas, tablas para evitar el hundimiento de los puntales en el terreno.

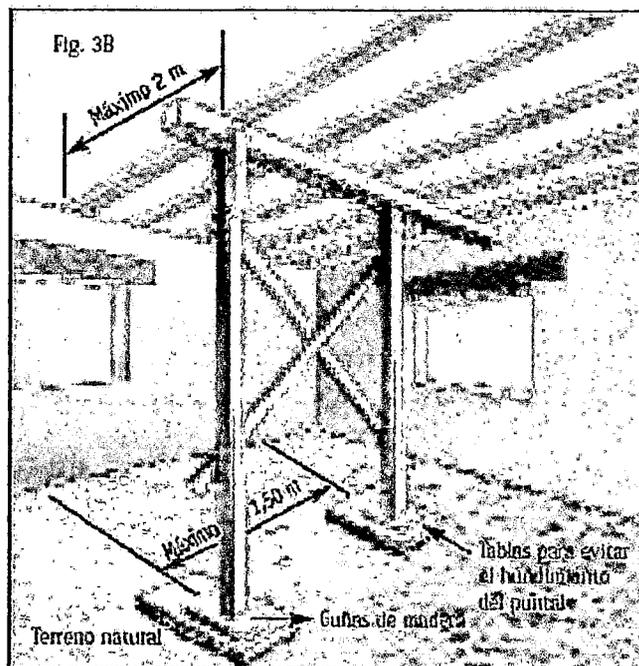


Fig. 48. Apuntalamiento correcto

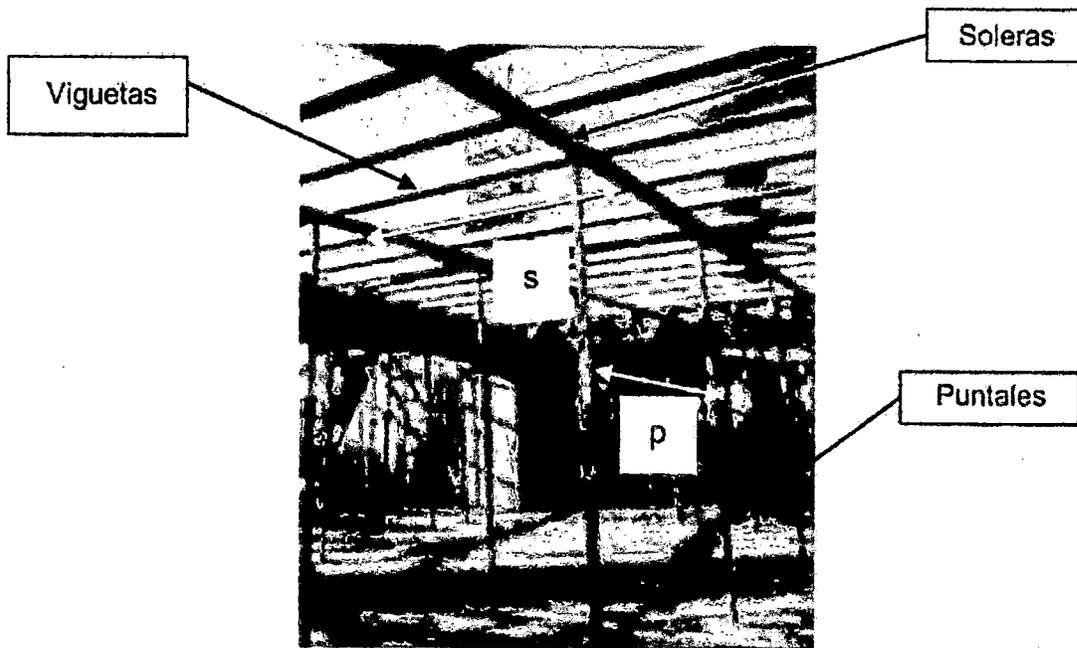
**Cuadro #18: Espaciamiento de soleras y puntales**

ALTURA DE LOSA	ESPACIAMIENTO	SOLERAS (3"x4")	PUNTALES (3"x4")
Hasta 20 cm.	@50 cm.	2.00 m *	1.50 m*
De 25 a 30 cm.	@50 cm.	1.80 m *	1.50 m*
Todas	@60 cm.	1.50 m *	1.50 m*

Nota: Distancias máximas considerando soleras y puntales de 3"x4"

**Condiciones para el apuntalamiento**

- a. Los puntales se apoyarán sobre una superficie rígida y se colocarán cuñas que garanticen que estos no se muevan durante el proceso constructivo.
- b. Las soleras y los puntales deberán ser de 3 "x 4
- c. La madera deberá estar en buen estado y ser de sección continua
- d. Las soleras deben tocar el fondo de vigueta
- e. Se debe asegurar bien los puntales para evitar problemas de asentamiento que afecten el buen estado de la vigueta y por ende la losa.



Fot.42. Apuntalamiento recomendado por Firth

Nota:

- Si en obra existen otras condiciones, se deberá acercar las soleras y puntales. También se deben verificar que las contraflechas no excedan los 5 milímetros por metro lineal de vigueta.
- Luces mayores a 6.5 m, dejar contraflechas de 3mm x ml.
- Los puntales de las losas inclinadas, abovedados y rampas, así como alturas mayores a 2.8m, deberán arriostrarse horizontalmente con cruces para absorber esfuerzos horizontales.
- Las soleras deben tocar fondo de vigueta.
- Se deben asegurar bien los puntales para evitar problemas de asentamiento que afecten el buen estado de la vigueta y por ende de la losa.
- Cuando las viguetas se apoyan en placas de concreto: se recomienda colocar soleras pegadas a las placas para evitar que la losa quede con una superficie irregular provocada por el vaciado irregular de la placa.
- soleras de los extremos en placas de 10 cm pueden sacarse a los tres días, manteniendo el resto de las soleras y puntales.
- al comenzar y terminar con bovedillas, colocar tablas para apoyar las bovedillas de los bordes (al lado de las vigas)..

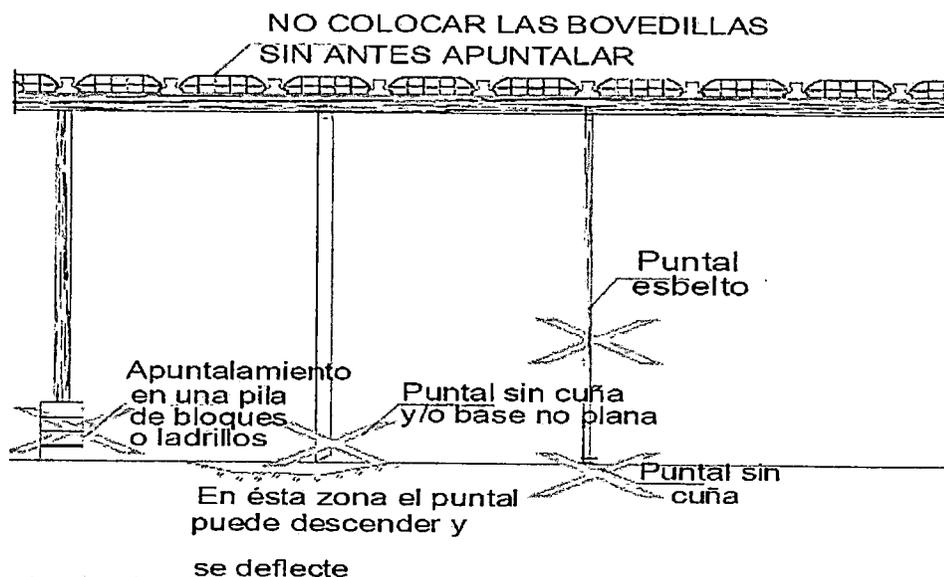
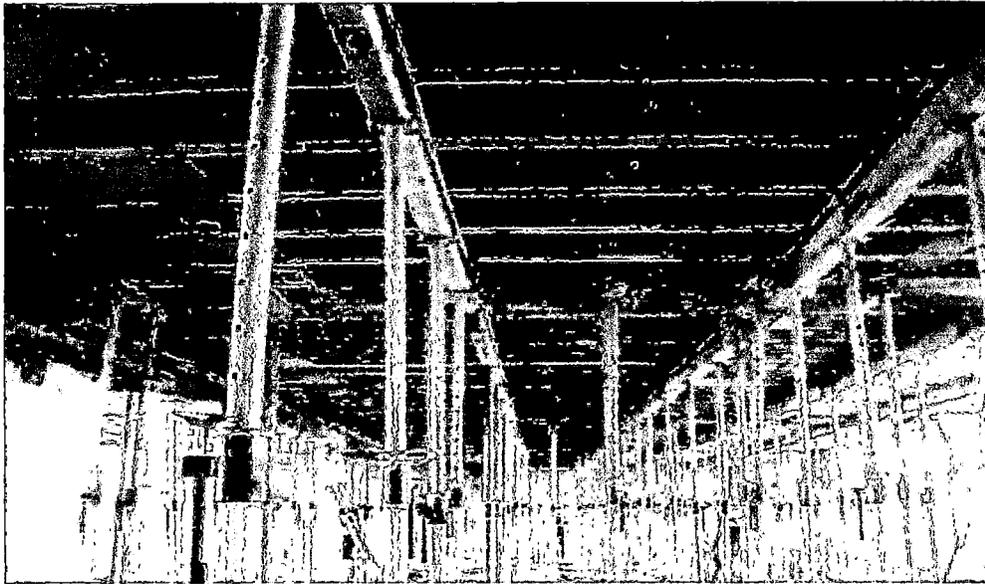


Fig. 49. Apuntalamiento inadecuado



Fot.43.Apuntalamiento metálico



Fot.44.Apuntalamiento de madera

#### 4.3.2.5. Colocación de las Viguetas y Complementos (ladrillo de arcilla, concreto y poliestireno).

La distancia entre viguetas es de 50 cm y se determina automáticamente colocando los complementos con elementos como elementos distanciadores. No proceder a la colocación de complementos sin antes apuntalar. La vigueta debe ingresar a las vigas entre 5 y 10 cm. ya sea entera (cuando ingresa a vigas peraltadas) o con tos cables vistos (cuando ingresa a vigas chatas).

A efectos de evitar el arrastre del muro por la losa debido a las variaciones térmicas, se recomienda se intercalarán dos capas de fieltro asfáltico o película plástica entre las viguetas y la viga de encadenado que facilitará la libre dilatación de la losa.

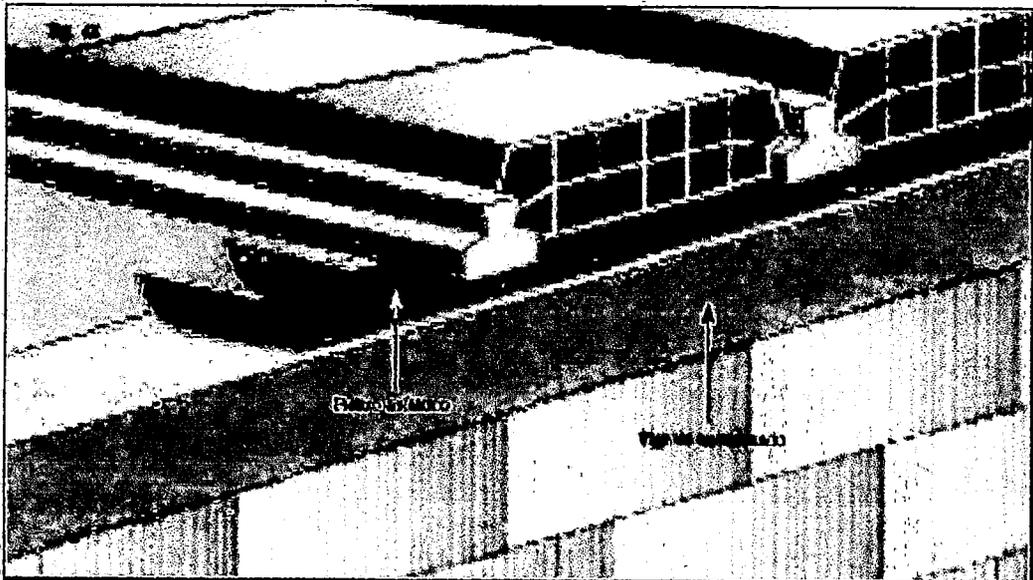


Fig. 50. Colocación de las viguetas y bovedillas

**ATENCIÓN:** No caminar sobre las viguetas y bloques si no están apuntalados, colocar tablonces por encima de los bloques para caminar sobre la losa.

En la fig. 95 se muestran las distintas posibilidades de ajuste de medidas en los bordes que suelen presentarse al colocar las viguetas y bloques.

A modo de arriostramiento es conveniente ejecutar nervios transversales a la dirección de las viguetas utilizando bloques de 9 cm de altura, y en el espacio que queda, colocar fierros. Este refuerzo ayuda a repartir cargas transversales y evitar que posteriormente se marquen las viguetas en el cielorraso (Ver fig.96)

Caso a.- Los ladrillos apoyan en su totalidad sobre la viga de encadenado en el sentido de las viguetas.

Caso b.- Los ladrillos no apoyan sobre la viga de encadenado. El ajuste se logra colocando dos viguetas juntas.

Caso c.- Los ladrillos no apoyan sobre la viga de encadenado. El ajuste se logra ubicando barras de acero de 4 mm. Y vaciando concreto. Por debajo se coloca una tabla para que no se escape el concreto.

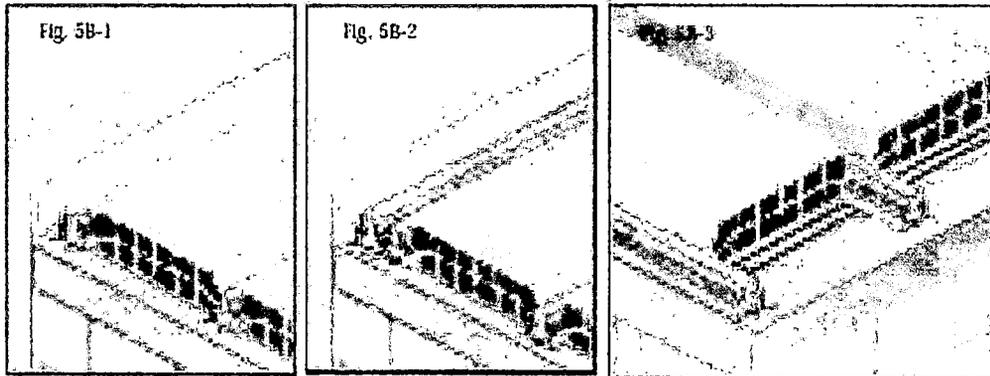


Fig. 51,52. Ajuste de medida de bovedillas en los bordes de la losa

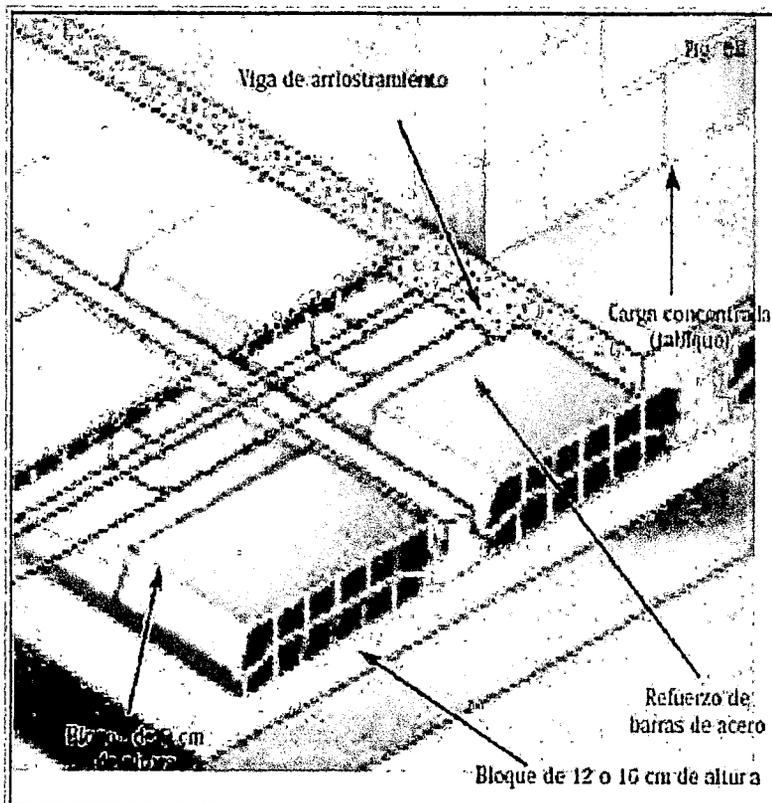
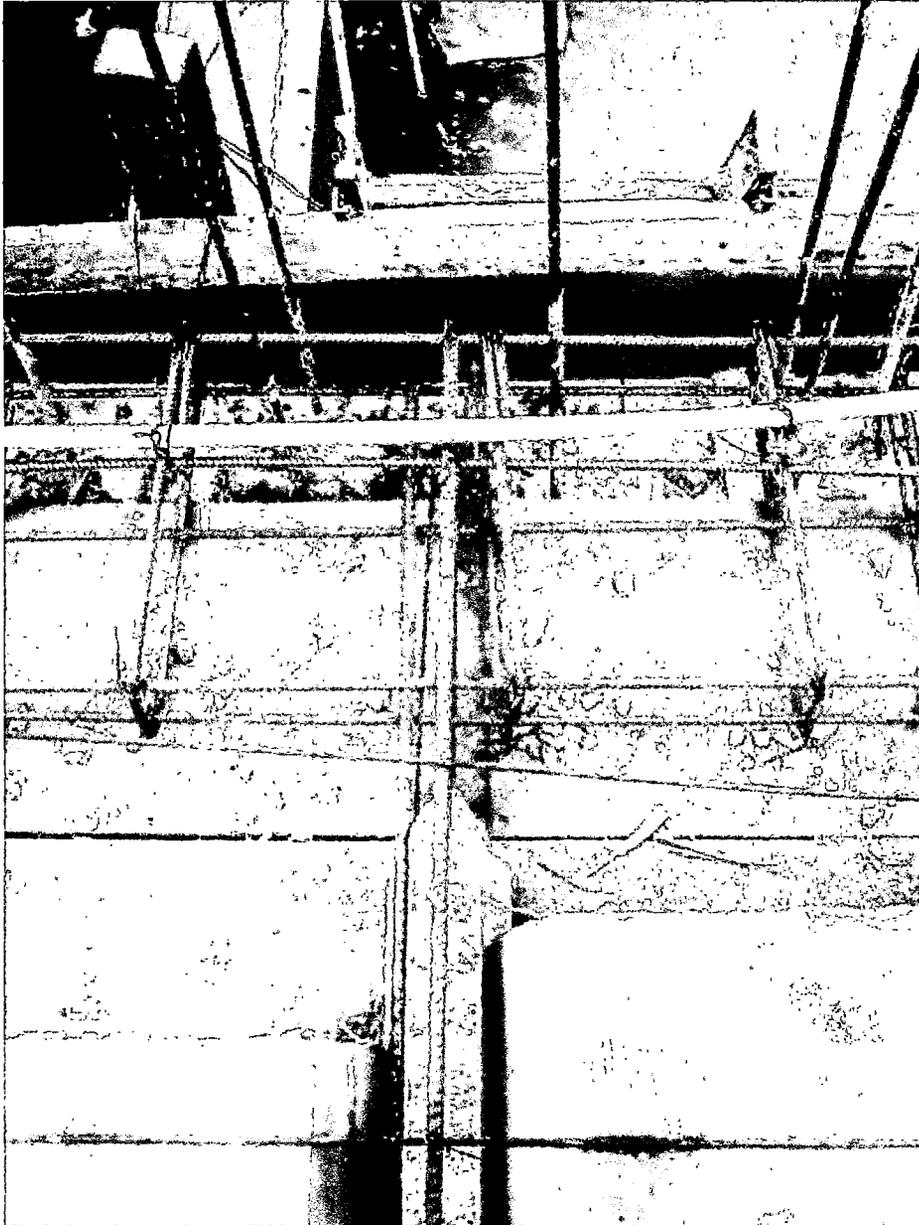


Fig. 53. Nervios transversales a la dirección de las viguetas

Nota:

- Se deberá evitar cortar las bovedillas sobre las viguetas para no ensuciarlas.
- Nunca colocar las bovedillas sin antes haber apuntalado.
- En caso de trabajar con poliestireno, es necesario caminar sobre tablas de madera para proceder a armar la losa.



Fot.45.Empalme en obra (Viguetas – viga chata)

#### 4.3.2.6. Colocación del acero negativo, acero de temperatura

El acero negativo va espaciado a cada 50 o 60 cm. Podría distribuirse también a menor distanciamiento en la losa según indicaciones del proyectista.

Nota: Colocar el acero de temperatura en dos sentidos en el último nivel de la azotea, o en luces mayores o iguales a 5 metros.



Fot. 46. Colocación del acero de temperatura



Fot. 47. Colocación del acero de temperatura

#### 4.3.2.7. Instalación de cañerías y bocas de luz para la instalación eléctrica.

El uso de Viguetas Pretensadas Firth no representa ninguna complicación para la colocación de las instalaciones sanitarias y menos aún para las instalaciones eléctricas. Sin embargo, es recomendable que las tuberías de 4" sean consideradas desde la etapa del diseño en forma paralela a las viguetas pretensadas.

Existen varias maneras de fijar las cajas de luz a los bloques. Una de ellas consiste en efectuar un agujero en la parte superior del bloque y colocar la caja desde arriba. Luego de instalado los caños de electricidad y alrededor del agujero poner un cartón o papel para que al llenar la losa no se introduzca el concreto dentro de los huecos del bloque. Previamente se puede inmovilizar la caja con un poco de mortero. El bloque donde se ubicará la caja, se marca con un lápiz en la parte de abajo (cielorraso), y luego de endurecido el concreto se pica el mismo desde abajo en la zona del agujero de la caja.

Los caños de luz pueden colocarse por adentro de los agujeros de los bloques. También pueden ir por afuera pero paralelos a las viguetas (ver fig. 100 y 101).

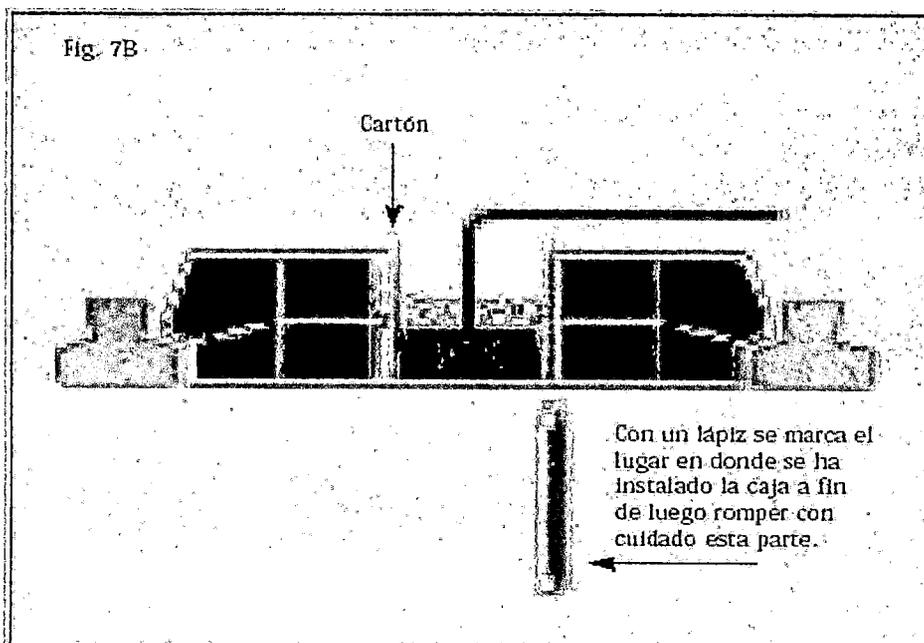


Fig. 54. Correcta colocación de las instalaciones

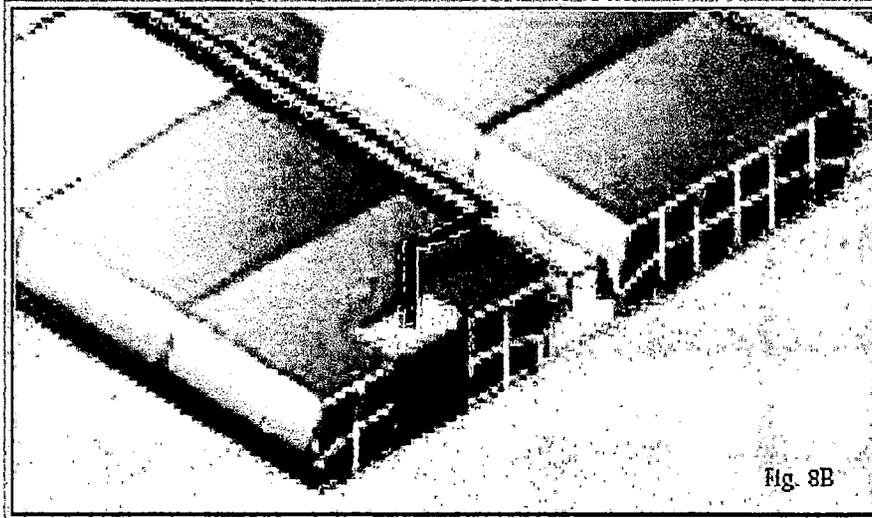
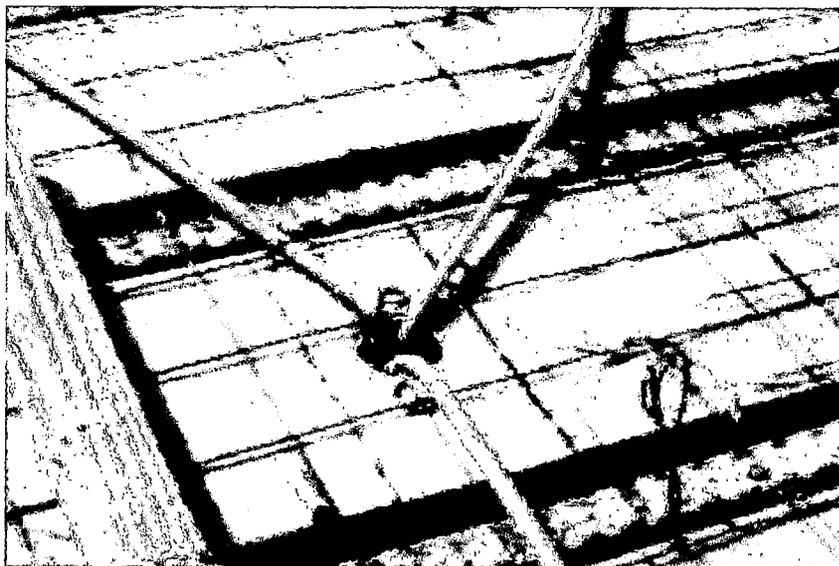


Fig. 55. Colocación de las instalaciones eléctricas



Fot.48,49,50. Fotos de instalaciones eléctricas



#### 4.3.2.8. Colocación de las instalaciones sanitarias

Después de que las bovedillas han quedado en su lugar, se colocan las mangueras para la instalación eléctrica. Estas se llevan por los muros y por los huecos de las bovedillas.

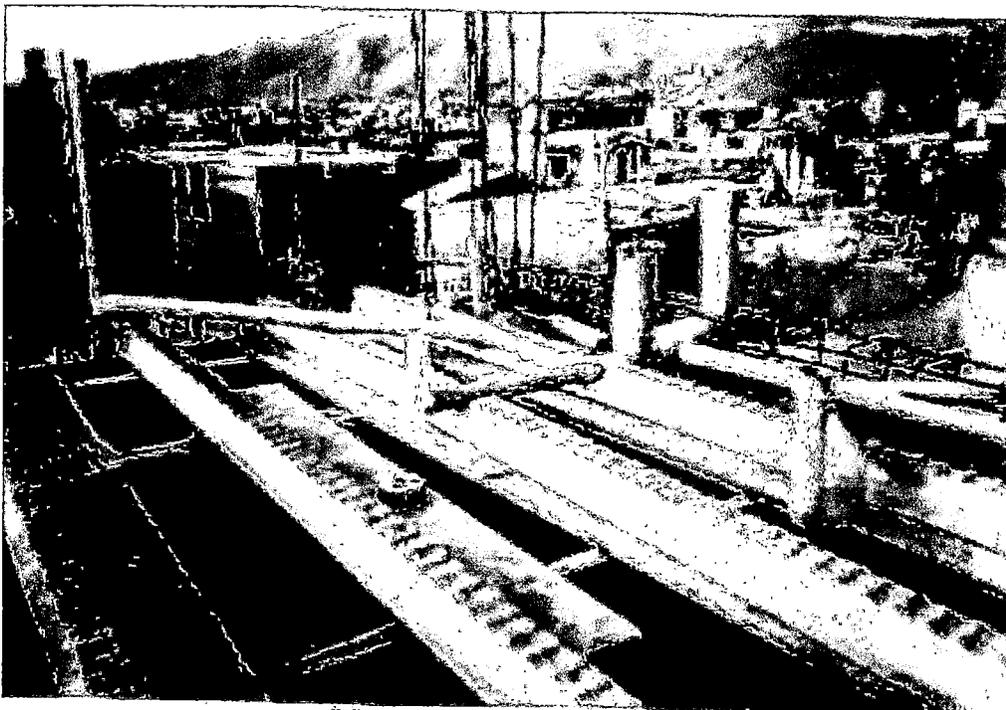
Se recomienda que las tuberías de desagüe vayan paralelas a la dirección de las viguetas (entre bovedillas)

Asimismo se sugiere en la zona de baños donde van las montantes, por lo general muy cercana a los bordes, se empiece con bovedilla.

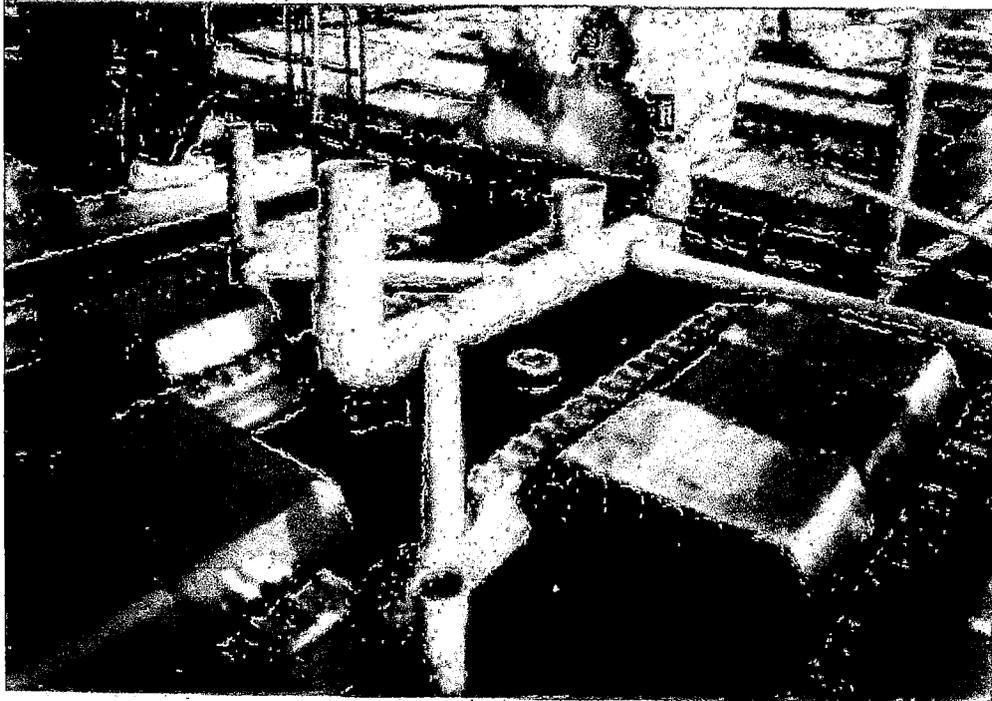
En caso que la tubería tenga que atravesar la vigueta, esta se podrá atravesar hasta 5 cm. (máximo) siempre y cuando:

- a. Se entable en dicha zona
- b. Se mantenga un recubrimiento de 2 cm. en la losa, caso contrario se recomienda utilizar losa maciza, falso techo o crear un desnivel en la losa (tipo bandeja)
- c. Si la tubería va dentro de los 30 cm. de la zona de conexión viga vigueta: Se debe ensanchar con concreto esa zona.
- d. Solo se puede picar 2 o 3 viguetas dependiendo de la longitud del paño.

Nota: No se pican las viguetas en la zona del tercio central de la losa.



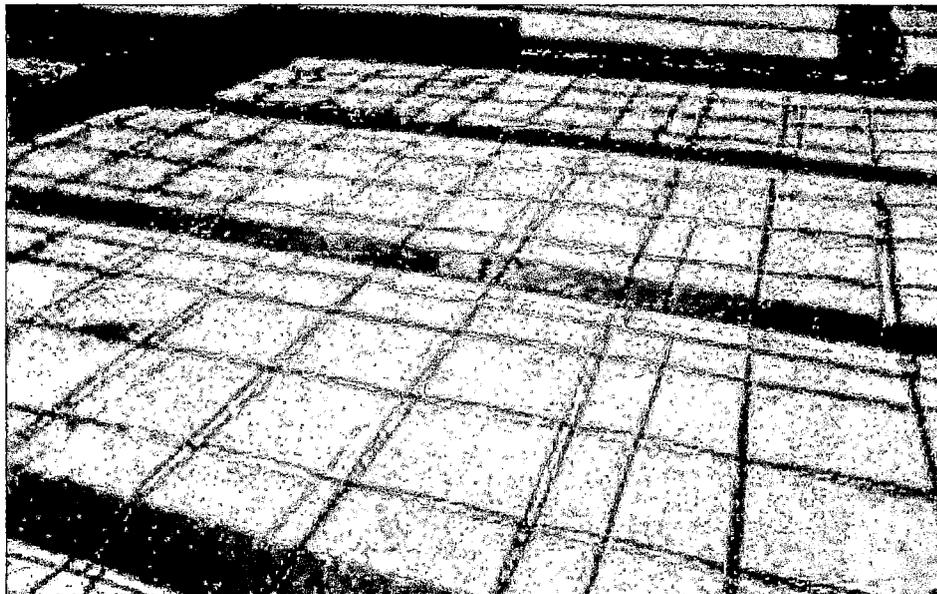
Fot.51. Instalaciones Sanitarias



Fot.52. Fotos de instalaciones sanitarias

#### 4.3.2.9. Colocación de la malla electrosoldada

La malla soldada se corta en el piso al tamaño deseado, se sube la losa en construcción y se amarra con alambre recocido.



Fot.53. Colocación de la malla electrosoldada

#### 4.3.2.10. Limpieza y Mojado.

Una vez concluida la colocación de complementos, armado de aceros negativos (especificado en planos), instalaciones sanitarias, eléctricas y la malla de temperatura; hay que barrer todo residuo de tierra, yeso, cal u otras impurezas que evitan la adherencia entre viguetas y el concreto y luego humedecer las bovedillas y las viguetas. Se deben mantener los complementos y las viguetas húmedas hasta el momento de vaciar la losa de concreto.

Cuando se vierta el concreto para formar la capa de compresión, el ladrillo todavía debe estar húmedo, de esta forma se logrará una buena adherencia y se disminuirá el riesgo de marcas en el cielorraso.

Se recomienda incorporar dentro de la capa de compresión una malla de acero con el fin de controlar las contracciones de fragüe.



Fot.54. Regado de la losa previo al vaciado

#### 4.3.2.11. Vaciado de Concreto.

El vaciado debe efectuarse en forma paralela a las viguetas, cuidando que llenen muy bien todos los espacios y cubra como mínimo una carpeta de 5 cm de espesor sobre los complementos. Proceder con el curado del concreto en forma convencional. Se recomienda mantener el concreto húmedo durante 7 días.

Se realizará en una sola operación, y una vez endurecido se debe tratar de mantenerlo húmedo regándolo y cubriéndolo con bolsas mojadas o una película de polietileno

- a. **Regar la losa:** Con un chorro de agua para garantizar la unión vigueta losa. Además que las bovedillas tienen mayor áreas que las tradicionales y absorben mayor cantidad de agua.
- b. **Mantener siempre húmedas las bovedillas:** A menudo se mojan las bovedillas y viguetas sólo al comenzar los vaciados y se descuidan los últimos tramos.
- c. **Slump:** Deberá ser de 3 ½" para asegurar un concreto denso pero a la vez debe cuidarse de rocear agua en cuanto se pierda la película superficial de agua de la losa (proceso de exudación) Si la losa no se rocea con agua para mantenerla húmeda no se podrá controlar la formación de fisuras.
- d. **Reglear:** En forma paralela a las viguetas.
- e. **Vibrado:** Y regleado evitando el sobre vibrado que puede generar segregación en la mezcla. En sistemas aporticados las vigas tienen mucha congestión de fierro y si no se llenan con concreto superplastificante y/o no se realiza un buen vibrado, se inducen fisuras sistemáticas en las vigas por efecto de contracción, que no son fallas estructurales pero deben ser controladas: Con un óptimo vibrado, mojando todos los elementos que están en contacto con el concreto a vaciar o ensanchando 10 cm. Con concreto las zonas adyacentes a las vigas.
- f. **Juntas:** Las vigas y losas deben ser vaciadas al mismo tiempo. Vaciar vigas hasta el nivel inferior de la losa crean una junta innecesaria y perjudicial para el esfuerzo rasante.

Si se desea vaciar en distintas etapas, se recomienda dejar juntas en el tercio central de las vigas

La capa de compresión es la capa de concreto premezclado que queda encima de las bovedillas, el grosor es de 5cm; actúa como una pequeña losa apoyada sobre las viguetas prefabricadas.

Nota: si se utiliza casetones de poliestireno, caminar y llevar carretillas sobre tabloncillos.



Fot.55. Vaciado de la losa

#### 4.3.2.12. Curado del concreto

- Rosear agua en cuanto se pierda la película superficial de agua en la losa.
- El curado de la losa (por lo menos 4 días) es sumamente importante para impedir la formación de fisuras. El tiempo en que se debe iniciar el curado dependerá de las condiciones climáticas.
- Si durante el vaciado el clima está soleado y/o hay presencia de viento, las bovedillas y las losas in situ secarán más rápido y las contracciones por temperatura serán en mayor cantidad. Se recomienda tener a una persona pendiente de curar la losa.

#### 4.3.2.13. Despuntamiento

El profesional a cargo de la obra decidirá cuándo se debe desapuntalar. Habitualmente se estima en 15 días después del llenado de la losa, dependiendo de la temperatura ambiente.

La resistencia mínima que debe tener un concreto para desencofrar con seguridad es de 140 kg./cm<sup>2</sup>.

Cuadro de números de días mínimos que se deja la losa encofrada (varía de acuerdo al desarrollo de la obra).

**Cuadro #19: Tiempo para realizar el despuntamiento**

Luces de los paños	Entrepiso	Azotea
0.00-3.00 m	5 días	4 días
3.00-4.50 m	5 días + 7 días *	4 días
4.50-5.50 m	7 días + 7 días *	5 días
5.50-7.00 m	15 días + 7 días *	6 días

(\*) Recimbrado: se despuntala y se vuelve a apuntalar con soleras a 2.50 m y puntales a 2.00 m

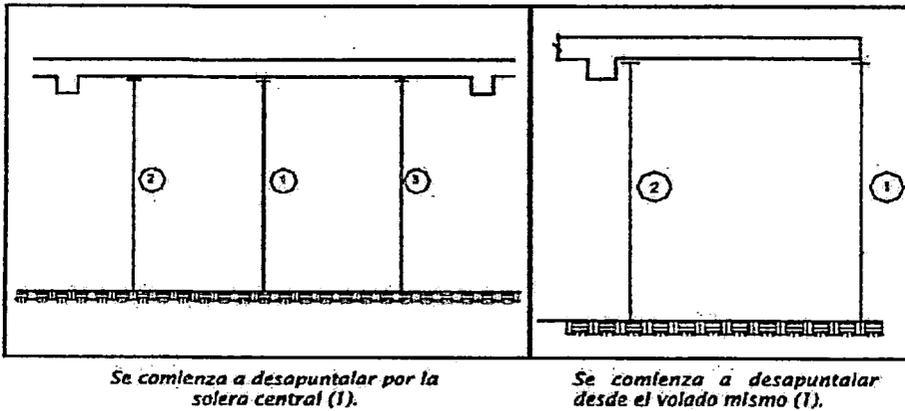
Importante:

- Esto no incluye el despuntamiento de las vigas.
- Se debe dejar dos juegos de apuntalamiento para que resistan la losa siguiente (la tercera losa)

#### Orden para empezar a desencofrar

- a. Se comienza a despuntalar por la solera central
- b. en caso de un volado se comienza a despuntalar por esto

**Orden para empezar a desencofrar**



**FIG. 5.- Orden por donde se comienza a desapuntalar.**

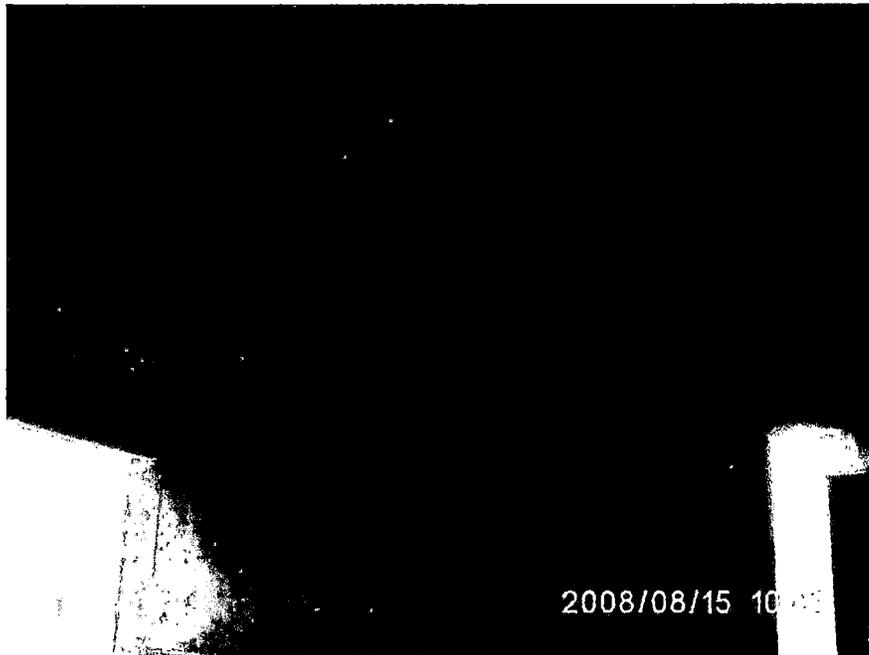
Fig. 56. Orden para empezara desencofrar

**4.3.2.14. Acabado.**

- Los techos pueden ser tarrajados, escarchados o dejados expuestos en zona de sótanos
- Se recomienda adicionar cal para mejorar la adhesión y trabajabilidad de la mezcla en una proporción cemento cal: A.F 1:1/2:5
- Se recomienda mojar la losa al día siguiente de haber tarrajado, sobre todo e último nivel.



**Fot.56. Trabajos de acabado de la losa**



Fot.57. Acabado en proceso

#### 4.3.3. Personal requerido (Ver Capítulo VI – Análisis de precios unitarios)

**Cuadro #20: Personal necesario por actividad - sistema Firth**

Actividad	Personal			
	Capataz	Operario	Oficial	Peón
Encofrado y Desencofrado	0.10		1.00	1.00
Colocación del Acero de Refuerzo	0.10	1.00	1.00	
Colocación del ladrillo hueco	0.10			4.00
Colocación de las viguetas	0.10	1.00		4.00
Vaciado del concreto	0.10	3.00	1.00	4.00

#### 4.3.4. Rendimientos (Ver Capítulo VI – Análisis de precios unitarios)

**Cuadro #21: Rendimiento por actividad - sistema Firth**

Actividad	Unidad	Rendimiento x día
Encofrado y Desencofrado	m2	130.00
Colocación del Acero de Refuerzo	kg	200.00
Colocación del ladrillo hueco	und	1500.00
Colocación de las viguetas	ml	260.00
Vaciado del concreto	m3	75.00

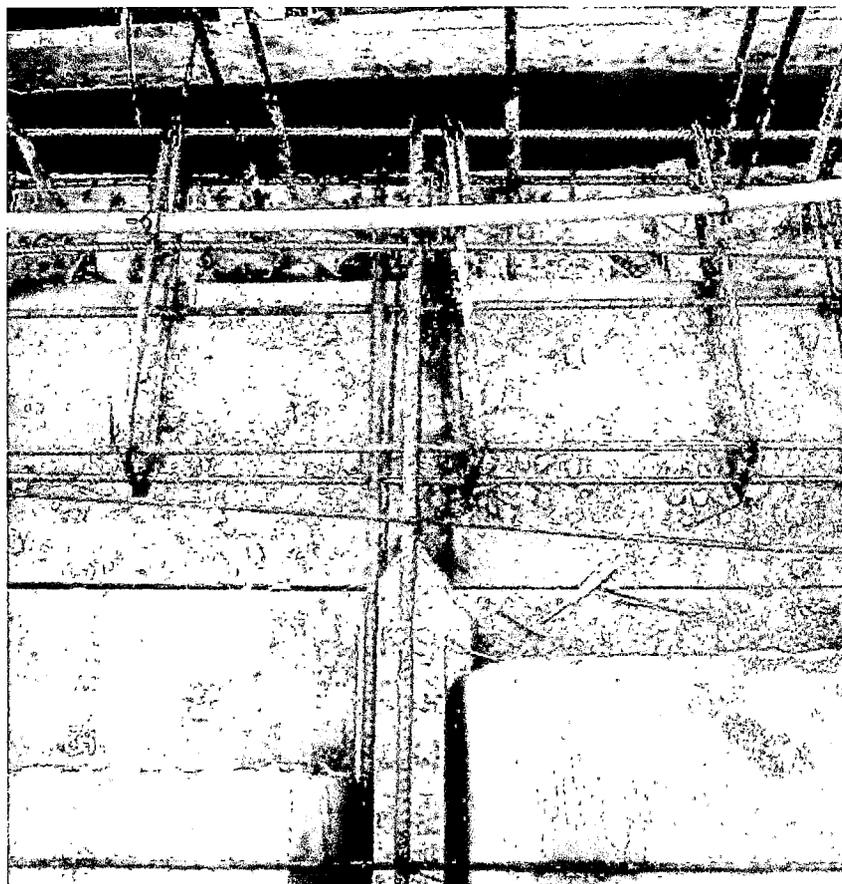
#### 4.4. Después de la ejecución (control de calidad)

Luego de haber ejecutado la losa se deberá controlar todo lo concerniente a ladrillos de techo, fierro y concreto. En la siguiente sección se revisaran los errores más usuales y las recomendaciones y consideraciones del caso.

#### 4.5. Identificación y Solución de los errores más usuales

##### 4.5.1. Solución en caso que en la última hilera no encaje una bovedilla entera

En caso de no coincidir la longitud de la losa con las bovedillas se recomienda encofrar la parte de la losa que no ha sido cubierta con las bovedillas.



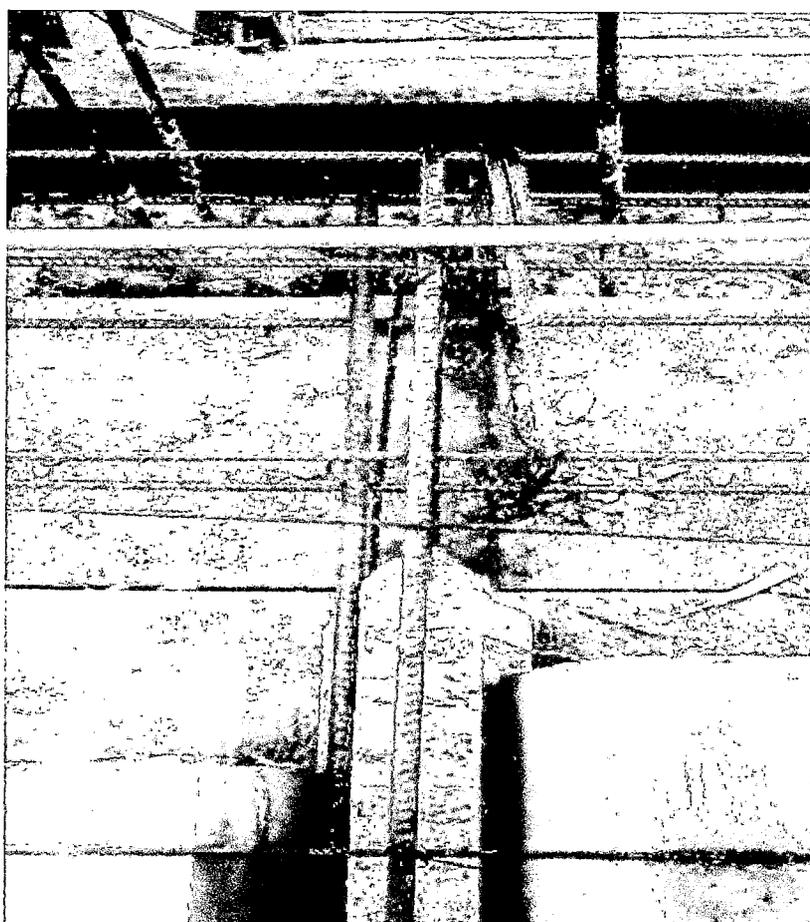
Fot.58. Bovedillas no lleva a la viga

#### 4.5.2. Viguetas muy cortas

Este no es un problema que sea muy común en la obras, pero igual existe la probabilidad que esto suceda. La solución a este problema es colocar atortoladas des la viga hasta 80 o 100 cm dentro de la losa (dependiendo de la sección de acero) los aceros requeridos en el plano de estructuras, encofrar toda el área y vaciarla esta parte como si fuese una losa maciza.

#### 4.5.3. Viguetas muy largas

Para solucionar este problema se aplica el procedimiento para obtener los cables vistos (Ver Ítem 5.13)

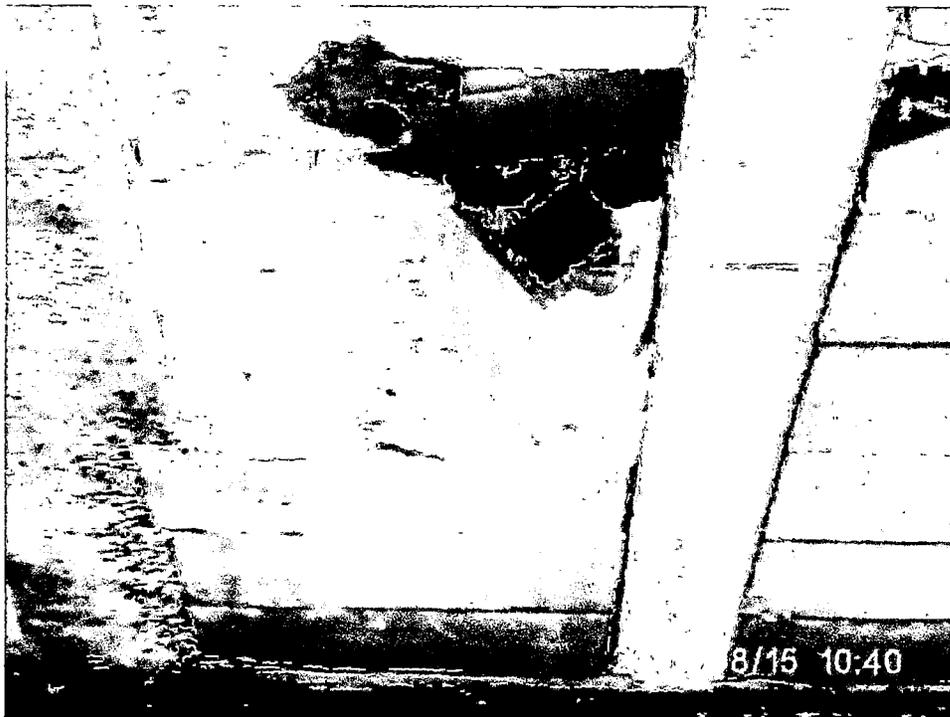


Fot.59. Cables vistos para empalmar vigueta a viga

#### 4.5.4. Bovedillas rotas al caminar

A pesar que las bovedillas utilizadas por FIRTH cumplen con la norma y han pasado los ensayos de flexotracción, pero una vez colocadas estas muchas veces no soportan los golpes producidos en obra y tienden a romperse poniendo en riesgo al personal que transita por la zona y por el piso inmediato inferior.

Las soluciones son variables, se puede entablar la zona para poder caminar con seguridad, y simplemente tener cuidado y caminar por las viguetas, intentando pisar lo mínimo las bovedillas.



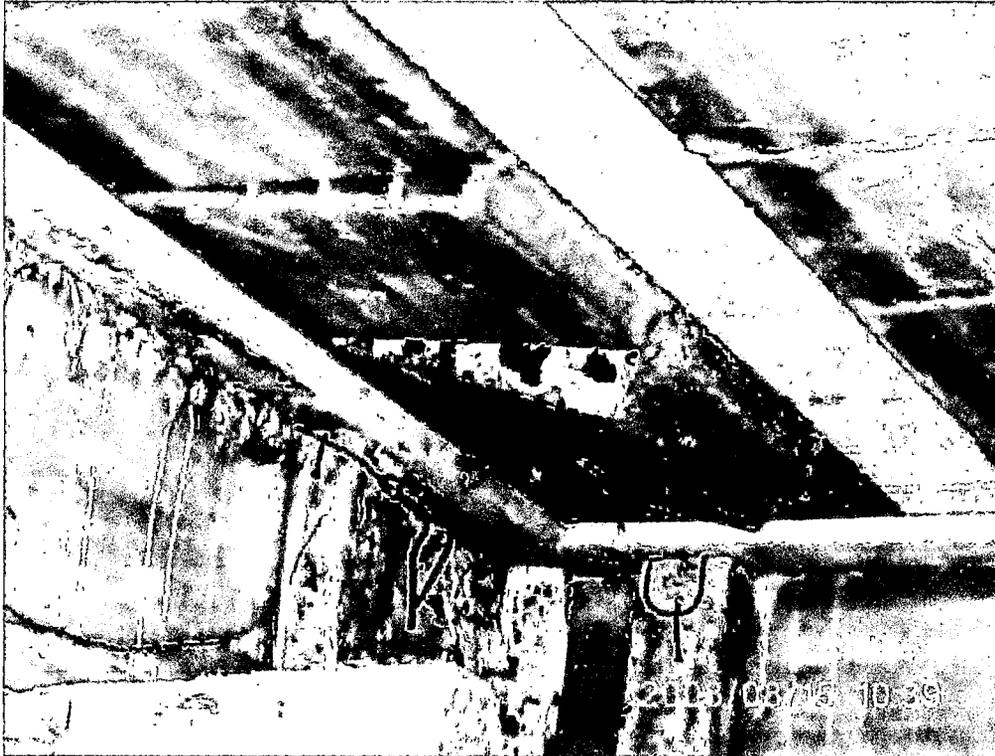
Fot.60. Bovedillas rota al caminar

#### 4.5.5. Bovedillas mal colocadas

Una deficiencia del sistema FIRTH es la geometría de la viguetas, la cual no permite el correcto apoyo de las bovedillas al momento de la colocación, lo que produce que las bovedillas se resbalen al momento de ser pisadas poniendo en cierto peligro al personal y como en este caso, logrando un problemas en el momento del acabado.

La solución es:

- Revisar la losa antes del vaciado para corregir estos imperfectos.
- Si el error no fue corregido al momento del vaciado, en la etapa del acabado se tendrá que romper las bovedillas y colocar una malla de acero con el fin de colocar el acabado.



Fot.61. Bovedilla mal colocada

#### 4.5.6. Izaje de las viguetas / Transporte de bovedillas

El izaje de viguetas puede ser muy tedioso si es que no se realiza de la manera adecuada, podría causar más de un inconveniente, sobretodo en el tiempo que tomaría subir cada viguetas, para dar una idea, a un 4to piso, las viguetas subidas de manera adecuadas demoran aprox. 2.5 m (todo el ciclo), en cambio un izaje mal realizado duran aprox. El doble de tiempo.

Asimismo, el transporte de bovedillas recomendado es mediante el winche, ya que manualmente puede tardar 5min por bovedilla (asumiendo transporte de nivel 0 al 4to piso).

#### **4.5.7. Acero o instalaciones sanitarias atraviesan transversalmente a las viguetas.**

Es común que los planos hayan sido realizados considerando una losa aligerada convencional y que gracias a las diferentes tablas de conversión hayan sido adaptadas al sistema FIRTH, lo cual crea en muchos casos problemas con la ubicación de las instalaciones sanitarias que cruzan a las viguetas y que obligan a pican la vigueta (Ver Ítem 5.10)

#### **4.5.8. Ladrillos sin humedecer**

Aproximadamente 5 horas después del vaciado, la losa debe ser curada con agua, estos para evitar las fisuras y futuros problemas estructurales, pero en muchas ocasiones este curado no es suficiente ya que el agua se evapora debido a muchos factores, principalmente al viento, calor, bovedillas sin humedecer, etc.

La solución es mojar las bovedillas antes minutos antes del vaciado, y cubrir la losa del viento, todo esto para evitar que el agua se evapore con mayor rapidez y lograr un curado adecuado.



Fot.62. Mojado de la losa

#### 4.5.9. Problemas con las instalaciones sanitarias

Se recomienda reubicar las instalaciones sanitarias de manera que estas pasen en su mayoría paralelas a las viguetas, esto para evitar picar las viguetas (Ver 5.10).

La solución que presenta FIRTH para este problemas son las bandejas sanitarias que lo que hacen es dejar pasar los tubos de desagüe de manera sencilla.



Fot.63. Bandejas sanitarias



Fot.64. Uso de las bandejas sanitarias

#### 4.5.10. viguetas rajadas al ser picadas

El principal problema que presenta el pretensado es que al momento de picar la vigueta con la finalidad de pasar un refuerzo o instalación sanitaria, este tiende a rajarse debido a la tensión existente en la vigueta, lo cual dificulta el trabajo de los obreros al momento de realizar esta tarea.



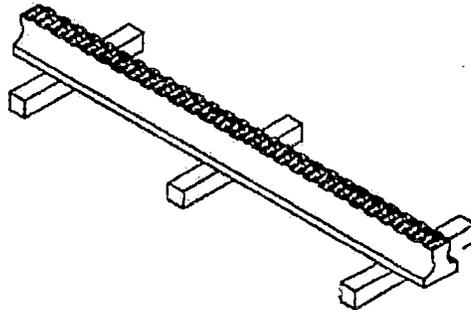
Fot.65. Vigueta rota por mal picado

#### 4.5.11. No se hizo contraflecha al momento del apuntalamiento

Al quitarles los puntales a la losa, esta tiende a producir una flecha, la que usualmente es equiparada con la contraflecha, si se da el caso de no haber considerado esta contraflecha, la contraflecha puede darse hasta 1 día después del vaciado, aunque no es muy recomendable.

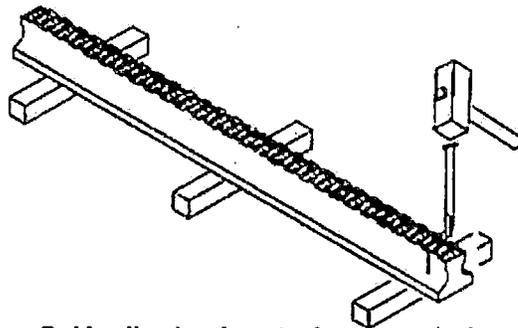
#### 4.5.12. Procedimiento para obtener cables vistos en la vigueta

##### a. Viguetas sobre listones. (Fig.57)

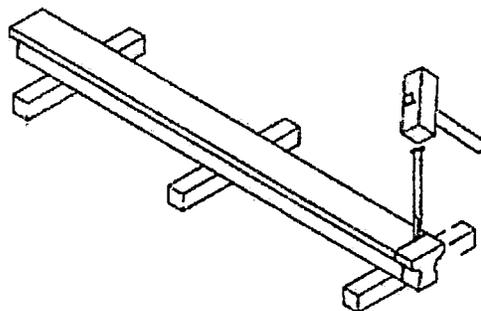


1. Viga sobre listones

##### b. Marcar la viguetas (con amoladora o cincel) en la zona superior y luego la inferior. (Fig.58,59)

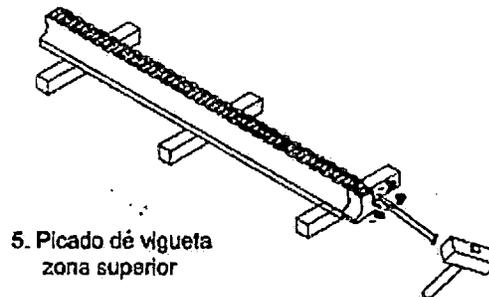
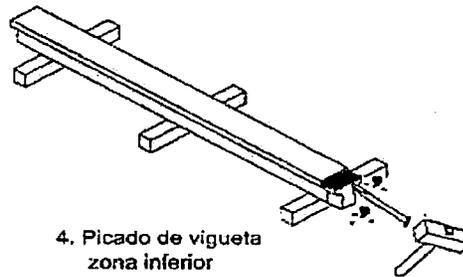


2. Huella de vigueta (con amoladora o cincel)  
zona superior

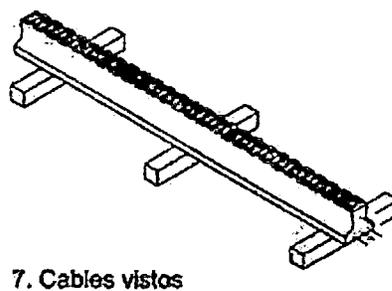
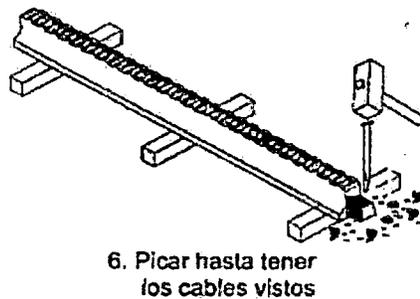


3. Huella de vigueta (con amoladora o cincel)  
zona inferior

- c. Profundizar la huella en la vigueta en la zona inferior y luego en la posterior, Eliminar el concreto por el lado más ancho y luego por el más angosto. (Fig.60,61)



- d. Picar hasta tener los cables vistos. (Fig.62,63)



## **CAPÍTULO V.- ANÁLISIS DEL SISTEMA DE LOSA ALIGERADA USANDO VIGUETAS ARMADAS TODOCEMENTO**

### **5.1. Cálculo**

El cálculo estructural se realiza de la misma forma que el cálculo para la losa aligerada convencional con la salvedad que el acero positivo es reemplazado en un porcentaje por el tralicho (2 varillas de 7mm) y el resto con varillas de acero corrugado según la cuantía requerida.

### **5.2. Control de calidad antes de la ejecución de la losa**

El control de calidad en la losa es el mismo que el que se realiza en el caso de Firth, para mayor detalle ver CAPÍTULO IV. 4.2

### **5.3. Durante la ejecución**

Ver CAPÍTULO IV. 4.3

#### **5.3.1. Control de calidad**

Ver CAPÍTULO IV. 4.3.1

#### **5.3.2. Proceso constructivo**

##### **5.3.2.1. Apilación, Almacenamiento en obra y Manipuleo.**

Las viguetas son transportadas en las unidades sobre cuarterones de madera de propiedad de **TODOCEMENTO**. Para el almacenamiento en obra el Cliente proporcionará retazos de fierro de construcción a fin de que descansen sobre estos, recomendándose que la primera hilada descansa sobre cuarterones de madera. Se deberá tener cuidado de que estén verticalmente alineados y apoyados sobre una superficie plana.

Las viguetas deben ser manipuladas y apiladas en posición de «T» invertida (con su patín hacia abajo) y sobre una superficie plana (primer listón a 30cm de los extremos). Para el apilamiento, se deben colocar listones próximos a los extremos de las viguetas plana (primer listón a 30cm de los extremos).

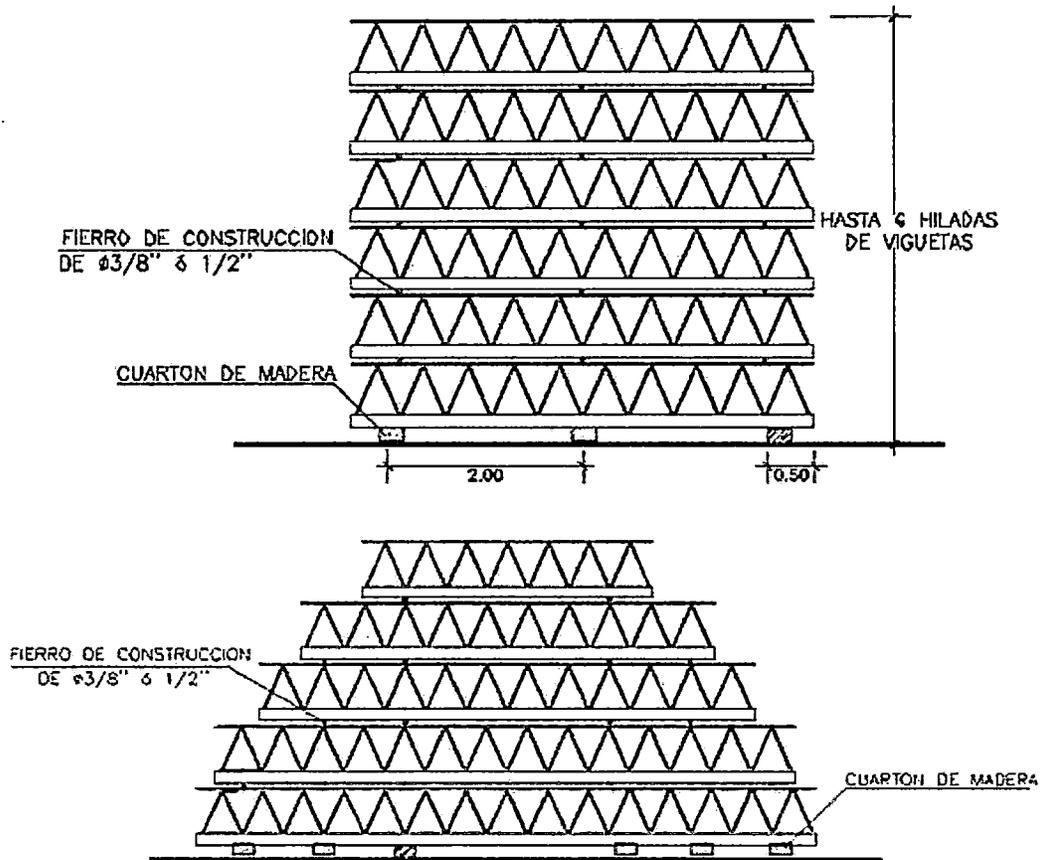


Fig. 64, 65. Apilación recomendada por TC

Debido a que las viguetas del **SISTEMA LOSA-FAST** son livianas, el manipuleo es efectuado por 2 personas debiendo tener cuidado de que para longitudes de viguetas mayores a 3.50 m. las viguetas deben suspenderse no por sus extremos sino a 50 cm. de ellos.

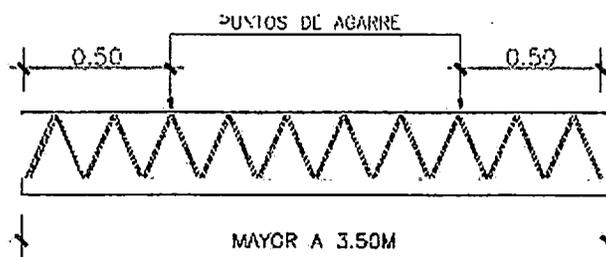


Fig. 66. Manipuleo correcto de la viga

Asimismo, a efectos de seguridad estos deben ser manipulados en el punto de unión entre el horizonte superior y los diagonales como muestra el diagrama inferior.

### 5.3.2.2. Nivelación de los muros. (Ver CAPÍTULO IV. 4.3.2.2)

### 5.3.2.3. Izaje.

Dependerá del equipamiento que tenga la obra. Puede ser manual, con poleas, winche o grúa.

En el caso que sea manual o con polea el izaje será efectuando una viga a la vez en forma vertical.

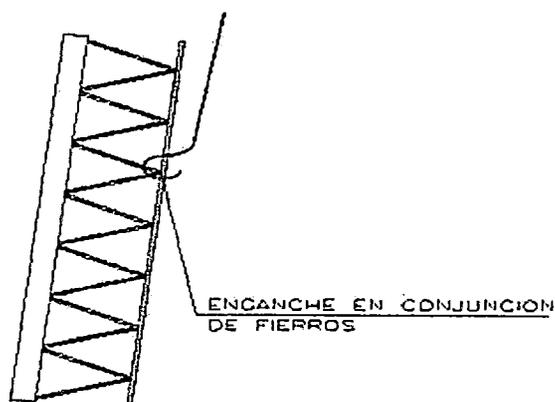


Fig. 67. Izaje de la viga TC

En el caso de winche dependerá de la capacidad de éste. **TODOCEMENTO** cuenta con un aditamento especial pudiéndose izar hasta 8 viguetas a la vez en forma vertical.

La vigueta deberá engancharse siempre en la conjunción de los fierros.

Una manera adicional para el izaje de las viguetas es cuando las propias las constructoras usan ganchos, como se ve en la figura.



Fot.66. Herramienta de izaje TC

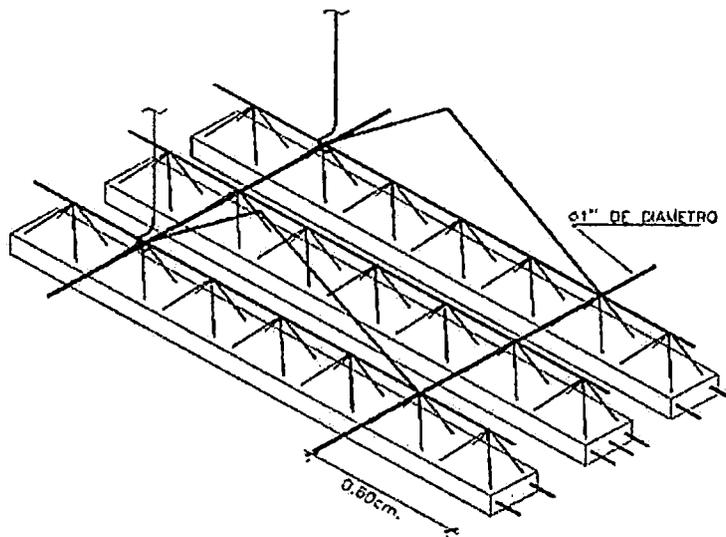


Fig. 68. Izaje apoyado con fierro de construcción

#### 5.3.2.4. Montaje de las viguetas

Elevación y colocación de viguetas, se realizará manualmente o con grúa, en caso de longitudes que sobrepasen los 5.00 m colocándose paralelamente una seguida de la otra.

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOSAS ALIGERADAS UTILIZANDO VIGUETAS PREFABRICADAS FIRTH, VIGUETAS ARMADAS TODOCEMENTO Y VIGUETAS VACIADAS EN OBRA

Las viguetas se colocan en forma manual sobre los muros cargadores. Deberán apoyarse sobre los muros o elementos cargadores por lo menos 5 cm. Por ejemplo, si se tiene un claro libre de 3.00 m, mas 5 cm de apoyo en cada muro, la vigueta requerida deberá tener 3.10 m de longitud total.

Una vez encofradas y armadas las vigas se procede a la instalación de las viguetas. Para ello se deberá identificar las viguetas usando el plano de montaje que será proporcionado por TODOCEMENTO.

Para la colocación de las viguetas se deberá ubicar una persona sobre cada lado de la viga en forma longitudinal a la vigueta a instalar. Subir la vigueta, enganchándola con un fierro doblado en forma de "s" de  $\frac{3}{8}$ " amarrada a una soga, a fin de elevarla al nivel de la losa. Tener extremo cuidado de que el enganche se haga en la conjunción de fierros tal como se indica en las páginas 8 y 9.

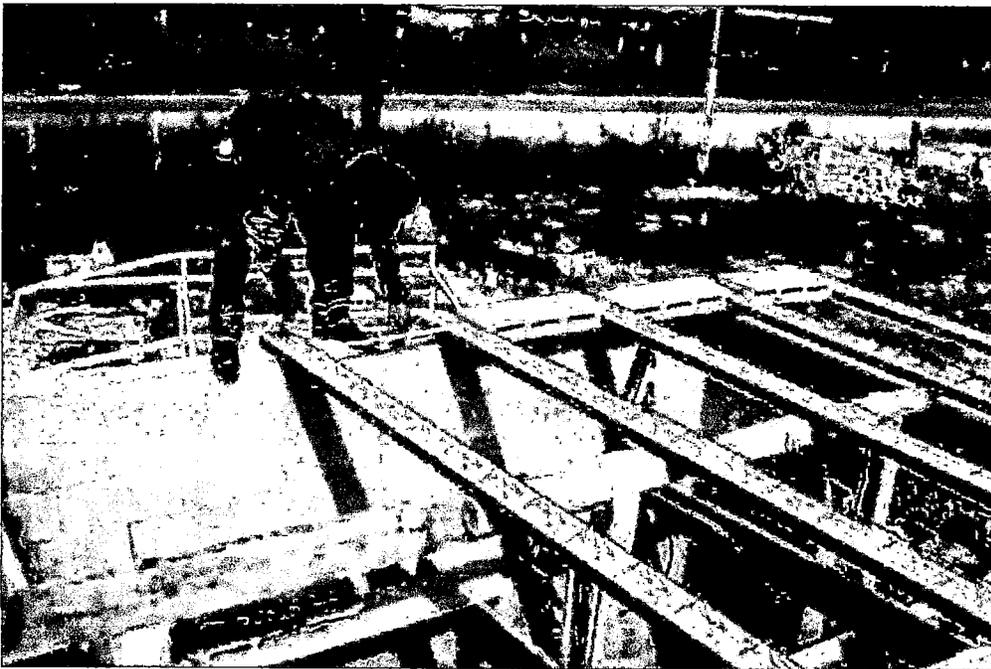
Subida la vigueta, esta se apoya sobre la cara lateral de la viga si fuera de estructura aporticada o sobre una solera previamente nivelada si fuera albañilería confinada armada o muro de concreto. Se deberá tener cuidado en no apoyar la vigueta sobre el muro ya que este difícilmente está alineado pudiéndose presentar ondas en la losa y/o rotura de la losa de concreto de la vigueta.

Las viguetas han sido fabricadas de acuerdo a la luz libre entre apoyos con 2 cm. de concreto adicional a cada lado, chocando con el estribo de la viga. Adicionalmente, los aceros, ya sea del tralicho y los del refuerzo adicional en caso lo tuviera, también sobresalen del concreto de la vigueta 2 cm. a cada lado. Con ese acero adicional se consigue el anclaje adecuado del acero positivo a la viga.

Para seguir colocando las viguetas, se colocarán bovedillas a los extremos de cada fila como elementos para distanciar homogéneamente las viguetas.



Fot.67. Izaje manual de viguetas



Fot.68. Colocación de viguetas

### 5.3.2.5. Apuntalamiento.

De acuerdo a sus características el sistema de vigueta armada es autoportante debido a la inercia del tralicho (no requiere cimbra de contacto ni apuntalamiento) hasta 3.0 ms, por lo que en claros mayores es necesario apuntalar siendo este apuntalamiento el que menos materiales y mano de obra utiliza con respecto a los sistemas tradicionales.

Como recomendación Para el apuntalamiento del **SISTEMA LOSA-FAST®** se emplean soleras de madera de 2" x 4" perpendicular a las viguetas con una separación hasta de 1.50 m.; por lo tanto para luces menores de 3 m. bastará un solo eje de soleras, para luces entre 3.00 y 5.00 m. 2 ejes de soleras porque al vaciar la losa de compresión se pueden usar bombas y al acumularse el concreto provoca altas concentraciones de carga.

Deberán colocarse soleras (3"y 4") perpendiculares a las viguetas a una distancia de 2.00 m aproximadamente. La separación entre puntales será de 1.50 m. El despuntalamiento se efectuará una vez que la losa de concreto haya alcanzado la resistencia requerida.

Es necesario levantar un apuntalamiento provisorio que sostenga las viguetas. Si los puntales se apoyan directamente en el terreno es conveniente colocar debajo, además de las cuñas, tablas para evitar el hundimiento de los puntales en el terreno.

**Cuadro #22: Separación entre soleras y entre puntales**

ALTURA DE LOSA	ESPACIAMIENTO	SOLERAS (3"x4")	PUNTALES (3"x4")
Hasta 20 cm.	@50 cm.	2.00 m *	1.50 m*
De 25 a 30 cm.	@50 cm.	1.80 m *	1.50 m*
Todas	@60 cm.	1.50 m *	1.50 m*

*Fuente: Manual de viguetas Todocemento*

Nota: Distancias máximas considerando soleras y puntales de 3"x4"



Fot.69. Apuntalamiento

Posteriormente a la colocación de los puntales se procede a nivelar la losa de forma tal de conferir una flecha de 3 mm. Por metro de luz. Los puntales se deben apoyar sobre una superficie rígida, en caso de apoyar sobre tierra, prever sobre los cuñas tablonés para la repartición de cargas, evitando así que el aumento de peso al vaciar el concreto hunda el puntal en el terreno.

El desencofrado se debe producir a los 7 días del vaciado.

#### **Condiciones para el apuntalamiento:**

- Separación excesiva de puntales y cuarterones.
- Acuña y nivelación defectuosos.
- Falta de arriostramiento general entre cuarterones y/o cruces San Andrés.
- Retiro prematuro de algunos puntales.
- Completar la colocación de los bloques sin haber apuntalado las viguetas para luces grandes de resultado inmediato es el doblado del alambre superior y la rotura del concreto de la vigueta con la consiguiente caída del material.

- Apuntalamiento sobre bloques de ladrillos a fin de lograr el apuntalamiento.
- Puntales con apoyos defectuosos (deberá apoyar toda la base).
- Empalme de puntales
- Puntales Esbeltos

### **5.3.2.6. Colocación de las Viguetas y Complementos (ladrillo de arcilla, concreto y poliestireno).**

Colocación de los bloques de arcilla, cuando todo el área se encuentre apuntalado y las viguetas repartirlas como lo indican las especificaciones.

El montaje también se hace en forma manual. Se colocan primero las bovedillas de los extremos para dar la separación adecuada entre viguetas.

El peso de las mismas depende de las dimensiones y del tipo de material con el que se fabrique.

Una vez apuntalada y nivelada la losa se procede a la colocación de las bovedillas restantes, de la misma manera que se han colocado las de los extremos entre vigueta y vigueta.

Se debe de colocar primero una fila de bovedillas a fin de verificar que se completa la fila adecuadamente sin dejar un extremo más separado o pegado que el otro. Si esto sucediera replantear nuevamente la colocación de esa fila a fin de jugar con el espesor de las soleras, más o menos 2" a cada lado.

Una vez que en ambos lados la bovedilla monte sobre el cuartón se procede a colocar el resto de filas.

Las bovedillas se pueden partir manualmente en el sentido longitudinal. Esta operación se realiza para uno de los extremos ya que difícilmente el terminal se logra con bovedilla entera.

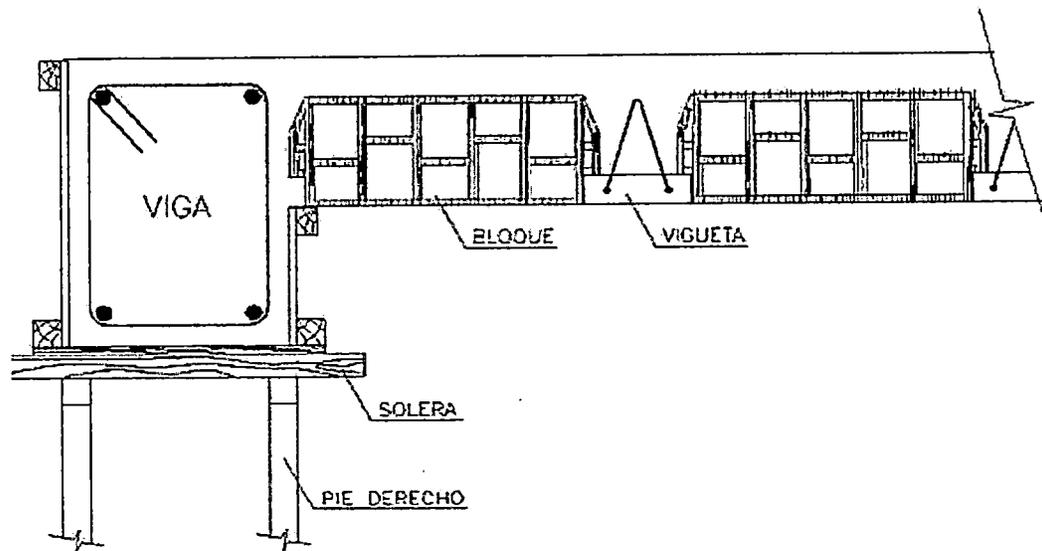


Fig. 69. Colocación de las viguetas y bovedillas

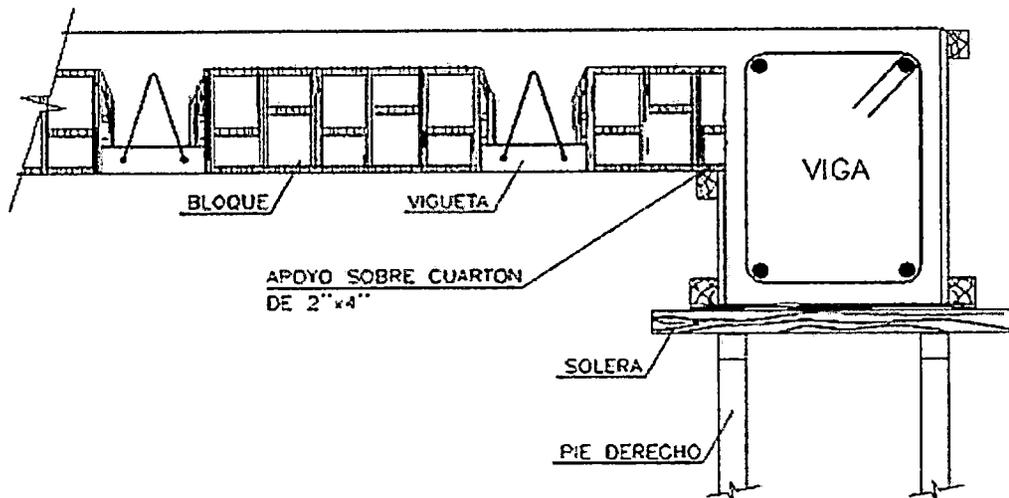


Fig. 70. Colocación de las viguetas y bovedillas

En caso que el plano indique un nervio central TODOCEMENTO cuenta con una bandeja especial de concreto de 10 cm. que se la denomina bandeja estructural. En este caso se debe de iniciar la instalación partiendo de esta bandeja y luego llenar la fila a cada lado de esta.

Se recomienda cegar las bovedillas de los extremos a fin de evitar que el concreto penetre en ellos.

### 5.3.2.7. Colocación del acero negativo

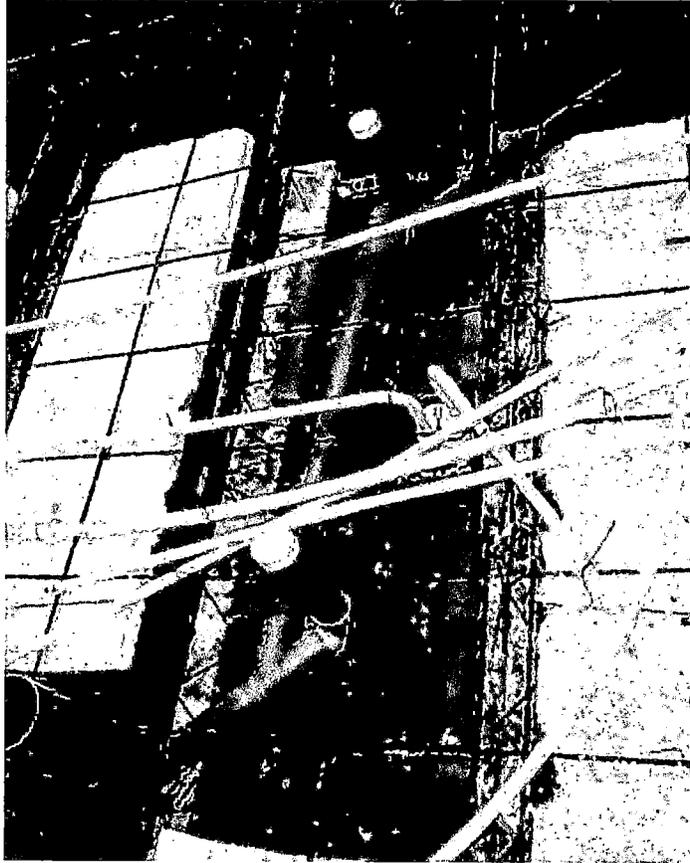
La malla soldada se corta en el piso al tamaño deseado, se sube a la losa en construcción y se amarra con alambre recocido a la varilla superior de las viguetas. Para espesores de capa de compresión de 3 y 4 cm la malla soldada es diseño 66 - 1010 y para un espesor de 5cm la malla a utilizar es la 66 - 88.



Fot.70. Colocación de la malla electrosoldada

### 5.3.2.8. Instalación de cañerías y bocas de luz para la instalación eléctrica.

Después de que las bovedillas han quedado en su lugar, se colocan los tubos para la instalación eléctrica, estas se llevan por los muros y por los huecos de las bovedillas. Donde se requiera una salida de cielo se retira esa bovedilla. Así también se llevan a cabo las instalaciones hidráulicas y sanitarias que sean necesarias.



Fot.71. Instalaciones sanitarias

- 5.3.2.8. Colocación de las instalaciones sanitarias (Ver CAPÍTULO IV. 4.3.2.8)**
- 5.3.2.9. Colocación de la malla electrosoldada (Ver CAPÍTULO IV. 3.2.9)**
- 5.3.2.10. Limpieza y Mojado. (Ver CAPÍTULO IV. 3.2.10)**
- 5.3.2.11. Vaciado de Concreto. (Ver CAPÍTULO IV. 3.2.11)**
- 5.3.2.12. Curado del concreto (Ver CAPÍTULO IV. 3.2.12)**
- 5.3.2.13. Despuntalamiento (Ver CAPÍTULO IV. 3.2.13)**
- 5.3.2.14. Acabado (Ver CAPÍTULO IV. 3.2.14)**

### 5.3.3. Personal requerido (Ver Capítulo VI – Análisis de precios unitarios)

**Cuadro #23: Personal necesario por actividad - sistema TC**

Actividad	Personal			
	Capataz	Operario	Oficial	Peón
Encofrado y Desencofrado	0.10		1.00	1.00
Colocación del Acero de Refuerzo	0.10	1.00	1.00	
Colocación del ladrillo hueco	0.10			4.00
Colocación de las viguetas	0.10	1.00		4.00
Vaciado del concreto	0.10	3.00	1.00	4.00

### 5.3.4. Rendimientos (Ver Capítulo VI – Análisis de precios unitarios)

**Cuadro #24: Rendimiento por actividad - sistema TC**

Actividad	Unidad	Rendimiento x día
Encofrado y Desencofrado	m2	<b>130.00</b>
Colocación del Acero de Refuerzo	kg	<b>200.00</b>
Colocación del ladrillo hueco	und	<b>1500.00</b>
Colocación de las viguetas	ml	<b>260.00</b>
Vaciado del concreto	m3	<b>75.00</b>

## 5.4. Control de calidad después de la ejecución de la losa

Luego de haber ejecutado la losa se deberá controlar todo lo concerniente a ladrillos de techo, fierro y concreto. En la siguiente sección se revisaran los errores más usuales y las recomendaciones y consideraciones del caso.

## 5.5. Identificación y solución de los errores más usuales

### 5.5.1. Viguetas cortas que no llegan a la viga

Para este caso se debe colocar una tabla debidamente apuntalada y se procede a colocar el anclaje adecuado de la vigueta a la viga añadiendo armadura de acero de acuerdo a lo siguiente:

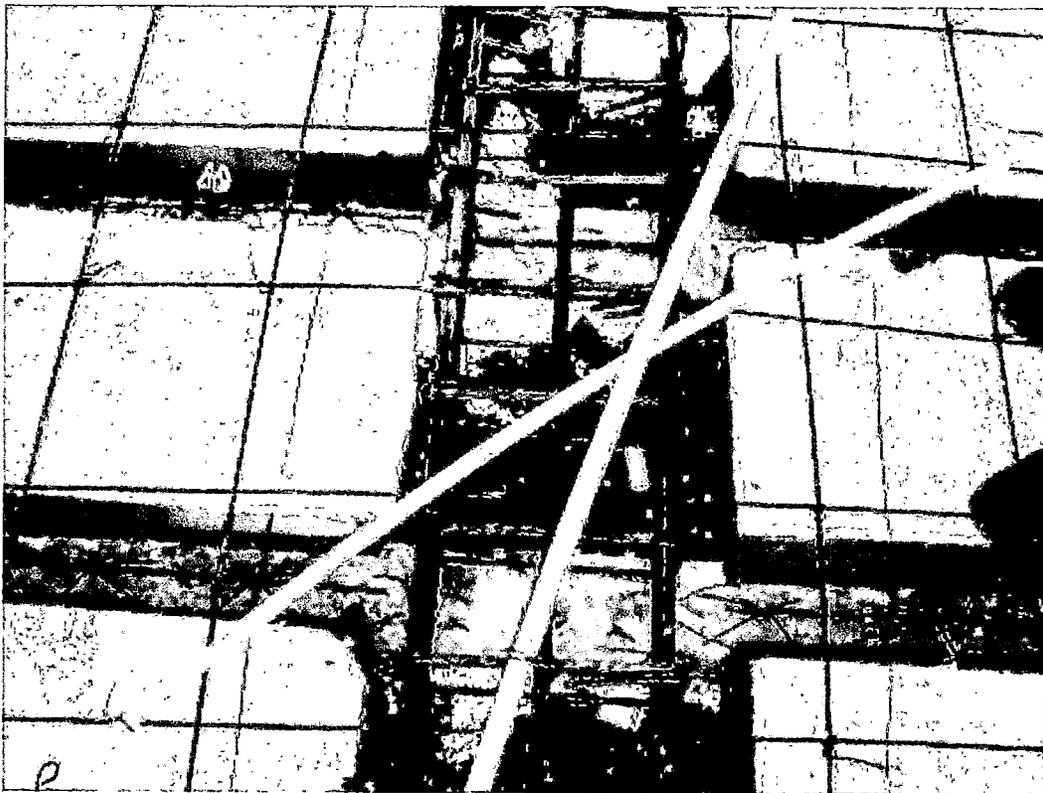
### Cuadro #25: Anclaje Vigüeta-Viga (Vigüeta Muy Corta)

Para luces menores de 3 m	: 2 bastones de 0.60 m + gancho de 0.10 m
Para luces de 3 ó 4 m	: 2 bastones de 0.80 m + gancho de 0.10 m
Para luces mayores de 4.5 m	: 2 bastones de 1.00 m + gancho de 0.10 m

#### 5.5.2. Vigüetas producidas con exceso de medidas

Cuando se presentan estos casos se corta la losa de concreto con golpes contundentes con el fin de llevar la vigüeta a la longitud requerida, posteriormente se cortan los fierros con una cizalla.

Para que el cortado de la vigüeta se ajuste a lo previsto, es conveniente acomodar el extremo de la vigüeta sobre una arista. Debe presionarse fuertemente el concreto de la vigüeta contra la arista en el momento de martillar su extremo.



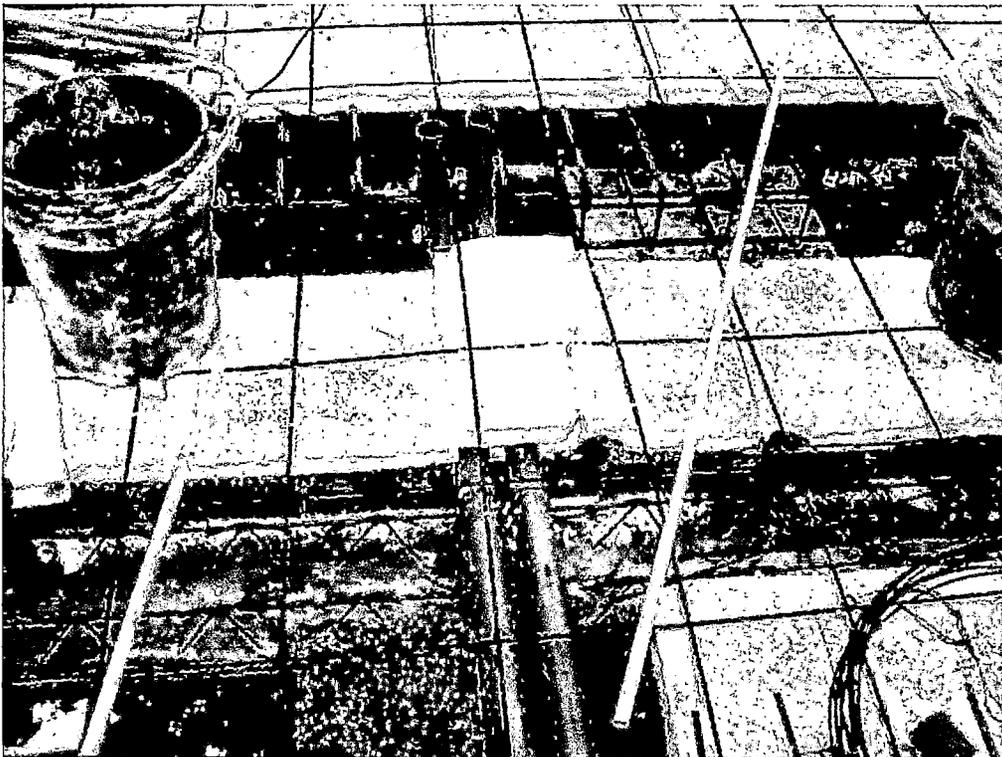
Fot.72. Solución en obra para vigüetas con mucha medida

### 5.5.3. Rotura del concreto de la vigueta

Cuando por deterioro en el transporte, almacenaje, manipulación, colocación, etc., aparece alguna vigueta fisurada en sitio y no puede ser remplazada por otra, es conveniente aplicarle un puntal, bajo la fisura detectada. En la mayoría de casos tal fisura no presenta mayor problema, salvo el necesario revestimiento para evitar corrosiones posteriores. El puntal puede retirarse al siguiente día del vaciado.

### 5.5.4. Rotura o corte del tralicho

Esta situación se parece a la anterior y aunque la vigueta no pueda cortarse se debe solucionar la continuidad de la armadura de la misma forma de la ya dedicada.



Fot.73. Viguetas cortadas para permitir el pase de instalaciones sanitarias

### 5.5.5. Doblado del acero de la vigueta

Cuando por razones idénticas a la anterior, aparezcan doblados los alambres del tralicho, resulta siempre conveniente aplicar un puntal bajo el punto doblado, antes de vaciar la losa.

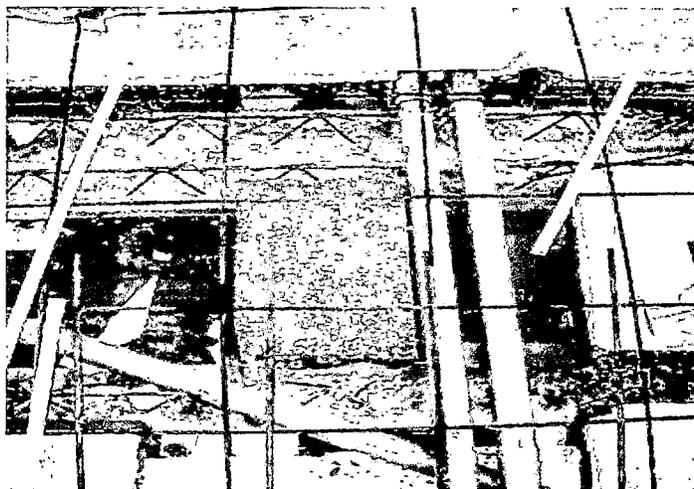
Cuando el alambre superior queda situado en el tercio central de cualquier vano circunstancial, debe colocarse un puntal bajo el doblado.

Cuando el doblado ocurre en el tercio próximo a cualquiera de los apoyos, o sobre los mismos apoyos (definitivos o no), no resulta necesario medida especial adicional durante el vaciado.

Si alguno de los alambres apareciera roto y no se pudiera sustituir el nervio afectado, es obligatorio introducir un puntal bajo el punto de rotura.

### 5.5.6. Instalaciones Eléctricas, Sanitarias o algún acero estructural cruzan las viguetas

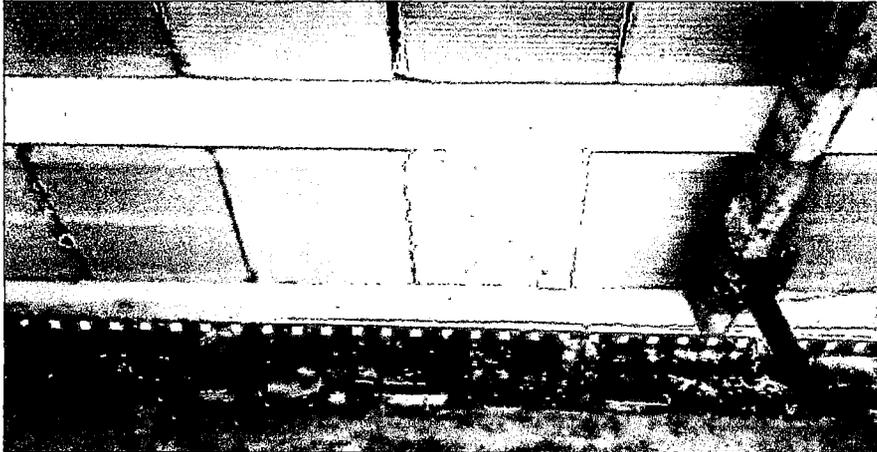
Usualmente el diseño de losas se realiza considerando un diseño convencional, por lo que no se considera que las instalaciones sanitarias podrían atravesar transversalmente a las viguetas prefabricadas, por lo que en estos casos habría que cortar el fierro expuesto (tralicho) y apuntalar tal zona.



Fot.74. Instalaciones sanitarias cruzan a la vigueta

### 5.5.7. Bovedillas o bandejas mal colocadas

Las bovedillas mal colocadas ocasionan un problema al momento del vaciado, puesto que estas cumplen la función de aligerar la losa y también sirven como encofrado de la misma. Se recomienda revisar la losa antes del vaciado y verificar la ubicación y el estado de las viguetas.

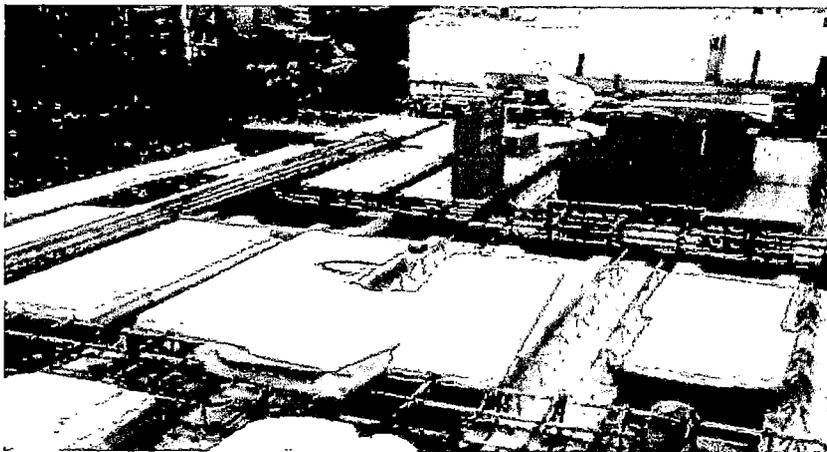


Fot.75. Bovedilla mal colocada

### 5.5.8. No se consiguen las bovedillas requeridas

Ya sea por un cambio estructural o por falta de abastecimiento puede suceder que no se puedan conseguir las bovedillas con la descripción requerida.

Una solución para este problema sería colocar una capa de tecnopor para lograr el espesor de losa buscado.

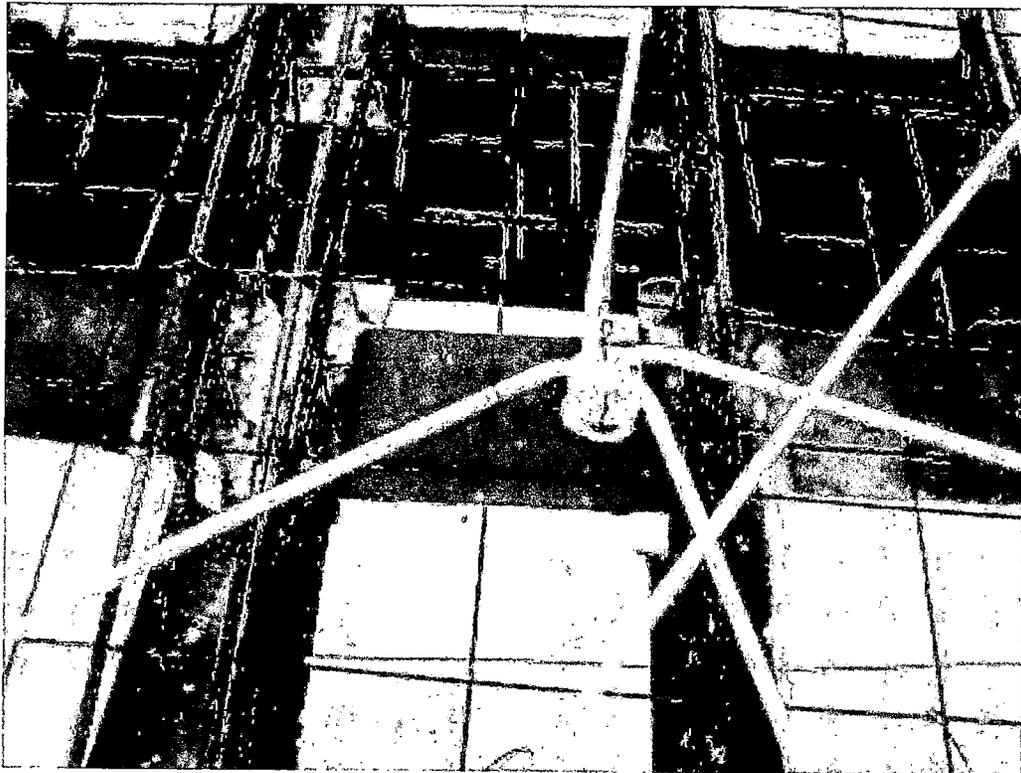


Fot.76. Bovedilla de menor altura que las requeridas

### 5.5.9. No se cuentan con suficientes bandejas

Cuando se realiza el pedido de viguetas, se deben considerar tanto las instalaciones sanitarias como las eléctricas, por lo tanto, se realiza un pedido (de acuerdo al metrado) de la cantidad de bandejas necesarias para las losas y a esto se le agrega un 5% de desperdicio, pero en algunos casos las bandejas pedidas no son necesarias.

Una solución sería realiza un trabajo extra en las bovedillas, haciendo perforaciones son ellas y colocándoles cajetines (en caso de instalaciones eléctricas), o simplemente encofrando la zona a trabajar.



Fot.77. Bovedillas utilizadas con bandeja eléctrica

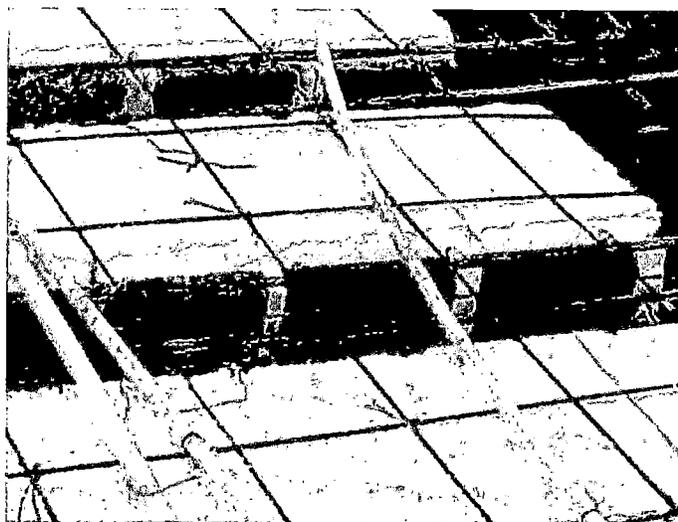
### 5.5.10. Bovedillas no empalman correctamente (no coinciden) al llegar a la viga.

En ninguna obra que se realice se va a encontrar que las bovedillas y/o bandejas encajen perfectamente en el ancho de la losa, y en todos los casos se va a tener que recurrir a ciertos artificios para realizar una buena ejecución.

Existen diferentes soluciones, la primera y más usada es cortar las bovedillas golpeándolas con un martillo. Otra solución es rellenar los espacios vacios con tecknopor con el fin de llenar los espacios vacios. Por último, se puede realizar un pequeño encofrado en la zona no cubierta por bovedillas y realizar el vaciado de la manera convencional.



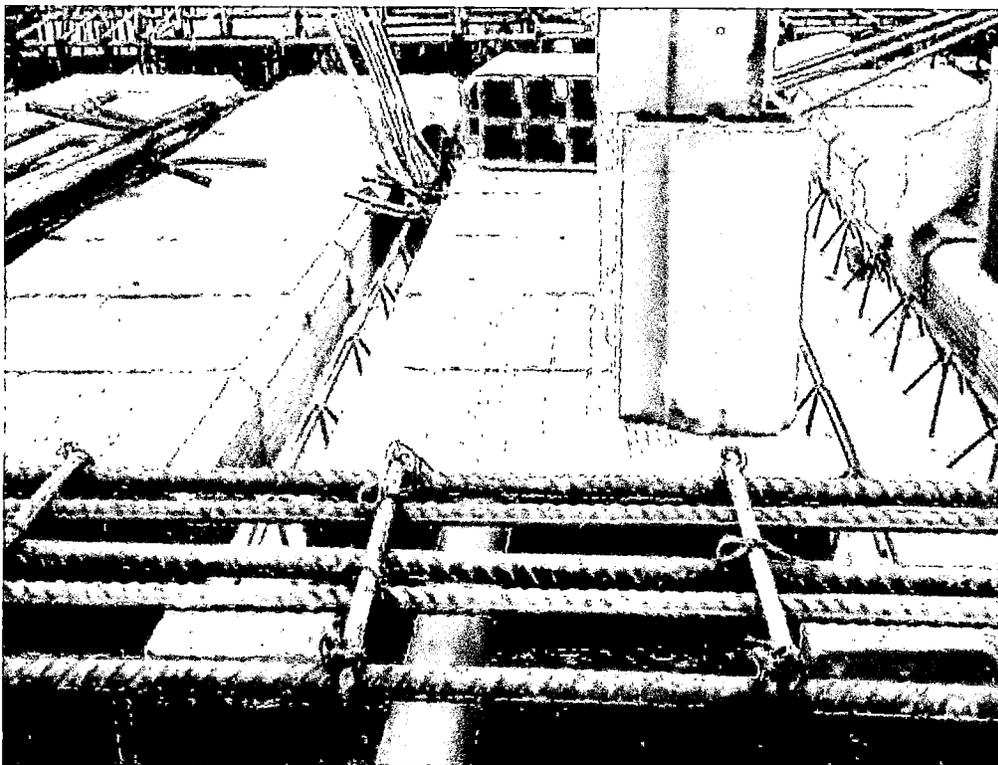
Fot.78. Bovedillas cortadas para adecuarse a la forma del techo



Fot.79. Bovedillas con tecknopor para lograr empalmar con la viga

### 5.5.11. Uso de las perforaciones de las viguetas en Instalaciones sanitarias

No siempre se tendrán que usar las bandejas para instalaciones sanitarias, ya que una opción que se puede tomar es la de pasar los tubos por los agujeros de las bovedillas y de esta forma ahorrar tiempo y concreto.



Fot.80. Pase de instalaciones por agujeros de la bovedilla

## **CAPÍTULO VI.- ANALISIS COMPARATIVO ENTRE LOS SISTEMAS DE LOSA ALIGERADA**

### **6.1. Parámetros de comparación**

#### **6.1.1. Apilación e izaje de viguetas**

El apilado en el primer nivel es realizado por la empresa que distribuye las viguetas, por lo que el trabajo se considera solo el transporte de las viguetas del primer nivel al nivel donde van a ser instaladas.

#### **6.1.2. Transporte de bovedillas / ladrillos huecos de techo**

AL igual que las viguetas el apilado en el primer nivel es realizado por la empresa que distribuye las bovedillas, por lo que el trabajo se considera solo el transporte de las bovedillas del primer nivel al nivel donde van a ser instaladas.

#### **6.1.3. Apunlamiento y despuntalamiento**

Todos los trabajos previos a la instalación de las viguetas como fondo de vigas, colocación de puntales y soleras, etc.

#### **6.1.4. Trazado (para la ubicación de ladrillos)**

Este procedimiento se realiza para poder ubicar correctamente los ladrillos de techo, no aplica para los sistemas de viguetas prefabricadas.

#### **6.1.5. Colocación de Viguetas y Bovedillas**

Este proceso incluye los trabajos de colocación de viguetas y bovedillas sobre la losa.

#### 6.1.6. Tipo de losa

En el caso del sistema convencional y el sistema Todocemento se puede realizar losas en uno y dos sentidos, mientras que en el sistema Firth solo se pueden realizar losas en un sentido.

#### 6.1.7. Acero de Refuerzo

Incluye la colocación del acero superior en todos los casos e inferior solo en el caso de la losa convencional.

#### 6.1.8. Instalaciones Eléctricas y Sanitarias

Este ítem incluye todas las instalaciones que se realizan en cada sistema. Cabe resaltar que Firth cuenta con bandejas sanitarias, mientras que Todocemento cuenta con bandejas sanitarias, eléctricas y estructurales.

#### 6.1.9. Vaciado

Esta ítem incluye los trabajos de mojado y vaciado de la losa, no se considera la preparación de la mezcla.

#### 6.1.10. Curado

Se considera el mojado de la losa luego de realizado en vaciado.

#### 6.1.11. Acabados

Todos los trabajos realizados después del curado.

## 6.2. Análisis Comparativo

Se presentan diferentes cuadros con la idea de ilustrar las bondades de cada uno de los diferentes métodos constructivos y para esto se han tenido en cuenta los parámetros de comparación antes mencionados.

El cuadro #26 muestra un análisis comparativo entre los tres sistemas considerando los factores:

- Volumen de Concreto: donde se puede apreciar que se tiene un ahorro de concreto del 25% y 22% en los casos de Firth y Todocemento respectivamente.
- Cantidad de aligerantes: que a pesar de no haber tanta diferencia, se puede apreciar que en el caso de Todocemento para losas @60 se usan 25% menos de aligerantes comparado con el sistema tradicional.
- Peso de la losa: existe un ahorro de hasta 16% de peso en la losa en el caso de Todocemento @60, logran así aligerar la estructura y disminuir la cimentación.

El cuadro #27 se muestra el análisis comparativo considerando cada uno de los parámetros de comparación mencionados en el capítulo VI, 1.

Adicionalmente se muestran los gráficos #1, 2 y 3, donde se puede ver claramente los efectos antes comentados.

**Cuadro #26: Análisis comparativos de los diferentes sistemas considerando los factores de volumen de concreto, cantidad de aligerantes y peso de la losa**

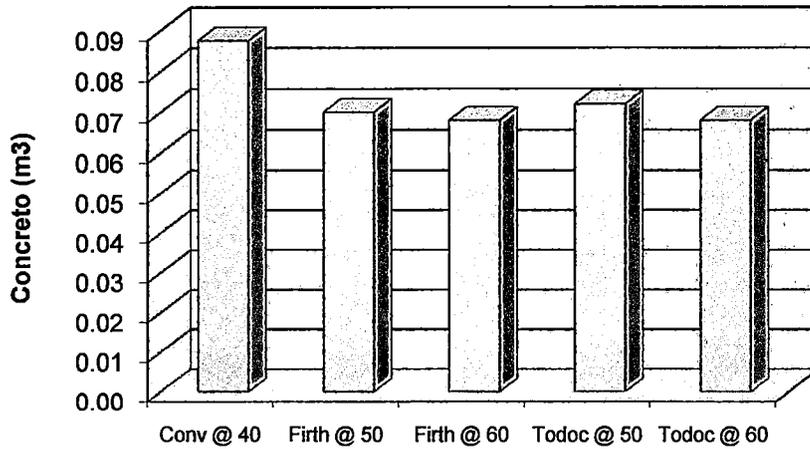
Parámetros	Variables	Sistemas Constructivos de Losas Aligeradas				
		Convencional	Viguetas Firth	% Ahorro con respecto al Sistema Convencional	Losa Fast - Todocemento	% Ahorro con respecto al Sistema Convencional
Volumen de Concreto	17@40	0.080				
	17@50		0.060	33 %	0.066	21 %
	17@60		0.058	39 %	0.063	27 %
Utilizado (m3) x m2	20@40	0.088				
	20@50		0.070	25 %	0.072	22 %
	20@60		0.068	29 %	0.068	29 %
Cantidad de Aligerantes utilizadas (unid) x m2	25@40	0.100				
	25@50		0.090	11 %	0.082	22 %
	25@60		0.088	14 %	0.077	30 %
Peso de Losa (kg) x m2	@40	8.33				
	@50		8	4 %	8	4 %
	@60		8.33	0 %	6.7	25 %
	17@40	270				
	17@50		250	8 %	242	11 %
	17@60		245	10 %	232	16 %
	20@40	300				
	20@50		280	7 %	269	12 %
	20@60		275	9 %	261	15 %
25@40	350					
25@50		335	4 %	313	12 %	
25@60		330	6 %	301	16 %	

Nota: El análisis comparativo se realizará utilizando los espesores de losas más comerciales (convencional @40; firth @50 ; todocemento @50)

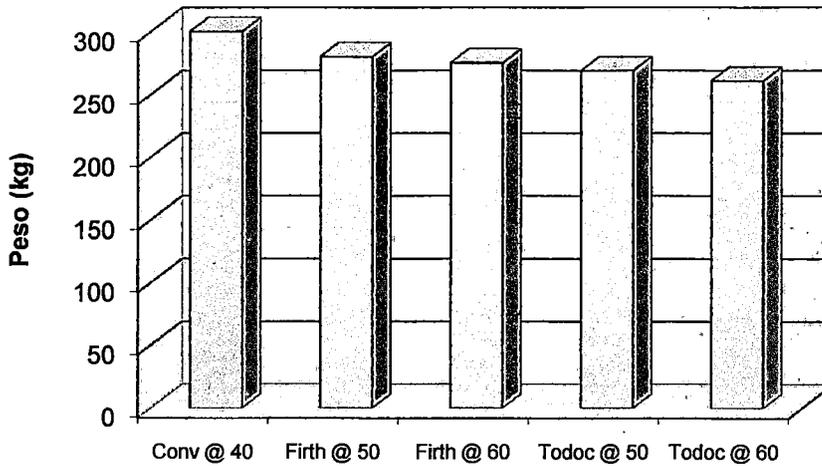
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOSAS ALIGERADAS: UTILIZANDO VIGUETAS PREFABRICADAS FIRTH, VIGUETAS ARMADAS TODOCEMENTO Y VIGUETAS VACIADAS EN OBRA

ANTONIO DAVID GUTIÉRREZ RAMÍREZ

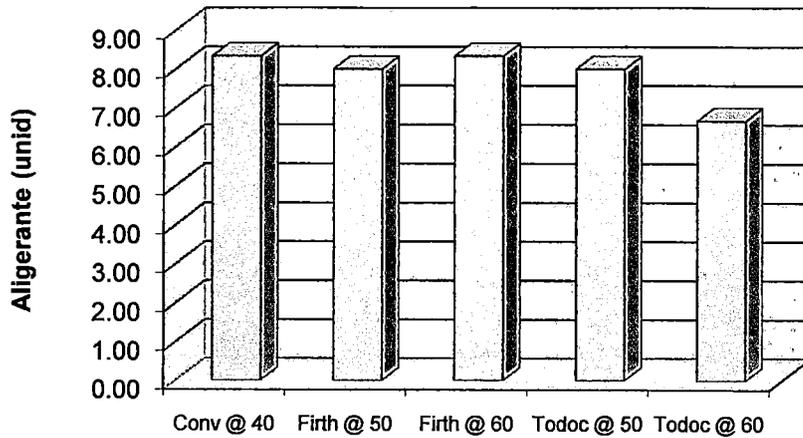
**GRAFICO#1: Cantidad de Concreto utilizado (m3) x m2**



**GRAFICO#2: Peso de Losa (kg) x m2**



**GRAFICO#3: Cantidad de Aligerantes utilizados (unid) x m2**



**Cuadro #27: Análisis comparativo de los diferentes sistemas considerando las diferencias entre los procesos constructivos**

Parámetros de Comparación	Sistemas Constructivos		
	Alligerado Convencional @ 40	Alligerado con Sistema Firth @ 50	Alligerado Sistema Losa Fast - Todocemento @ 60
<b>Aplicación de viguetas x m2</b>	no se realiza	sobre una superficie plana, se apilan en forma de T invertida en un máximo de 9 hileras (realizado por FIRTH)	sobre una superficie plana, se apilan en forma de T, invertida en un máximo de 6 hileras (realizado por TODOCEMENTO)
<b>izaje x m2</b>	no se realiza	usualmente se realiza con winche y se necesitan de 3 obreros para hacerlo	usualmente se realiza con winche y se necesitan de 3 obreros para hacerlo, mas sencillo.
<b>Transporte Bovedillas/ladrillos de techo (izaje)</b>	se transportan aprox 8.3 bovedillas x m2 de losa	se transportan aprox. 8 bovedillas x m2 de losa	se transportan aprox 8 bovedillas x m2 de losa
<b>Apuntalamiento</b>	puntales (3" x 4") espaciados cada 1.50 met. y soleras (3" x 4") cada 0.4 met	puntales (3" x 4") espaciados cada 1.50 met. y soleras (3" x 4") cada 2 met	puntales (3" x 4") espaciados cada 1.50 met y soleras (3" x 4") cada 2 met
<b>Trazado (para la ubicación de ladrillos)</b>	se realiza marcando el encofrado con un cordel para ubicar correctamente las bovedillas (ladrillos de techo).	no se realiza	no se realiza
<b>Colocación de Viguetas y Bovedillas</b>	solo se colocan las bovedillas de acuerdo al trazado antes realizado. Las viguetas son vaciadas en obra.	se colocan las viguetas con las bovedillas de los extremos, Las bovedillas funcionan como elementos distanciadores	se colocan las viguetas con las bovedillas de los extremos. Las bovedillas funcionan como elementos distanciadores
<b>Tipo de Losa</b>	se puede construir losas en uno y dos sentidos	solo se pueden construir losas en un sentido	se pueden construir losas en uno y dos sentidos gracias al acero expuesto y a las bandejas estructurales
<b>Acero de Refuerzo x m2</b>	se usa acero de refuerzo superior, inferior y malla de temperatura	se usa acero de refuerzo superior y malla de temperatura	se usa acero de refuerzo superior y malla de temperatura
<b>Instalaciones Eléctricas y Sanitarias</b>	se dejan espacios en la losa libres de ladrillos de techo y se colocan cajas de madera para colocar los cajetines	se cuenta con bandejas sanitarias, en caso de instalaciones eléctricas se realizará una perforación en la bovedilla	se cuenta con bandejas eléctricas, sanitarias y estructurales
<b>Vaciado</b>	se vacia aprox 0.088 m3 x m2 de losa	se vacia aprox 0.070 m3 x m2 de losa	se vacia aprox 0.072 m3 x m2 de losa
<b>Curado</b>	Se deberá curar por lo menos 3 días para evitar la formación de fisuras.	se deberá tener en cuenta que debido a la mayor área de bovedillas en la mayoría de casos se recomienda despuntalar luego de 5 días y	se deberá tener en cuenta que debido a la mayor área de bovedillas estas absorberán mayor cantidad de agua en la mayoría de casos se recomienda despuntalar luego de 5 días y
<b>Despuntalamiento</b>	en la mayoría de casos se recomienda despuntalar luego de 7 días y apuntalar con soleras a 2.00m y puntales a 1.50m por 7 días mas el acabado depende de la calidad del encofrado y del vaciado, pero el tiempo siempre es mayor en comparación con los sist. Prefabricados	devido a la mayor velocidad de despuntalamiento y a la calidad de la losa, el acabado se realiza antes de la fecha programada y con mayor velocidad	devido a la mayor velocidad de despuntalamiento y a la calidad de la losa, el acabado se realiza antes de la fecha programada y con mayor velocidad
<b>Acabados</b>			

**Nota:**

1. Se asume que un porcentaje entre el 10% y 15% de toda la losa es losa maciza.
2. Se asume la losa de 20@40 para losa convencional y losa de 20@50 para prefabricadas puesto que esta es la losa mas utilizada para viviendas multifamiliares (edificios)
3. Se asume el uso de encofrado y puntales de madera porque este implica un menor número de variables y por lo tanto menor distorsión de los calculos
4. Se asume el uso de winche para el transporte de viguetas y bovedillas por ser este el método mas usado en obra
5. Se asume concreto premezclado porque este implica un menor número de variables y por lo tanto menor distorsión de los calculos
6. Se asume el uso de bandejas sanitarias, eléctricas y estructurales en los casos de losas con viguetas prefabricadas
7. Se tiene en cuenta la necesidad de un área de almacenamiento de viguetas, la dificultad de colocar las viguetas y bovedillas, el tiempo para el trazado necesario para la colocación de bovedillas, despunt,etc
8. Se debe considerar el porcentaje de desperdicio en bovedillas y en concreto
9. El despuntalamiento se deberá realizar cuando el concreto alcanza una resistencia de 140 kg/cm2
10. se asume una altura de 5 cm para la losa de compresión, por se la mas utilizada en obra.

### 6.3. Análisis de Precios Unitarios

Se muestra el análisis de precios unitarios de los tres sistemas donde se han considerado las diferentes partidas que participan en el proceso constructivo de cada uno de estos, como son:

- Encofrado y Desencofrado:

Se asumió encofrado de madera. En el caso de el sistema convencional se tomó un rendimiento de 15 m<sup>2</sup>/día de encofrado debido a que prácticamente se tiene que encofrar toda la losa, mientras que se colocó un rendimiento de 130m<sup>2</sup>/día en los otros tipos de losas debido a que el área a encofrar es bastante menor y se puede lograr un mucho mayor avance con prácticamente igual cantidad de personal.

- Acero:

No existe variación en el rendimiento (200kg/día) de las cuadrillas en lo que concierne a la colocación de acero, la única variación sería la cantidad de acero que se utiliza en cada losa ya que las viguetas incluyen el acero positivo.

- Colocación de los aligerantes (Ladrillo de techo o bovedilla):

El rendimiento de las cuadrillas es prácticamente el mismo, siendo un poco mayor el avance de las losas con viguetas prefabricadas debido a que estas encajan perfectamente entre las viguetas lo que facilita su colocación.

- Colocación de las viguetas:

Esta partida solo aplica para las losas que utilizan viguetas prefabricadas, siendo estas fáciles de colocar. No se requiere de mano de obra especializada.

- Concreto:

Se tiene el mismo rendimiento con la salvedad que las losas con viguetas prefabricadas, como se ha explicado anteriormente, usan menos cantidad de concreto y por lo tanto el vaciado se realiza con mayor velocidad.

### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LOSAS ALIGERADAS USANDO EL SISTEMA CONVENCIONAL

<b>PARTIDA 01</b>		<b>LOSA ALIGERADA ENCOFRADO Y DESENCOFRADO (MADERA)</b>				
<b>RENDIMIENTO</b>	<b>15 M2/DIA</b>	<b>COSTO UNIT/M2</b>		<b>SI. 35.34</b>		
DESCRIPCION DEL INSUMO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO SI.	PARCIAL SI.	TOTAL SI.
<b>MANO DE OBRA</b>						
CAPATAZ	H-H	0.1	0.0533	16.20	0.86	
OPERARIO	H-H	1	0.533	14.61	7.79	
OFICIAL	H-H	1	0.533	13.10	6.98	
PEON	H-H	0.5	0.2665	11.86	3.16	
						18.79
<b>MATERIALES</b>						
CLAVOS DE MADERA DE 2 1/2	KG		0.11	5.20	0.57	
ALAMBRE # 16	KG		0.1	5.40	0.54	
MADERA TORNILLO	P2		3.1051	4.79	14.87	
						15.99
<b>EQUIPOS</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.03	18.79	0.56	
						0.56

<b>PARTIDA 02</b>		<b>LOSA ALIGERADA ACERO fy 4200 kg/cm2</b>				
<b>RENDIMIENTO</b>	<b>200 KG/DIA</b>	<b>COSTO UNIT/M2</b>		<b>SI. 5.65</b>		
DESCRIPCION DEL INSUMO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO SI.	PARCIAL SI.	TOTAL SI.
<b>MANO DE OBRA</b>						
CAPATAZ	H-H	0.1	0.004	16.20	0.06	
OPERARIO	H-H	1	0.04	14.61	0.58	
OFICIAL	H-H	1	0.04	13.10	0.52	
						1.17
<b>MATERIALES</b>						
ALAMBRE # 16	KG		0.025	5.20	0.13	
ACERO	KG		1.05	4.03	4.23	
						4.36
<b>EQUIPOS</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.1	1.17	0.12	
						0.12

<b>PARTIDA 03</b>		<b>LOSA ALIGERADA LADRILLO HUECO 0.15 x 0.30 x 0.30</b>				
<b>RENDIMIENTO</b>	<b>1350 UNID/DIA</b>	<b>COSTO UNIT/M2</b>		<b>SI. 2.52</b>		
DESCRIPCION DEL INSUMO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO SI.	PARCIAL SI.	TOTAL SI.
<b>MANO DE OBRA</b>						
CAPATAZ	H-H	0.1	0.0017	16.20	0.03	
PEON	H-H	4	0.0237	11.86	0.28	
						0.31
<b>MATERIALES</b>						
LADRILLO TECHO 0.15x0.30x0.30	UNID		1.05	2.10	2.21	
						2.21
<b>EQUIPOS</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.03	0.31	0.01	
						0.01

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOSAS ALIGERADAS: UTILIZANDO VIGUETAS PREFABRICADAS FIRTH, VIGUETAS ARMADAS TODOCEMENTO Y VIGUETAS VACIADAS EN OBRA

<b>PARTIDA 04</b>		<b>LOSA ALIGERADA CONCRETO f'c 210 kg/cm2 (PREMEZCLADO)</b>				
<b>RENDIMIENTO</b>		<b>75 M3/DIA</b>		<b>COSTO UNIT/M2</b>		<b>\$/ 355.37</b>
DESCRIPCION DEL INSUMO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO \$/.	PARCIAL \$/.	TOTAL \$/.
<b>MANO DE OBRA</b>						
CAPATAZ	H-H	0.1	0.0011	16.20	0.02	
OPERARIO	H-H	4	0.4267	14.61	6.23	
OFICIAL	H-H	2	0.2133	13.10	2.79	
PEON	H-H	5	0.5333	11.86	6.32	15.37
<b>MATERIALES</b>						
CONCRETO f'c 210 kg/cm2			1.05	214.11	224.82	
GASOLINA 84 OCT			0.1	10.55	1.06	
SERVICIO DE BOMBA			3.1051	32.54	101.04	326.91
<b>EQUIPOS</b>						
VIBRADOR DE 3/4" - 2"	H-M		0.6315	20.00	12.63	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.03	15.37	0.46	13.09

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LOSAS ALIGERADAS CON VIGUETAS PREFABRICADAS FIRTH

<b>PARTIDA 01</b>		<b>LOSA ALIGERADA ENCOFRADO Y DESENCOFRADO</b>				
<b>RENDIMIENTO</b>		<b>130 M2/DIA</b>		<b>COSTO UNIT/M2</b>		<b>\$/ 4.14</b>
DESCRIPCION DEL INSUMO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO \$/.	PARCIAL \$/.	TOTAL \$/.
<b>MANO DE OBRA</b>						
CAPATAZ	H-H	0.1	0.0062	16.20	0.10	
OFICIAL	H-H	1	0.062	13.10	0.81	
PEON	H-H	1	0.062	11.86	0.74	1.65
<b>MATERIALES</b>						
CLAVOS DE MADERA DE 2 1/2	KG		0.0172	5.40	0.09	
MADERA TORNILLO	P2		0.4912	4.79	2.35	2.45
<b>EQUIPOS</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.03	1.65	0.05	0.05

<b>PARTIDA 02</b>		<b>LOSA ALIGERADA ACERO fy 4200 kg/cm2</b>				
<b>RENDIMIENTO</b>		<b>200 KG/DIA</b>		<b>COSTO UNIT/M2</b>		<b>\$/ 5.65</b>
DESCRIPCION DEL INSUMO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO \$/.	PARCIAL \$/.	TOTAL \$/.
<b>MANO DE OBRA</b>						
CAPATAZ	H-H	0.1	0.004	16.20	0.06	
OPERARIO	H-H	1	0.04	14.61	0.58	
OFICIAL	H-H	1	0.04	13.10	0.52	1.17
<b>MATERIALES</b>						
ALAMBRE # 16	KG		0.025	5.20	0.13	
ACERO	KG		1.05	4.03	4.23	4.36
<b>EQUIPOS</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.1	1.17	0.12	0.12

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOSAS ALIGERADAS: UTILIZANDO VIGUETAS PREFABRICADAS FIRTH, VIGUETAS ARMADAS TODOCEMENTO Y VIGUETAS VACIADAS EN OBRA

<b>PARTIDA 03</b>		<b>LOSA ALIGERADA LADRILLO HUECO 0.15 x 0.40 x 0.25</b>				
<b>RENDIMIENTO</b>	<b>1500 UNID/DIA</b>	<b>COSTO UNIT/M2</b>			<b>Si. 3.44</b>	
DESCRIPCION DEL INSUMO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.	TOTAL S/.
MANO DE OBRA						
CAPATAZ	H-H	0.1	0.0017	16.20	0.03	
PEON	H-H	4	0.0213	11.86	0.25	
						0.28
MATERIALES						
BOVEDILLA 0.15 x 0.40 x 0.25	UNID		1.05	3.00	3.15	
						3.15
EQUIPOS						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.03	0.28	0.01	
						0.01

<b>PARTIDA 04</b>		<b>LOSA ALIGERADA COLOCACION VIGUETA V-103</b>				
<b>RENDIMIENTO</b>	<b>260 ML/DIA</b>	<b>COSTO UNIT/ML</b>			<b>18.07</b>	
DESCRIPCION DEL INSUMO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.	TOTAL S/.
MANO DE OBRA						
CAPATAZ	H-H	0.1	0.0031	16.20	0.05	
OPERARIO	H-H	1	0.0308	14.51	0.45	
PEON	H-H	4	0.1231	11.86	1.46	
						1.96
MATERIALES						
VIGUETAS FIRTH V-101	ML		1	16.07	16.07	
						16.07
EQUIPOS						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.02	1.96	0.04	
						0.04

<b>PARTIDA 05</b>		<b>LOSA ALIGERADA CONCRETO f'c 210 kg/cm2 (PREMEZCLADO)</b>				
<b>RENDIMIENTO</b>	<b>75 M3/DIA</b>	<b>COSTO UNIT/M2</b>			<b>355.36</b>	
DESCRIPCION DEL INSUMO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.	TOTAL S/.
MANO DE OBRA						
CAPATAZ	H-H	0.1	0.0011	16.20	0.02	
OPERARIO	H-H	3	0.4257	14.61	6.22	
OFICIAL	H-H	1	0.2133	13.10	2.79	
PEON	H-H	4	0.5333	11.86	6.32	
						15.36
MATERIALES						
CONCRETO f'c 210 kg/cm2			1.05	214.11	224.82	
GASOLINA 84 OCT			0.1	10.56	1.06	
SERVICIO DE BOMBA			3.1051	32.54	101.04	
						326.91
EQUIPOS						
VIBRADOR DE 3/4" - 2"	H-M		0.6315	20.00	12.63	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.03	15.36	0.46	
						13.09

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOSAS ALIGERADAS: UTILIZANDO VIGUETAS PREFABRICADAS FIRTH, VIGUETAS ARMADAS TODOCEMENTO Y VIGUETAS VACIADAS EN OBRA

### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS LOSAS ALIGERADAS CON VIGUETAS ARMADAS TODOCEMENTO

<b>PARTIDA 01</b>		<b>LOSA ALIGERADA ENCOFRADO Y DESENCOFRADO</b>				
<b>RENDIMIENTO</b>	<b>130 M2/DIA</b>	<b>COSTO UNIT/M2</b>			<b>S/. 4.14</b>	
DESCRIPCION DEL INSUMO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.	TOTAL S/.
<b>MANO DE OBRA</b>						
CAPATAZ	H-H	0.1	0.0062	16.20	0.10	
OFICIAL	H-H	1	0.062	13.10	0.81	
PEON	H-H	1	0.062	11.86	0.74	
						1.65
<b>MATERIALES</b>						
CLAVOS DE MADERA DE 2 1/2	KG		0.0172	5.40	0.09	
MADERA TORNILLO	P2		0.4912	4.79	2.35	
						2.45
<b>EQUIPOS</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.03	1.65	0.05	
						0.05

<b>PARTIDA 02</b>		<b>LOSA ALIGERADA ACERO fy 4200 kg/cm2</b>				
<b>RENDIMIENTO</b>	<b>200 KG/DIA</b>	<b>COSTO UNIT/M2</b>			<b>S/. 5.65</b>	
DESCRIPCION DEL INSUMO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.	TOTAL S/.
<b>MANO DE OBRA</b>						
CAPATAZ	H-H	0.1	0.004	16.20	0.06	
OPERARIO	H-H	1	0.04	14.61	0.58	
OFICIAL	H-H	1	0.04	13.10	0.52	
						1.17
<b>MATERIALES</b>						
ALAMBRE # 16	KG		0.025	5.20	0.13	
ACERO	KG		1.05	4.03	4.23	
						4.36
<b>EQUIPOS</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.1	1.17	0.12	
						0.12

<b>PARTIDA 03</b>		<b>LOSA ALIGERADA LADRILLO HUECO 0.15 x 0.36 x 0.25</b>				
<b>RENDIMIENTO</b>	<b>1500 UNID/DIA</b>	<b>COSTO UNIT/M2</b>			<b>S/. 2.79</b>	
DESCRIPCION DEL INSUMO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.	TOTAL S/.
<b>MANO DE OBRA</b>						
CAPATAZ	H-H	0.1	0.0005	16.20	0.01	
PEON	H-H	4	0.0213	11.86	0.25	
						0.26
<b>MATERIALES</b>						
BOVEDILLA 0.15 x 0.36 x 0.25	UNID		1.05	2.40	2.52	
						2.52
<b>EQUIPOS</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.03	0.26	0.01	
						0.01

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOSAS ALIGERADAS: UTILIZANDO VIGUETAS PREFABRICADAS FIRTH, VIGUETAS ARMADAS TODOCEMENTO Y VIGUETAS VACIADAS EN OBRA

<b>PARTIDA 04</b>		<b>LOSA ALIGERADA COLOCACION VIGUETA ARMADA</b>				
<b>RENDIMIENTO</b>	<b>260 ML/DIA</b>	<b>COSTO UNIT/ML</b>			<b>S/. 16.77</b>	
DESCRIPCION DEL INSUMO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.	TOTAL S/.
<b>MANO DE OBRA</b>						
CAPATAZ	H-H	0.1	0.0031	16.2	0.050	
OPERARIO	H-H	1	0.0308	14.61	0.450	
PEON	H-H	4	0.1231	11.86	1.460	
						1.960
<b>MATERIALES</b>						
VIGUETAS ARMADA TC T03	ML		1	14.77	14.770	
						14.770
<b>EQUIPOS</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.02	1.960	0.039	
						0.039

<b>PARTIDA 05</b>		<b>LOSA ALIGERADA CONCRETO f'c 210 kg/cm2 (PREMEZCLADO)</b>				
<b>RENDIMIENTO</b>	<b>75 M3/DIA</b>	<b>COSTO UNIT/M2</b>			<b>S/. 355.36</b>	
DESCRIPCION DEL INSUMO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL S/.	TOTAL S/.
<b>MANO DE OBRA</b>						
CAPATAZ	H-H	0.1	0.0011	16.20	0.02	
OPERARIO	H-H	3	0.4257	14.61	6.22	
OFICIAL	H-H	1	0.2133	13.10	2.79	
PEON	H-H	4	0.5333	11.86	6.32	
						15.36
<b>MATERIALES</b>						
CONCRETO f'c 210 kg/cm2			1.05	214.11	224.82	
GASOLINA 84 OCT			0.1	10.56	1.06	
SERVICIO DE BOMBA			3.1051	32.54	101.04	
						326.91
<b>EQUIPOS</b>						
VIBRADOR DE 3/4" - 2"	H-M		0.6315	20.00	12.63	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.03	15.36	0.46	
						13.09

## ANÁLISIS COMPARATIVO PARA UNA LOSA ALIGERADA DE 20 CM

LOSAS ALIGERADAS USANDO EL SISTEMA CONVENCIONAL					
DESCRIPCION	UNID	METRADO	PRECIO	PARCIAL	TOTAL
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	270.00	35.34	9,541.80	
ACERO fy 4200 kg/cm2	kg	1,282.88	5.64	7,235.44	
LADRILLO HUECO 0.15 x 0.30 x 0.30	unid	2,302.00	2.51	5,778.02	
CONCRETO fc 210 kg/cm2	m3	21.60	355.37	7,675.99	
					<b>SI. 30,231.26</b>

LOSAS ALIGERADAS USANDO EL SISTEMA FIRTH					
DESCRIPCION	UNID	METRADO	PRECIO	PARCIAL	TOTAL
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	270.00	4.13	1,115.10	
ACERO fy 4200 kg/cm2	kg	567.20	5.64	3,199.01	
LADRILLO BOVEDILLA	unid	2,208.00	3.42	7,551.36	
COLOCACION VIGUETA V-103	ml	561.60	18.07	10,148.11	
CONCRETO fc 210 kg/cm2	m3	16.20	355.37	5,756.99	
					<b>SI. 27,770.57</b>

LOSAS ALIGERADAS USANDO EL SISTEMA TODOCEMENTO					
DESCRIPCION	UNID	METRADO	PRECIO	PARCIAL	TOTAL
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	270.00	4.13	1,115.10	
ACERO fy 4200 kg/cm2	kg	567.20	5.64	3,199.01	
LADRILLO HUECO 0.15 x 0.30 x 0.30	unid	2,268.00	2.79	6,327.72	
COLOCACION VIGUETA ARMADA	ml	550.80	16.77	9,236.92	
CONCRETO fc 210 kg/cm2	m3	17.80	355.37	6,325.59	
					<b>SI. 26,204.33</b>

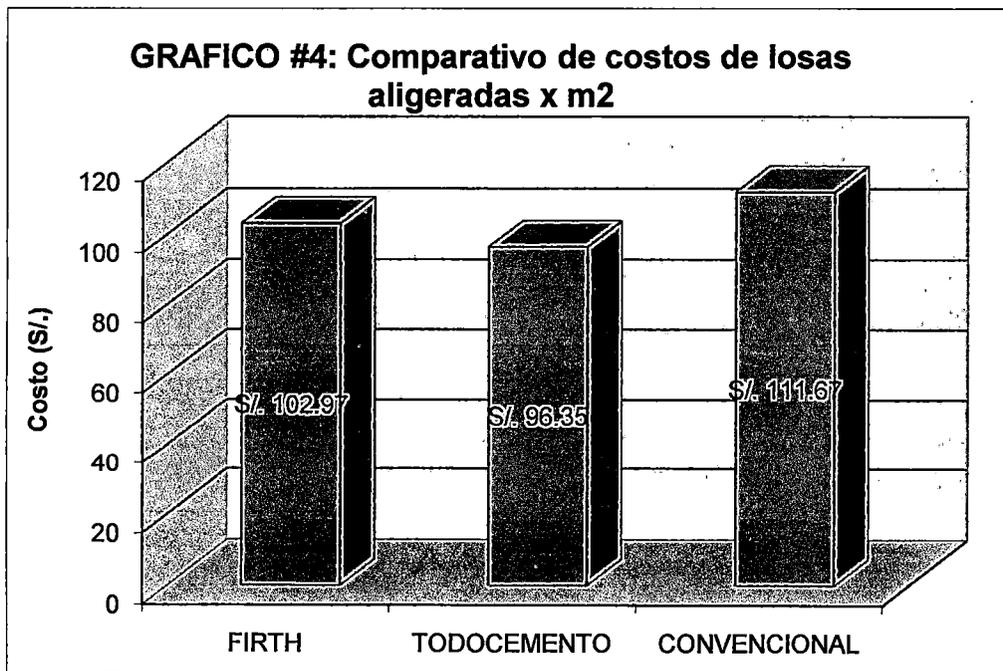
### AHORRO CON RESPECTO AL SISTEMA TRADICIONAL (%)

<b>SISTEMA FIRTH</b>	<b>8.14%</b>
<b>SISTEMA TODOCEMENTO</b>	<b>13.32%</b>

### Comentario:

Como se puede apreciar existe ahorro en las diferentes partidas, sobretodo en encofrado donde el costo del prefabricado solo llega a ser el 12% del costo del sistema convencional. Además también se puede apreciar un ahorro considerable en la partida de colocación de acero debido a que las viguetas prefabricadas ya incluyen gran parte del acero a instalar. Otro ahorro, aunque en menor cantidad, es el que concierne al concreto ya que las losas aligeradas usan menor concreto por las forma de las bovedillas, espaciamiento y por el concreto que ya fue usado en las viguetas.

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOSAS ALIGERADAS: UTILIZANDO VIGUETAS PREFABRICADAS FIRTH, VIGUETAS ARMADAS TODOCEMENTO Y VIGUETAS VACIADAS EN OBRA



**Comentario:**

En el gráfico se puede apreciar el costo por m<sup>2</sup> de cada uno de los sistemas, cabe resaltar que este costo incluye las partidas de encofrado y desencofrado, concreto, acero, colocación del ladrillo y colocación de las viguetas para el caso de Firth y Todocemento.

Se puede ver en el gráfico que Firth presenta un ahorro de 8% con respecto al sistema convencional, mientras que la losa de Todocemento presenta un ahorro mayor al 13%.

## **6.4. Ventajas y desventajas de los sistemas no convencionales de losas aligeradas**

### **6.4.1. Reducción de costos**

Hoy en día existen muchos prefabricados de viguetas y bovedillas, por lo que este sistema es cada vez más utilizado, tanto en la construcción de viviendas industrializadas de interés social o medio, como en residencias, escuelas, hoteles y hospitales, por ser un sistema más económico y rápido que los de losas tradicionales, ya que permite ahorros en moldaje, tiempo, mano de obra y desperdicios.

Este sistema de construcción se destaca particularmente por la eliminación del proceso de construir en la obra el armazón de fierro de la losa y el encofrado de madera que sostendrá el ladrillo de techo y la mezcla de concreto de la losa. Dentro de los sistemas de losas de concreto se encuentran los sistemas tradicionales que son losas sólidas y aligeradas, armadas y vaciadas en la obra, y los sistemas a base de elementos prefabricados como losas de vigueta y bovedilla, entre otros. Además, se conocen dos tipos de viguetas prefabricadas: las presforzadas pretensadas (FIRTH), que son elementos completamente terminados, y las de alma abierta o semiprefabricadas (TODOCEMENTO), constituidas por un patín de concreto y una armadura electrosoldada.

### **6.4.2. Respaldo técnico FIRTH**

El Gobierno Peruano con el fin de garantizar la calidad arquitectónica, estructural, durabilidad, seguridad de las viviendas que se construyen con sistemas constructivos no Convencionales, promulgó el D.S.N° 010-71 -VI que señala que se deberá contar con la debida aprobación y autorización respectiva del Ministerio.

Es importante que se cuente con un departamento Técnico que evalúe y presente la mejor oferta técnico, económica, y funcional, pensando también en el

---

usuario final.

Las Viguetas FIRTH cuentan con R.M.N° 092-2003-V1V1ENDA. cuentan con un Dpto. Técnico que desde más de 5 años viene desarrollando el producto que ha dado lugar a contar con más alternativas, cada una adecuada para todo tipo de losa de hasta 6.50m de longitud.

Se cuenta con un Control de Calidad que verifica la resistencia de las viguetas a flexión, la resistencia del concreto y que se encarga de verificar que se cumpla con todas las especificaciones propias de la vigueta por producción antes de la salida del material de la planta a la obra.

Además, la losa aligerada con viguetas Firth disminuye el problema de fisuras en relación al uso de la losa maciza que produce contracciones que afectan la estética de la vivienda, así como da mejores soluciones en lo que a vibración se refiere.

#### **6.4.3. Otras ventajas**

En toda actividad productiva, el control de calidad y la duración del proceso son factores relevantes para obtener un producto aceptable. En el caso particular de la industria de la construcción de estructuras de concreto, los procesos constructivos que se emplean actualmente no difieren mucho de aquellos que comenzaron a utilizarse hace algunas décadas. Por ejemplo, casi la totalidad de estas edificaciones se vacían in situ, con métodos laboriosos de construcción de cimbra, de transporte, así como de colocación del concreto y del acero de refuerzo, lo que dificulta el control de calidad de este proceso constructivo y aumenta el tiempo de obtención del producto terminado. Estos dos factores, control de calidad y duración del proceso constructivo con los procedimientos usuales, merecen ser analizados para evaluar la conveniencia de la introducción de nuevos procesos de construcción en nuestro país. En particular, es de interés llevar a cabo esta evaluación para el caso de estructuras prefabricadas de concreto por el incremento en su uso en Perú.

Los dos factores anteriormente mencionados (calidad y duración del proceso) son justamente dos aspectos favorables que se tienen en estructuras de

concreto prefabricadas. En particular la duración, es un factor relevante en economías como la de Perú, que presentan altos costos, por lo que el ahorro (no sólo de días, sino también hasta de meses en algunos casos) que se puede obtener con estructuras prefabricadas, en comparación con las vaciadas in situ, puede justificar ampliamente el empleo de las primeras en lugar de las segundas. Ejemplos que ilustran de manera clara lo anterior son algunos centros comerciales muy grandes establecidos recientemente en Lima, que fueron construidos con estructuras prefabricadas de concreto o acero, en un tiempo bastante menor que el que hubiera requerido una obra con estructuras vaciadas in situ. En estos casos, el argumento principal del inversionista para elegir la estructura prefabricada en lugar de la tradicional, fue simplemente que cada día ganado a la apertura al público era un día de ingresos adicionales que obtendría.

En el aspecto del control de calidad, la construcción de estructuras prefabricadas de concreto también puede superar por mucho a la construcción de estructuras de concreto vaciado in situ. Por ejemplo, detalles elaborados de colocación del acero de refuerzo en zonas de posibles articulaciones plásticas en marcos de concreto prefabricado, pueden ser cuidadosamente supervisados en las plantas que producen los elementos prefabricados. Por lo regular, también la colocación del acero de refuerzo, para cualquier tipo y zona de elemento prefabricado estructural, puede ser realizada de acuerdo con los requerimientos necesarios. Ejemplo de esta última situación son los elementos prefabricados para sistemas de piso. Cuando la construcción de sistemas de piso se hace con vaciados in situ y se emplean mallas de refuerzo para el lecho superior de la losa, es común que esta malla no quede en la posición requerida, y por tanto, que estas partes de la losa no puedan resistir esfuerzos de tensión que deberían ser tomados por la malla mencionada.

#### **6.4.4. Desventajas y posibles limitaciones**

Entre los principales factores que se oponen al empleo de estructuras prefabricadas destaca el temor a la innovación, por parte de inversionistas, arquitectos e ingenieros, por desconocimiento de los nuevos procesos constructivos. En particular, en el caso de zonas con moderada o alta actividad sísmica, existe el temor de que las estructuras prefabricadas de concreto puedan tener un comportamiento menos favorable ante los sismos que en el caso de

---

estructuras de concreto vaciadas in situ. En realidad, este temor no debiera existir, si se considera que, como se comentará más adelante, es posible construir estructuras prefabricadas de concreto con un comportamiento sísmico semejante al de estructuras vaciadas in situ.

Entre las acciones que pueden ayudar a resolver el problema anteriormente mencionado está, por ejemplo, el promover la divulgación de las principales características de las estructuras prefabricadas. En Perú, lamentablemente este aspecto no se viene desarrollando de la mejor manera. Este trabajo intenta ayudar a resolver en algo la problemática descrita, pero este problema no se solucionará si en debido fomento de la enseñanza sobre construcción y diseño de estructuras prefabricadas de concreto, incluyendo estos temas en la currícula de las diversas facultades y escuelas de ingeniería civil de nuestro país, así como en cursos de educación continua. Este aspecto merece ser considerado como actividad de urgente realización.

Otro aspecto que merece ser analizado, como posible ventaja o limitación del proceso constructivo que se esta considerando, es el relacionado con la mano de obra. Existe el argumento de que ésta en nuestro medio es barata, en comparación con la de países desarrollados, y por tanto, al emplear estructuras prefabricadas de concreto, que requieren menos mano de obra, se podría estar desaprovechando este factor.

Otro factor que merece ser tomado en cuenta en el análisis del empleo de mano de obra, es el hecho de que al construirse estructuras prefabricadas de concreto, con menos tiempo de ejecución, podrían ahorrarse cantidades importantes de dinero, que a su vez podrían ser posteriormente invertidas en la construcción de nuevas estructuras, que ocuparían por tanto la mano de obra respectiva, y generarían empleos en diversas actividades relacionadas con la industria de la construcción. Este es un reto que la ingeniería debe enfrentar como parte de los cambios importantes en la economía actual.

Es persiste entre arquitectos e ingenieros la inercia que impide utilizar estos productos por temor a un posible mal comportamiento. Hay evidencias de lo infundado de este temor en estudios experimentales realizados en otros países, por lo que se sugiere confirmar las mismas con estudios experimentales.

#### **6.4.5. Ventajas Constructivas**

- No requiere ningún moldaje.
- Mayor facilidad para inspeccionar las faenas.
- Facilidad para trazar instalaciones eléctricas, de agua, teléfonos, etc.
- Sus componentes livianos no requieren de grúa u otros equipos mecánicos para el montaje.
- El montaje en sitio de los elementos es bastante rápido (Fácil instalación).
- El tamaño de las bovedillas permite la separación estándar de 50 cm. entre ejes de viguetas, requiriéndose 8 (ocho) bovedillas por metro cuadrado de losa, en cualquiera de las alturas en que se fabrican.
- Reducción en la accidentalidad.
- Al demandar menor cantidad de concreto es más ligera y requiere menor cimentación.
- Se pueden controlar mejor todos los parámetros de construcción
- Mayor limpieza en obra.
- Asesoría técnica
- No requiere mano de obra especializada
- Menos mano de obra por no llevar armados de refuerzo
- Disminución de los ruidos al momento de la construcción.
- Mayor rendimiento en mano de obra (las cuadrillas pueden trabajar simultáneamente).
- Permite un ahorro considerable en el tiempo de armado de la losa por piso, así como el desencofrado de la misma
- Debido al autoapoye de las viguetas solo de apuntalamiento a una distancia de 2 metros en la mayoría de casos, reduciéndose a la cuarta parte el uso de puntales, debido a las dimensiones de la vigueta y las ventajas que ofrece el sistema pretensado (en el caso de FIRTH)
- Se utiliza la mitad de soleras con respecto al sistema tradicional.
- Dado el bajo número y la separación entre puntales, se tiene un área más limpia, aprovechable y permite el tránsito fluido en el piso inferior.
- hasta cierto claro (no requiere cimbra ni puntales).

- Prefabricados ligeros (las viguetas y las bovedillas) sencillos de transportar, de manejar, de acomodar y de colocar.

**Acabado:**

- Mayor rendimiento de tarrajeo por cuadrilla (permite un acabado más rápido).
- Menor cantidad de materiales cemento y arena fina al tener menores espesores.
- Debido al excelente acabado que presenta el cielo raso este puede quedar expuesto en caso de sótanos o viviendas económicas.
- Acabados pueden ir simultáneos con la construcción de la estructura

**Calidad en obra:**

- Tiene mayor fiabilidad, derivada de los rigurosos procesos de control realizados
- La sección transversal del concreto de las viguetas es constante (uniformidad).
- Además, esta resistencia puede ser más fácilmente adaptada a las exigencias establecidas por ordenanzas municipales y resto de normativa vigente, modificando las dimensiones y recubrimientos mínimos de los elementos estructurales.
- Por el sistema de fabricación en planta, por la alta resistencia del concreto y por el sistema del vibrado se asegura el recubrimiento de acero con concreto, eliminando problemas de oxidación. Los fierros ocupan la posición exacta la cual no siempre es factible en losas convencionales.
- El concreto prefabricado estructural tiene mayor seguridad estructural frente a piezas o elementos mal diseñados o mal ejecutados, ya que durante la fabricación de las mismas se van a ver sometidas a solicitaciones superiores a las de servicio, sólo comparables con las de la hipotética rotura de la pieza, por lo que cualquier fallo imprevisto se producirá en fábrica, sin riesgo para el usuario.

### **Logística:**

- Se logra una logística más eficiente debido a la disminución de los plazos de construcción hasta una tercera e incluso una cuarta parte de los habituales en obras tradicionales, al llegar las piezas al lugar de utilización ya terminadas y preparadas para entrar en carga tan pronto como queden colocadas en su emplazamiento. Permite la construcción con independencia de climatologías adversas, eliminando los retrasos asociados al concreto in situ (inclemencias del tiempo, apeos, encofrados), y las losas se convierten inmediatamente en plataformas de trabajo.
- Mayor rapidez de construcción (saca definitivamente a la losa de la ruta crítica).
- Permite comprar sólo lo necesario y evitar así materiales sobrantes debido a la versatilidad de cada uno de sus componentes: viguetas de diferentes tamaños.
- Un solo proveedor de todos los servicios.
- Eliminación de la partida de desencofrado
- Se ahorra tiempo, porque se pueden fabricar las piezas requeridas a la par que se inician los trabajos de cimentación

### **Arquitectura:**

- Mayores luces libres sin vigas intermedias (Versatilidad estética).
- No requiere de modulación, lo que permite gran libertad de diseño (flexibilidad de diseño).
- Mejora la calidad de las terminaciones (superficies extra planas).

#### **6.4.6. Ventajas en la calidad del producto**

- La fabricación industrial de las viguetas y bovedillas producidas en serie permite concretos de gran resistencia, con dosificación en peso.
- Se obtiene uniformidad del producto.
- la inclusión de aceros especiales de alto límite de rotura cuya tensión inicial es proporcionado por gatos de tensado hidráulico con controles manométricos (en el caso de Firth).

- Se tiene mayor control sobre el peso, la calidad del mezclado del concreto y sobre la perfección del molde.
- El concreto fragua y se seca en condiciones similares en todos los elementos de una producción, fuera del sol y del viento. Lo que es muy importante para lograr menores diferencias de tono entre las piezas.
- El control de calidad es hecho de inmediato en la planta por el fabricante y el cliente.
- Se trabaja al nivel del suelo, con buena luz, bajo techo, con toda la maquinaria y la mano de obra calificada necesarias.
- Los materiales cumplen las normas técnicas peruanas
- Los materiales son supervisados bajo controles más estrictos de operación
- Los materiales soportan las pruebas de resistencia.
- Se tiene mayor control sobre la humedad de los agregados
- Certificado por el Ministerio de Vivienda y Construcción (en el caso de Firth)

#### **6.4.7. Ventajas estructurales**

- El concreto de alta resistencia aumenta la durabilidad de la viga.
- El sistema de losa aligerada con viguetas pretensadas tiene mayor capacidad de carga que un sistema de losa aligerada convencional.
- Su carácter monolítico le permite actuar como diafragma rígido, indeformable y antisísmico.
- Continuidad y empotramiento en sus vínculos evitan deformaciones
- Gran facilidad para estructurar escotillas de escala, voladizos, etc.
- Las series de viguetas se diferencian entre sí por la cuantía de acero utilizado y por la excentricidad de las cargas de pretensado, adecuándose cada una de ellas a los diferentes requerimientos del cálculo estructural.
- La viga con el tralicho contribuyen el aumento de la rigidez, mayor resistencia al corte pudiendo controlar las deflexiones que son las que ocasionan fisuras en la losa. (en el caso de Todocemento)
- Al ser presforzada se reduce el peralte del sistema y el peso total de la losa. (en el caso de Firth)

- Mejor comportamiento bajo cargas de servicio por el control de la deflexión (presfuerzo). (en el caso de Firth)
- Losas en una dirección, siendo una característica y NO una desventaja ya que las cargas las distribuyen a lo largo de las viguetas pretensadas. (en el caso de Firth). Y losas en uno y dos sentidos en el caso de las viguetas de Todocemento.
- El sistema permite construir obras de cualquier tipo y con un excelente comportamiento frente a los más variados fenómenos naturales.

#### **Resistencia al fuego:**

- Este tipo de estructuras presentan también una excepcional resistencia a la acción del fuego, sin necesidad de ningún tipo de protección adicional.
- Al ser el concreto un material incombustible presenta la ventaja adicional de no arder y no contribuir a la producción de humos y gases letales, así como de construir una barrera de contención para el fuego, minimizando el daño y aumentando la efectividad de los sistemas de extinción.
- Es frecuente comprobar que al finalizar un incendio la estructura de concreto permanece estable, mientras que en el caso de otros materiales (acero y madera fundamentalmente) suele ser normal el hundimiento total del edificio a los pocos minutos de comenzar el fuego, a menos que se hayan utilizado costosos productos de protección en revestimientos estructurales.

#### **Durabilidad:**

- En este aspecto, el concreto proporciona una adecuada protección a las armaduras y elementos metálicos en él embebidos gracias a su elevada basicidad, y a las condiciones de colocación alcanzadas durante su fabricación en instalaciones industriales: utilización de cementos adecuados a cada tipo de ambiente agresivo, y elevada compacidad del concreto conseguida a través de dosificaciones y medios de compactación rigurosamente controlados, que por el contrario, la producción in situ en la obra no se consiguen tan rigurosos.

#### 6.4.8. Ventajas económicas

- Las gamas de combinaciones posibles entre diferentes series de viguetas, alturas de bovedillas y espesores de la capa de compresión, logran cubrir en términos económicos cualquier requerimiento de luces y de cargas dentro de las magnitudes usuales.
- Reduce la cantidad de fierro a usar en obra (Ahorro de mano de obra de habilitado y colocación de acero de refuerzo, y de alambre recocado para amarres).
- 20% menos de acero superior (negativo). (en el caso de Firth)
- No se necesita acero inferior en las viguetas (positivo).
- Bajo costo que implica la fabricación
- Bajo costo en el encofrado, elimina casi completamente el encofrado (triplay, metálico, etc.) debido a la inercia de la vigueta y al pretensado (en el caso de Firth)
- Bajo costo en la mano de obra de instalación (Eliminación del costo de movilización y desmovilización de tablas)
- Bajo costo en el vaciado debido a las medidas de las viguetas y al diseño de estas, permiten losas de 17, 20, 25 y 30 cm., usando solo 5 cm. de concreto para cualquiera de los casos y la reducción de desperdicios (No existe merma de concreto).
- Al encajar perfectamente las bovedillas en la vigueta se anula el problema de corrimiento de las mismas en el momento del vaciado, eliminando la merma del concreto que este motiva y se aumenta la velocidad de vaciado.
- Ahorro en costo de equipo
- Ahorro en costos financieros.
- Es ideal en programas de interés social como Mivivienda, ya que reduce los costos con respecto del sistema convencional.
- Bajo costo inicial con una relación esfuerzo resistido/precio inmejorable
- Los menores plazos de ejecución de este tipo de estructuras permiten la anticipación de la entrada en servicio de los edificios y por lo tanto de generación de beneficios para la propiedad de los mismos

- Gastos de mantenimiento mínimos gracias a la ausencia, prácticamente total, de daños de cualquier tipo de la estructura (figuración, deformaciones inadmisibles, corrosión, etc.)
- Se optimizan las dimensiones del elemento prefabricado, por lo tanto, es más económico.
- Ahorro de tiempo debido a la fácil manipulación debido a su rigidez y peso.
- Ahorro de tiempo debido al transporte y almacenaje en grandes cantidades.
- La losa tiene menos madera por acarrear y por tanto menos costo de mantenimiento e inversión.
- Gran economía en la ejecución de terminaciones (enlucidos, etc.)
- El pretensado permite la mejor utilización estructural del concreto de las viguetas, eliminando las zonas de tracción, y permitiendo lograr simplicidad de su montaje, velocidad de su montaje y el uso racional concreto y del acero.

**Propietario:**

- Tiene mayor confort, térmico y acústico. Los edificios con fachadas de concreto prefabricadas son más estancos al aire y otorgan una gran inercia térmica al edificio, proporcionando una mayor eficiencia en los sistemas de climatización.
- Bajo mantenimiento
- Disminución de los costos de energía al disminuir las pérdidas por aislamiento térmico (en zonas frías).
- Permiten obtener su vivienda con anticipación.

**Cuadro #28: Ventajas de los sistemas de viguetas prefabricadas vs sistemas convencional**

PRINCIPALES VENTAJAS DE LOS SISTEMAS PREFABRICADOS	Losa Aligerada			Losa Maciza
	Firth	Todocemento	Tradicional	
Ahorro por menor cantidad de fierro positivo y negativo debido a la mayor resistencia del tralicho (5.500 Kg/cm <sup>2</sup> de resistencia a la rotura)	no aplica	si cumple	no cumple	no cumple
Ahorro de dinero y tiempo en todos los trabajos de carpintería	si cumple	si cumple	no cumple	no aplica
Ahorro de tiempo en el desenconfrado	si cumple	si cumple	no cumple	no aplica
Ahorro por mayor rendimiento del personal, quienes pueden trabajar simultaneamente sobre la losa vaciada, no es necesario personal especializado	si cumple	si cumple	no cumple	si cumple
Eliminación de desperdicios de concreto y fierro	en menor medida	si cumple	no cumple	no cumple
Reducción del requerimiento de concreto por m <sup>2</sup> (entre 15 y 25%)	si cumple	si cumple	no cumple	no cumple
Ahorro de tiempo. Aproximadamente 50%.	si cumple	si cumple	no cumple	si cumple
Ahorros por entrega de material complementario como bandejas eléctricas, sanitarias y estructurales que evitan el estar rompiendo ladrillo con el consiguiente desperdicio de tiempo y material que ello implica	solo bandejas sanitarias	si cumple	no cumple	no cumple
Se garantiza una vigueta de calidad por su proceso industrializado estandarizado	si cumple	si cumple	no cumple	no cumple
Las viguetas se realizan a pedido, con el calculo de fierro exacto de acuerdo al diseño del ingeniero estructural, por lo que no tienen porque costar mas	no cumple	si cumple	si cumple	no aplica
Los materiales que componen las viguetas son de alta resistencia $f_c=350$ kg/cm <sup>2</sup> como mínimo y aceros de $f_{pu}= 18000$ a $19600$ kg/cm <sup>2</sup>	si cumple	en menor medida	no cumple	no aplica
Las viguetas cubren todo el requerimiento de fierro positivo y parte del fierro negativo necesario con un acero de mayor resistencia, impactando en un mayor ahorro	solo fierro positivo	si cumple	no aplica	no aplica
Paños mas grandes con menor peralte	si cumple	en menor medida	no cumple	no cumple
Debido al poroso de fabricación mediante una maquina vibrocompactadora y autopulsada, se cuenta con una buena capacidad de abastecimiento	si cumple	no cumple	no aplica	no aplica
Dada la separación de los puntales, se tiene un area mas limpia y aprovechable	si cumple	si cumple	no cumple	no cumple
Certificada por el ministerio de vivienda y construcción	si cumple	en proceso	si cumple	si cumple
Facilidad para su manipulación por su bajo peso solo 12.5 Kg/m en promedio	en menor medida	si cumple	no aplica	no aplica
Mayor altura de la losa proporciona mayor aislamiento acústico	si cumple	si cumple	si cumple	no cumple
Reducción de la propensión a fisuras en muros cuando estos son vaciados en etapas junto con la losa.	si cumple	si cumple	si cumple	no cumple
Mayor altura de la losa proporciona mayor protección térmica	si cumple	si cumple	si cumple	no cumple
Facilidad para el trabajo simultaneo bajo la losa vaciada por los mayores espacios entre los pies derechos	si cumple	si cumple	no cumple	no aplica

---

## CONCLUSIONES

Luego de realizado el estudio de los tres sistemas propuestos se puede decir que se ha logrado cumplir con los objetivos de la tesis, se ha logrado obtener la información suficiente para poder analizar con claridad cada uno de los procesos constructivos, además se han determinado los rendimientos y costos que han permitido efectuar la comparación entre los aspectos económicos, constructivos, funcionales, de calidad, plazo y las limitaciones que cada proceso constructivo presenta. Asimismo se han establecido las ventajas y desventajas de los tres sistemas constructivos propuestos para dar las recomendaciones correspondientes para su mejor utilización.

A continuación se presentan las conclusiones más relevantes que se han logrado identificar en el presente trabajo:

- Las viguetas prefabricadas pueden ser usadas para cualquier tipo de edificación, ya sea edificios multifamiliares, edificios de oficinas, etc., debido a su gran versatilidad y las luces que puede cubrir sin aumentar el espesor ni el peso de la losa.
- El menor tiempo de construcción y la ausencia de encofrado disminuyen los costos de la losa, por ahorro en materiales, mano de obra y gastos financieros. De igual manera, debido a que la losa con viguetas prefabricadas tiene igual o mayor resistencia que la losa convencional pero es más liviano, hay un menor costo debido al ahorro de materiales en la propia losa y en las estructuras que lo van a sostener. Como se ha demostrado en el análisis de costos se sabe que existe un ahorro de entre 8% y 12% en la fabricación de la losa cuando se construyen losas utilizando los sistemas prefabricados.
- Los sistemas prefabricados son más económicos por el bajo costo que implica la fabricación, el moldaje y la mano de obra de instalación y vaciado. Además, el sistema de viguetas y bovedillas ofrece seguridad en el proyecto al demostrar su resistencia y confiabilidad obtenidas de la

---

fabricación de viguetas en planta, con materiales de calidad que cumplen las normas y bajo controles más estrictos de operación, aseguramiento de calidad y realización de pruebas de resistencia.

- Las viguetas y bovedillas, al ser productos prefabricados ligeros, son elementos muy sencillos de transportar, manejar acomodar y colocar, en lo cual se requieren menos mano de obra especializada por no llevar armados de refuerzo, lo que facilita su instalación.
- Permite trabajar sobre un área más limpia tanto en el piso en construcción por la menor cantidad de desperdicios, maderas, etc., como en los pisos inferiores gracias a la menor cantidad de puntales necesarios.
- Otra característica primordial de los sistemas prefabricados es el autoaporte que proporcionan las viguetas prefabricadas, porque se elimina el gasto en el moldaje (hojas de triplay), y se reduce el costo de puntales y largueros.
- Gracias a su armadura expuesta, la vigueta de alma abierta de Todocemento integra una firme conexión estructural con el concreto nuevo, debido principalmente a las barras diagonales de la armadura que trabajan como conectores de corte horizontal entre el patín de la vigueta y el concreto vaciado en obra. Esta cualidad garantiza un comportamiento similar al de una losa monolítica vaciada en obra, con lo que se siguen las mismas consideraciones de diseño y cálculo estructural. Mientras que la vigueta Firth, por ser pretensada, cuenta con mayor inercia y por lo tanto cuenta con un mayor autoaporte.
- El uso de las bovedillas permite un vaciado sin movimiento de estas debido a que encajan exactamente sobre las viguetas logrando a su vez un vaciado sin problemas, sin mermas y vigas T de sección constante.
- En lo que respecta al peso, se tiene un ahorro de entre 15 y 40 kg utilizando las losas con viguetas prefabricadas, lo que permitiría ahorrar también en costos estructurales.

- Otro ahorro se encuentra en la cantidad de concreto usado en los sistemas prefabricados, el cual aproximadamente es del 22% al 29% en volumen con respecto al sistema convencional
- Los procesos constructivos en el caso de losas con viguetas prefabricadas son más sencillos ya que no se debe realizar el trazado para colocar las viguetas y las bovedillas funcionan también como elementos distanciadores.

---

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el vaciado de la losa se realice paralelo a las viguetas, y se corte encima del ladrillo.
- En caso de ser una losa convencional y se desea cortar la losa para un vaciado posterior tendrá que ser cortado donde la cortante y en momento sean mínimos.
- En el caso de los sistemas prefabricados se deberá tener especial cuidado en el momento de trabajar en el piso inferior al vaciado debido a que, sobre todo en el caso del sistema Firth, los ladrillos pueden desprenderse con mayor facilidad que el sistema convencional y de esta manera golpear al grupo de trabajadores que se encuentran laborando en el piso inferior.
- En el caso de la losa convencional, se deberá tener especial cuidado en no mover los ladrillos de la losa en el momento del vaciado, debido a que la sección de la vigueta podría salir deformada.
- En el caso de losa convencional se deberán usar distanciadores para lograr una correcta ubicación de los fierros positivos y negativos. Además el fierro de temperatura se colocará en ambos sistemas con el fin de evitar la contracción del fraguado y amarrar toda la losa.
- Se recomienda compatibilizar todas las especialidades de los proyectos (sobre todo las instalaciones eléctricas y sanitarias) en el caso de usar viguetas prefabricadas en un proyecto de losas convencionales.

---

## BIBLIOGRAFÍA

- ACI, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05), USA, 2005.
- ACI Capítulo Peruano, Manual de Supervisión de Obras de Concreto Capítulo 17: Concreto Prevaciado y Presforzado, Perú, 2000.
- ACI – UNI, Análisis y Diseño de sistemas Constructivos no Convencionales, Perú, 2002.
- Atusparia Rashta, Juan, Cursos modular encofrado y ferrería: Encofrar losa aligerada, Ed. Sencico., Perú, 2000.
- CAPECO, Norma Técnica E060: Concreto Armado, Perú, 2005.
- DEACERO, Manual Técnico: Armadura y losa de vigueta y Bovedilla, México, 2004
- DEACERO, Manual Técnico: Vigueta Pretensada 2004, México, 2004
- FIRTH, Manual Técnico: Sistema de Losas Aligeradas con Viguetas Firth, Perú, 2007
- FIRTH, Viguetas Pretensadas para Losas Aligeradas, Ed.Grupo S10, Perú, 2001
- FIRTH, Viguetas Pretensadas para Losas Aligeradas, Ed.Grupo S10, Perú, 2000
- FIRTH, Viguetas Pretensadas para Sistema de Losas Aligeradas, Ed.Grupo S10, Perú, 2000
- FIRTH, Sistema FIRTH: el método más práctico y económico para construir obras de calidad, Ed.Grupo S10, Perú, 2001.

- 
- Malca Montoya, Valeria Elena, Sistemas Constructivos no convencionales en el Perú, Ed. Sencico, Perú, 2006.
  - Revista ½ de Construcción, Sistema de placa de concreto, losas macizas y aligeradas pretensadas FIRTH, Ed. Trazos CWE, Perú, 2003.
  - Revista ½ de Construcción, Un nuevo y económico sistema de losa aligerada sin encofrado, Ed. ½ de Construcción, Perú, 1998.
  - Revista ½ de Construcción, Viguetas Pretensadas para Losas Aligeradas, Ed. ½ de Construcción, Perú, 2000.
  - Revista Constructivo, Como seleccionar la vigueta prefabricada adecuada para su techo. Ed. Grupo Constructivo, Perú, 2006.
  - Sencico, sistemas constructivos no convencionales vigentes, Ed. Sencico, Perú, 2003.
  - Todocemento, Manual de Productos, Perú, 2008.

## **Anexo I: Definiciones**

### **1.1 Sistema**

Es un todo organizado y complejo; un conjunto o combinación de cosas o partes que forman un todo complejo o unitario. Es un conjunto de objetos unidos por alguna forma de interacción o interdependencia.

### **1.2 Sistema Constructivo**

Es la realización de cada una de las partidas que comprende una edificación.

### **1.3 Sistema Constructivo No Convencional**

Son aquellos sistemas que emplean materiales y/o procesos constructivos que no están en el Reglamento Nacional de Edificaciones, así como en las Normas Técnicas de Edificación.

Los Sistemas Constructivos No Convencionales aprovecha la diversidad de materiales y componentes así como la disposición y unión de los mismos, que cumplan con los requisitos mínimos de durabilidad, resistencia, competencia sísmica y condiciones de habitabilidad.

Los sistemas no convencionales utilizan:

- La prefabricación en mayor o menor grado de los elementos compuestos
- Procedimientos constructivos o encofrados especiales
- Componentes constructivos preparados con materiales no convencionales
- Componentes constructivos con características físicas, mecánicas y dimensiones cuya durabilidad, estabilidad estructural, aislamientos y otras condiciones de habitabilidad de las edificaciones construidas con los mismos, deben ser probados y demostrados, generalmente mediante ensayos en laboratorios competentes.

---

Sistemas constructivos no convencionales se clasifican en:

**a. Vaciados in situ**

Son los sistemas que producen elementos compuestos en su posición final por medio del vaciado de concreto dentro de moldes o encofrados diseñados con este fin.

**b. Semiprefabricados**

Son los sistemas que emplean elementos prefabricados y concreto vaciado que le sirve de unión.

Los elementos prefabricados son de peso liviano y sirven a modo de encofrado perdido generalmente

**c. Prefabricado**

Son los sistemas que producen estructuras mediante la fabricación de las mismas, fuera del lugar donde serán finalmente ubicadas, siendo etapas características de un proceso constructivo; izaje, el montaje y el sellado.

**1.4. Losas aligeradas**

Las losas aligeradas son aquellas que forman vacíos en un patrón rectilíneo que aligera la carga muerta debido al peso propio. Estas losas son más eficientes que las losas macizas ya que permiten tener espesores mayores sin aumentar el volumen de concreto con respecto a una losa maciza.

Se podría decir que, ante una carga normal de vivienda u oficinas, las losas macizas son eficientes para luces pequeñas, las aligeradas en una dirección son económicas en luces intermedias, 3 a 6m, y las aligeradas en dos direcciones resultan ser más económicas para luces grandes.

**1.5. Losas a base de vigueta y bovedillas**

Sistema estructural formado por componentes portantes prefabricados denominados viguetas, componentes aligerantes llamados bovedillas y por una losa de compresión. El sistema está perimetralmente confinado con una viga de concreto reforzado.

### 1.6. Vigueta

Componente portante resistente del sistema, formado por concreto y acero. Transporta la carga de la losa a las vigas o muros portantes.

### 1.7. Vigueta pretensada

Componente portante resistente del sistema, formado por alambres de presfuerzo y de concreto de alta resistencia, las cuales son de alma llena mediante fabricación de moldes fijos ó extrusión (molde deslizante).

### 1.8. Pretensado

Se entiende por pretensado a la aplicación controlada de una tensión al concreto, mediante el tensado de alambres de acero de alta resistencia, previa a la entrada en servicio de la estructura

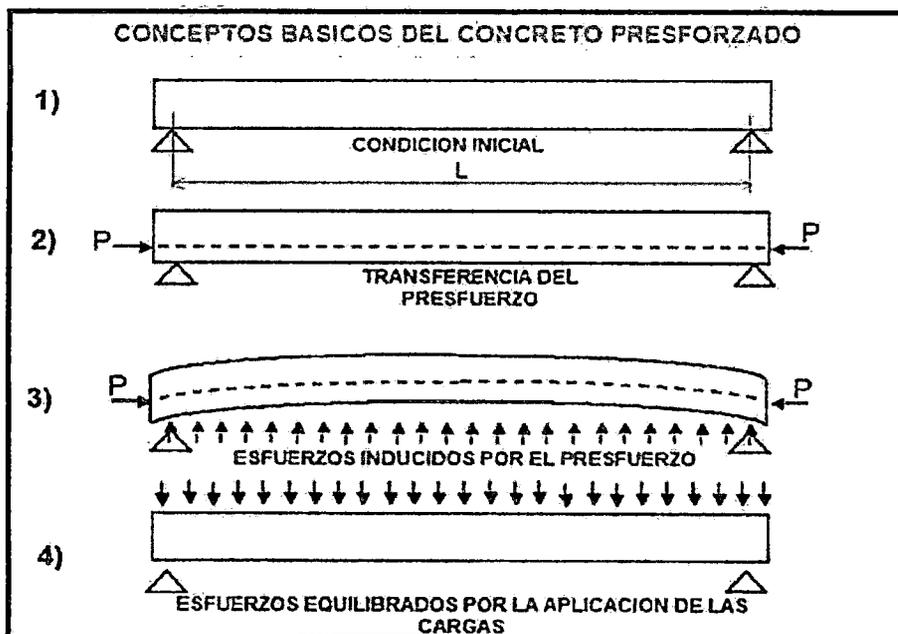


Fig.71. Conceptos básicos del concreto pretensado

## ANEXO II: DETALLES CONSTRUCTIVOS FIRTH

### 1. CONEXIÓN VIGUETA – VIGA PERALTADA

**Detalle1.-Extremos discontinuos:** Luces menores a 5.00m la vigueta ingresa 7.5 cm. Luces mayores a 5.00m la vigueta ingresa entre 10 y 15 cm.

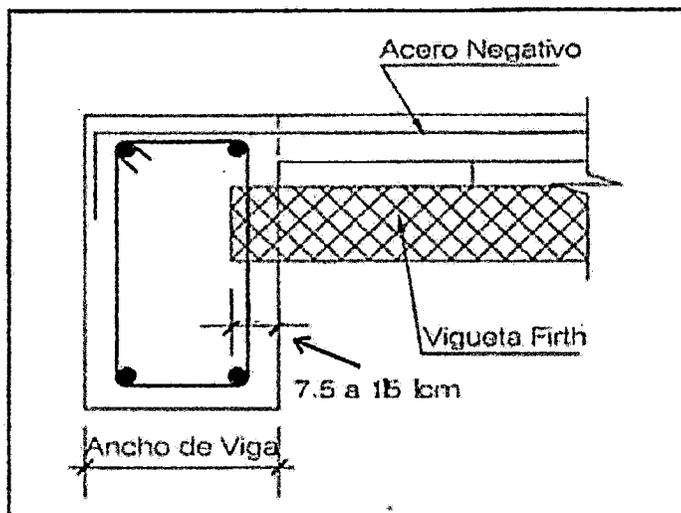


Fig.72. Extremos discontinuos

**Detalle 2.- Apoyos Continuos:** Luces menores a 5.00m la vigueta ingresa 7.5 cm. Luces mayores a 5.00m la vigueta ingresa 10 cm. Distanciamiento mínimo entre viguetas es de 4 cm

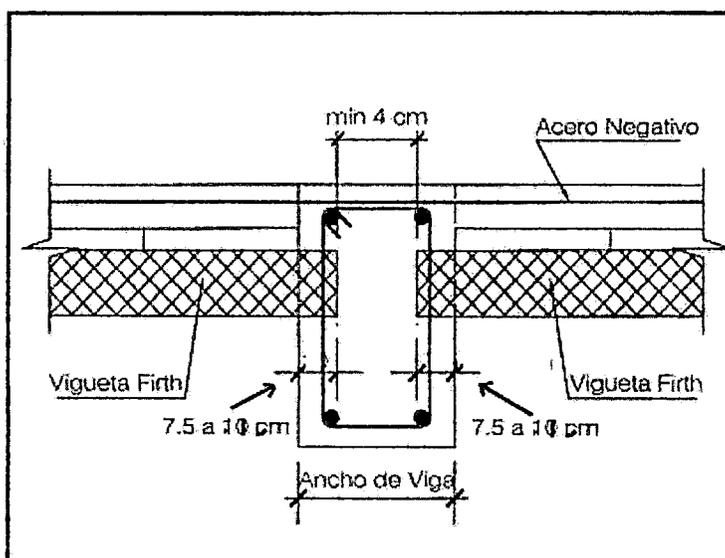
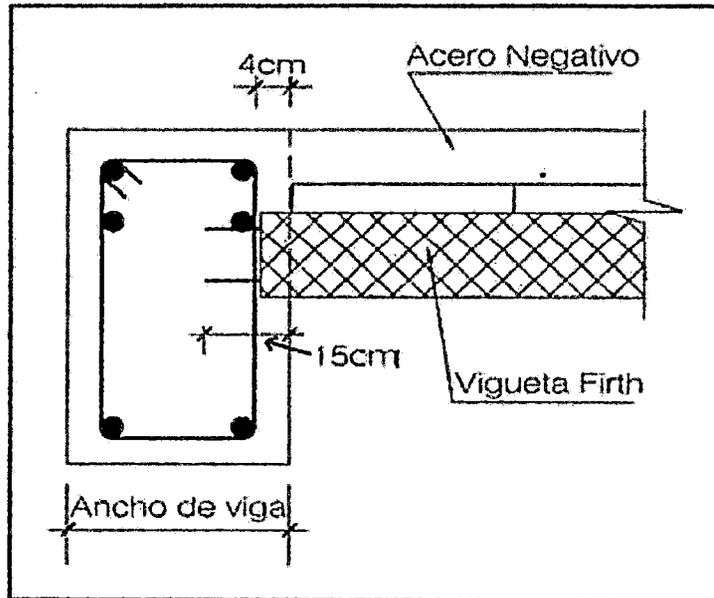


Fig.73. Apoyos Continuos

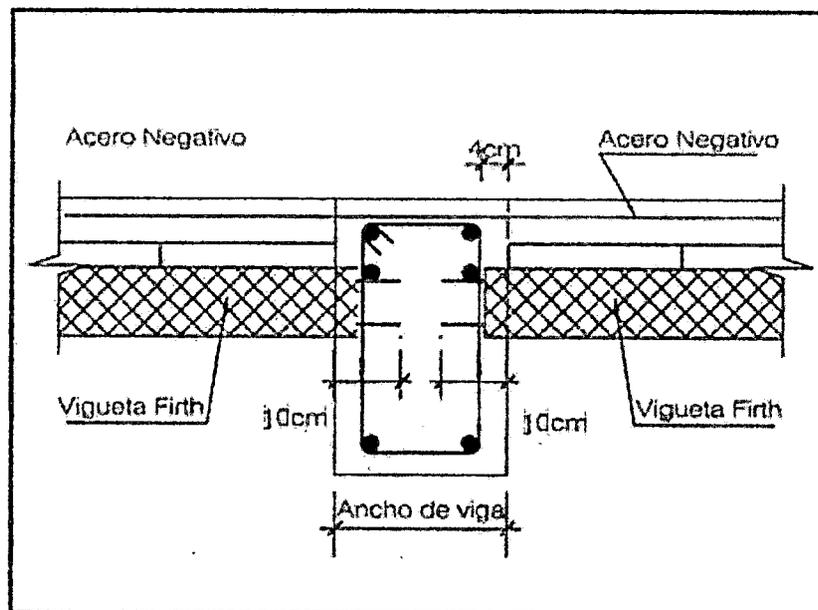
**Detalle3.-Extremos discontinuos:** En extremos de las vigas (Luces >5.00m) cuando hay doble capa de acero, se recomienda que la vigueta ingrese con cables vistos.

Conexión mínima = 15 cm



**Fig.74. Extremos discontinuos**

**Detalle4.-Apoyos Continuos:** Conexión mínima = 10 cm



**Fig.75. Apoyos Continuos**

## 2. CONEXIÓN VIGUETA – VIGA CHATA O SOLERA

### Detalle 5.-Longitudes de viguetas menores a 5.00m:

Apoyos discontinuos:

La vigueta ingresa 10 cm en la viga. Apoyos Continuos:

La vigueta ingresa 7.5 cm en la viga.

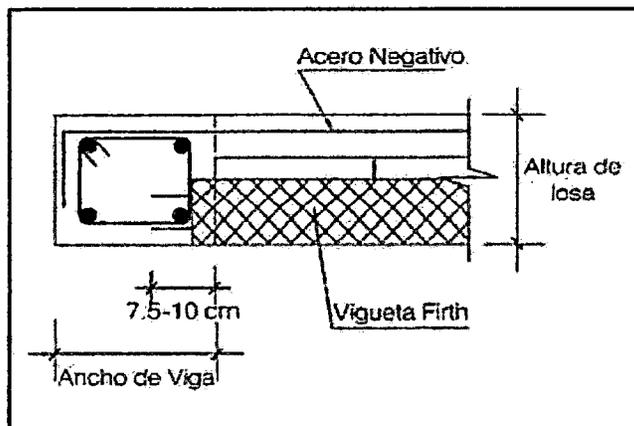


Fig.76. Longitudes de viguetas menores a 5.00m

### 3. CONEXIÓN VIGUETA – VIGA CHATA $L > 5.00m$

Detalle 6.-Longitudes de viguetas mayores a 5.00m: La vigueta ingresa 10 a 15 cm en la viga y adicionalmente se ensancha alternadamente (se quita 01 bovedilla) y se coloca una varilla al lado de la viguetas tal como se ve en el Detalle 8.

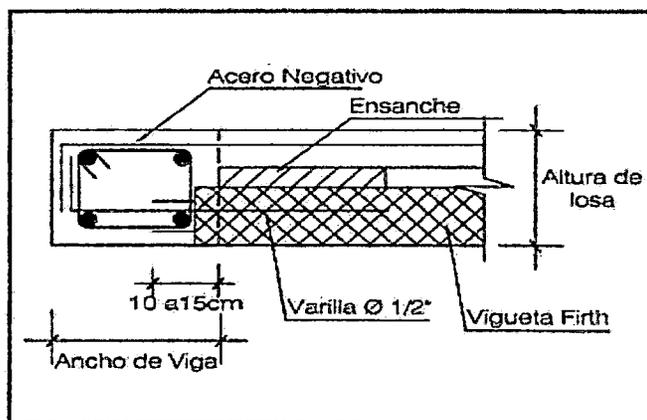


Fig.77. Longitudes de viguetas mayores a 5.00m

**Nota: Las vigas soleras no llevan varilla ni ensanche salvo que sea por esfuerzo cortante.**

#### 4. CONEXIÓN VIGUETA – VIGA INVERTIDA, T ó L

Detalle 7.-Siempre llevan ensanche y varillas  $\frac{1}{2}$ " : La vigueta ingresa entre 10 y 15 cm en la viga

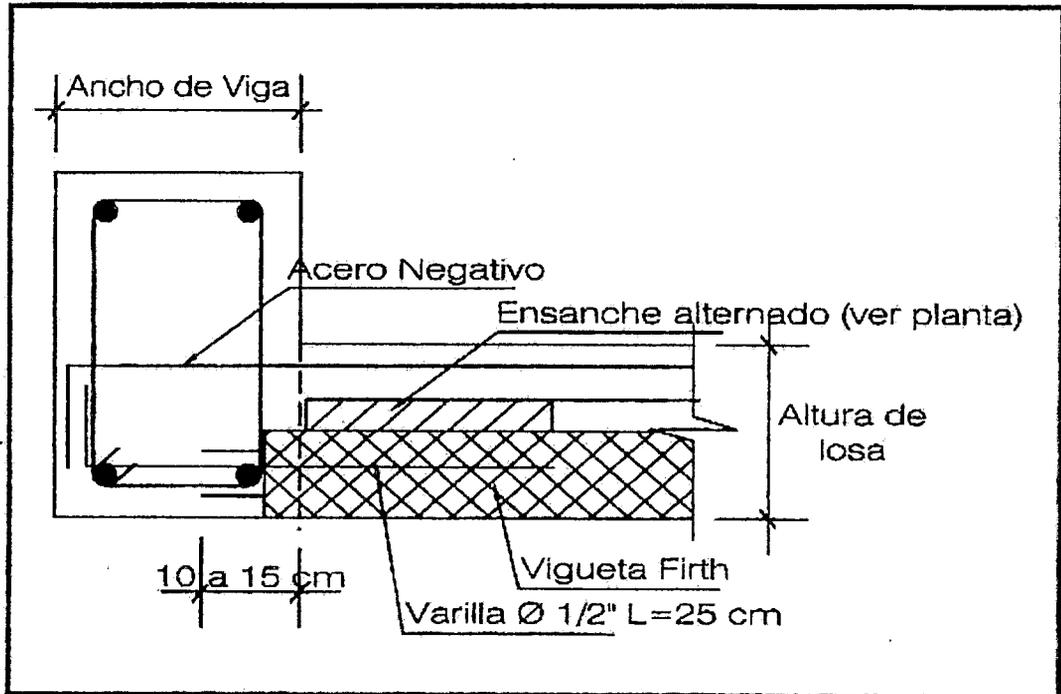


Fig.78. Conexión Vigueta-Viga Invertida

Detalle 8.-: Se muestran las varillas de  $\frac{1}{2}$ "

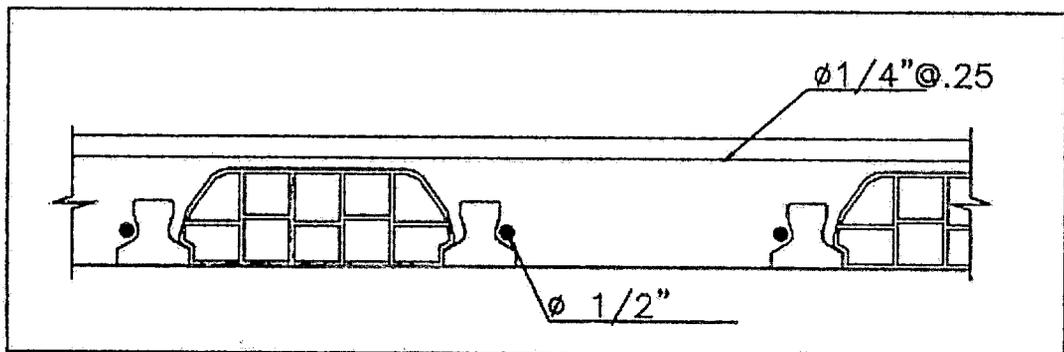
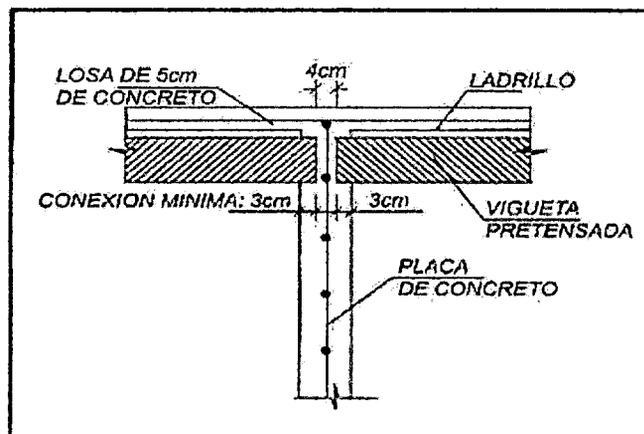


Fig.79. Uso de la varilla de  $\frac{1}{2}$ "

## 5. CONEXIÓN VIGUETA – PLACA

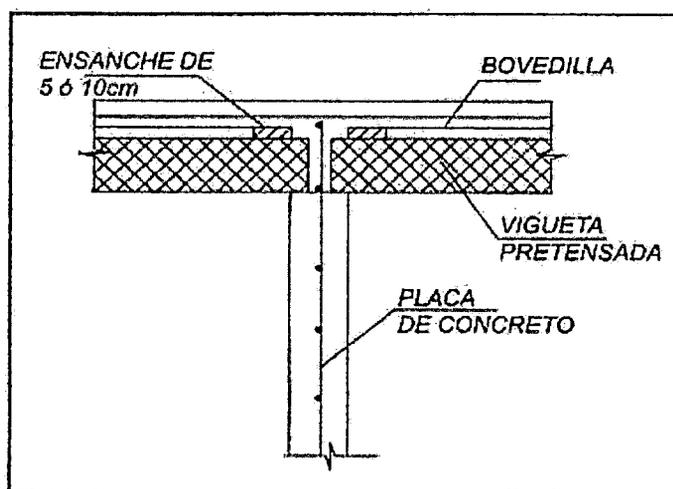
**Detalle 9.**-En placas de 10 cm, la conexión es de 3cm hasta luces de 4.5m. En caso de tener luces mayores se recomienda una conexión de 7.5cm, para lo cual habría que tener por lo menos una placa de 20 cm de espesor o en su defecto habrá que colocar una viga que garantice la conexión con la vigueta. Ver detalles 5 y 6.

**Distanciamiento entre viguetas  $\geq 4$  cm**



**Fig.80. Conexión Vigueta-Placa**

**Detalle 10.**-Si el nivel de vaciado de la placa es muy irregular, se puede dejar 5 a 10 cm de ensanche a todo lo largo para garantizar que el concreto rodee completamente a la vigueta .

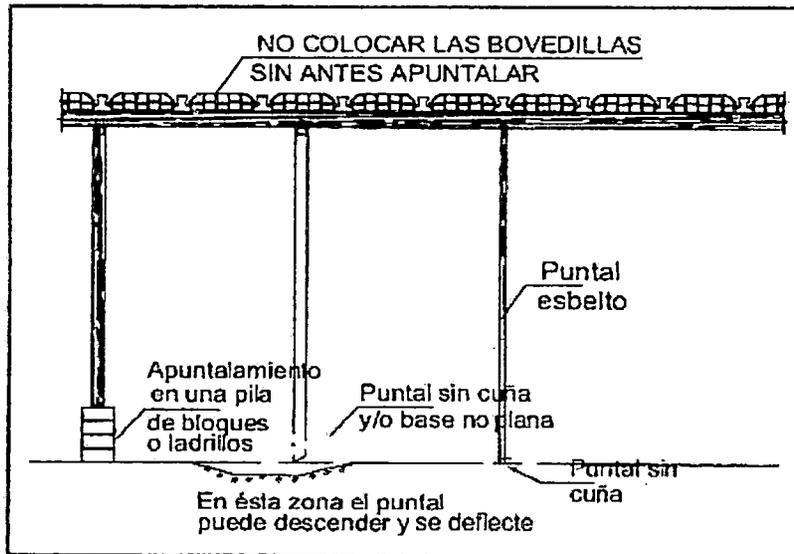


**Fig.81. Conexión Vigueta-Placa**

## APUNTALAMIENTO

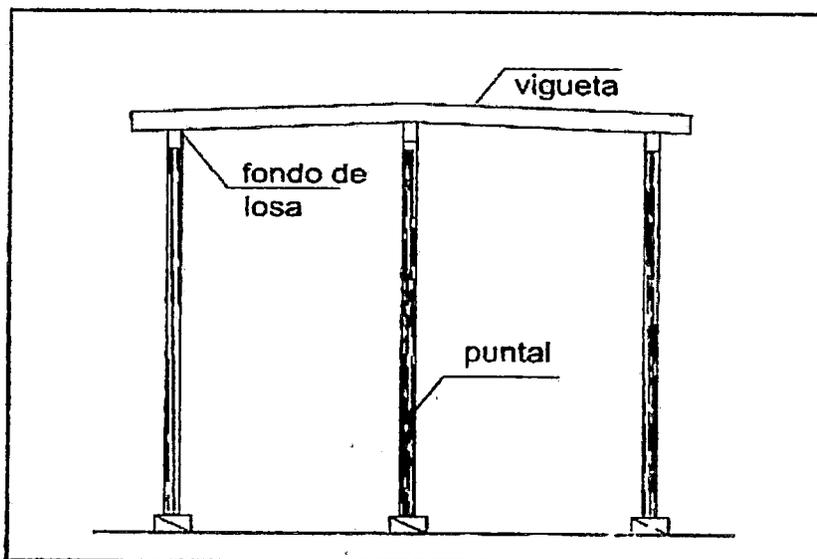
### 1. APUNTALAMIENTO DE LA LOSA

**Detalle11.**-Es muy importante tener una superficie plana y rígida que impida que el puntal descienda (falso piso o entrepiso) .



**Fig.82. Apuntalamiento de la losa**

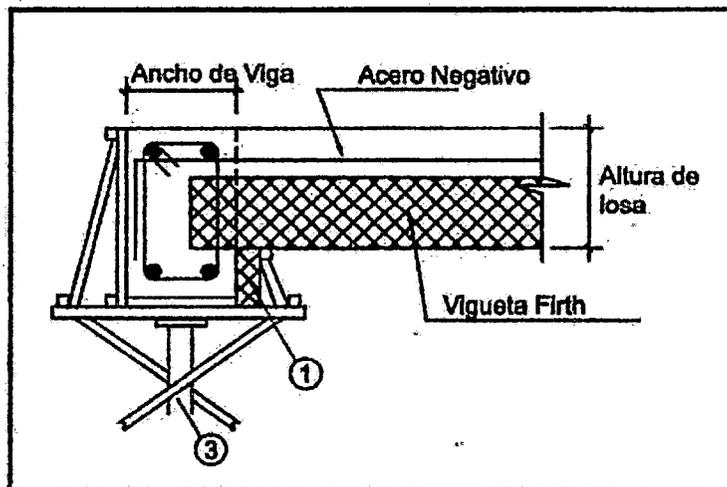
**Detalle 12.**-Los puntales deben tocar el fondo de la vigueta.



**Fig.83. Apuntalamiento de la Losa (puntales)**

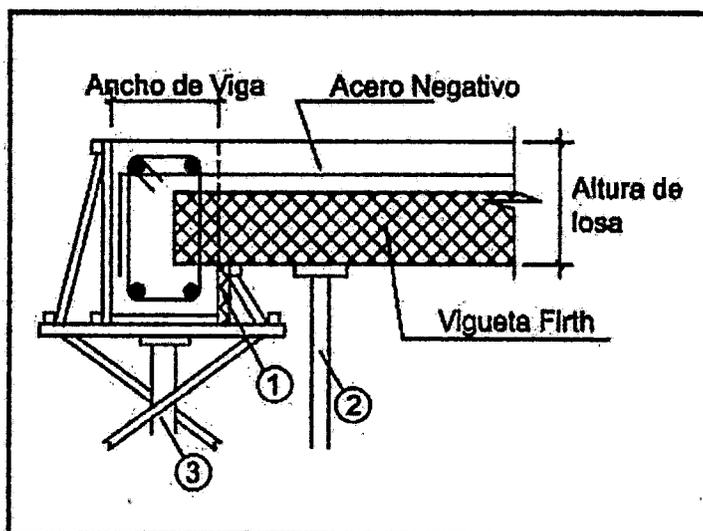
## 2. APUNTALAMIENTO DE VIGAS PERALTADAS PERPENDICULARES A LAS VIGUETAS

**Detalle 13.**-Cuando el elemento 1 es un panel (4"), la vigueta puede apoyarse sin necesidad de un puntal (elemento 2), sin embargo se recomienda reforzar mejor el apuntalamiento del elemento 3 ya que recibe el peso de la losa. Es muy importante tener una superficie plana y rígida que impida que el puntal descienda.



**Fig.84. Apuntalamiento de vigas peraltadas**

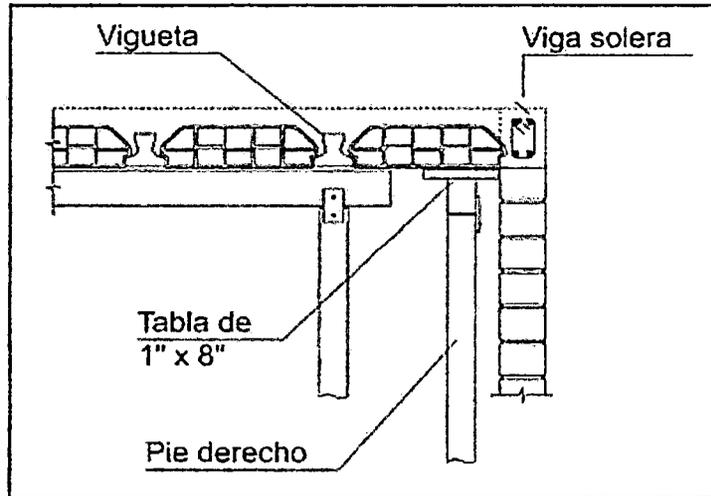
**Detalle 14.**-Se recomienda apuntalar en los extremos próximos a las vigas (elemento 2) cuando el elemento 1 es una tabla de 1" (mín.).



**Fig.85. Apuntalamiento de vigas peraltadas**

### 3. ENTABLADO DE BOVEDILLA – VIGAS CHATAS

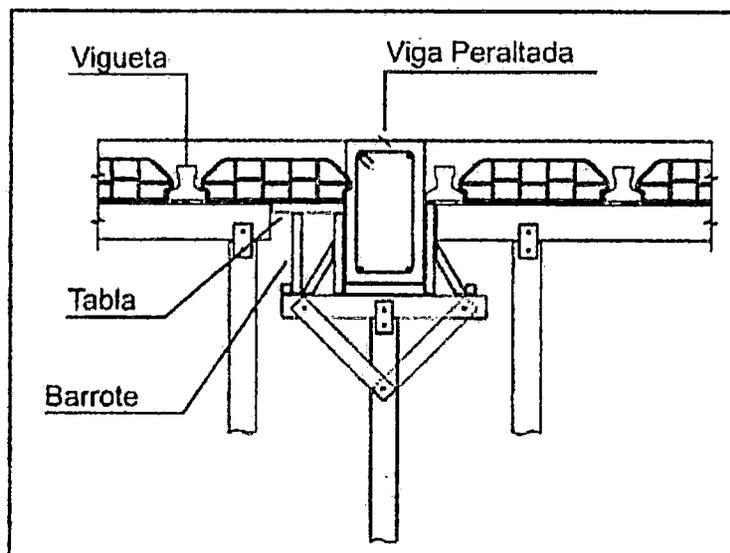
**Detalle 15.-** Soportar las bovedillas con tablas y puntales y asegurarlas con clavos, con dados de concreto o con un acero corrido amarrado al encofrado (cuando es metálico).



**Fig.86. Entablado Bovedilla-Viga Chata**

### 4. ENTABLADO DE BOVEDILLA – VIGAS PERALTADAS

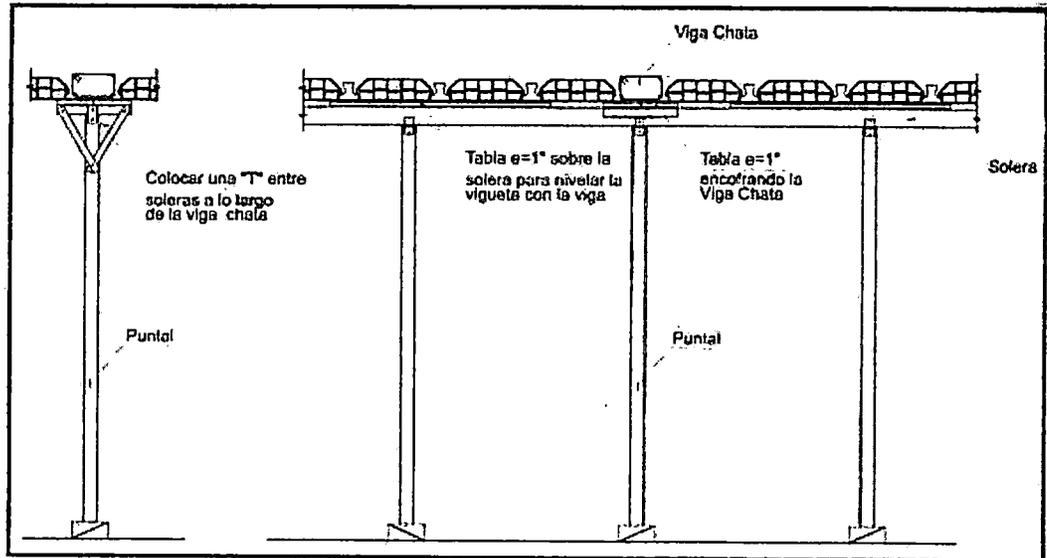
**Detalle 16.-** Soportar las bovedillas con tablas y puntales y asegurarlas con clavos, con dados de concreto o con un acero corrido amarrado al encofrado (cuando es metálico).



**Fig.87. Entablado bovedilla-Viga Peraltadas**

## 5. APUNTALAMIENTO DE VIGAS CHATAS PARALELAS A LAS VIGUETAS

**Detalle 17.-** Se coloca tablas de 1" sobre las soleras para nivelar las viguetas con las vigas



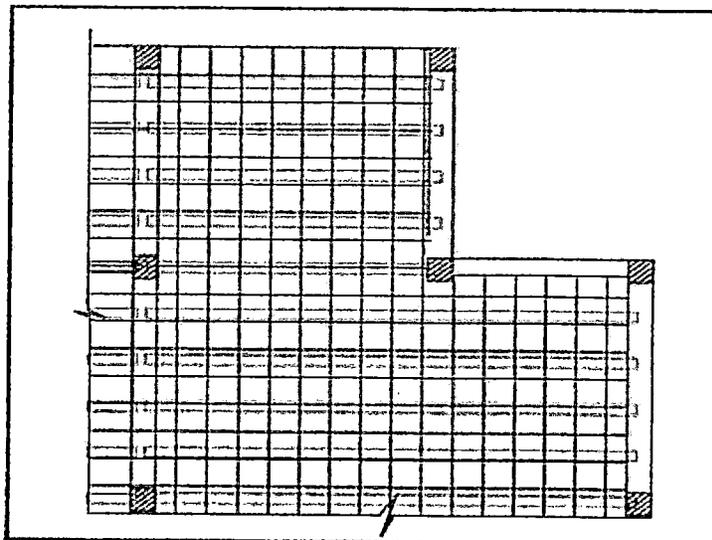
**Fig.88.**Apuntalamiento de Vigas Chatas paralelas

### OTROS

#### 1. ACERO DE TEMPERATURA

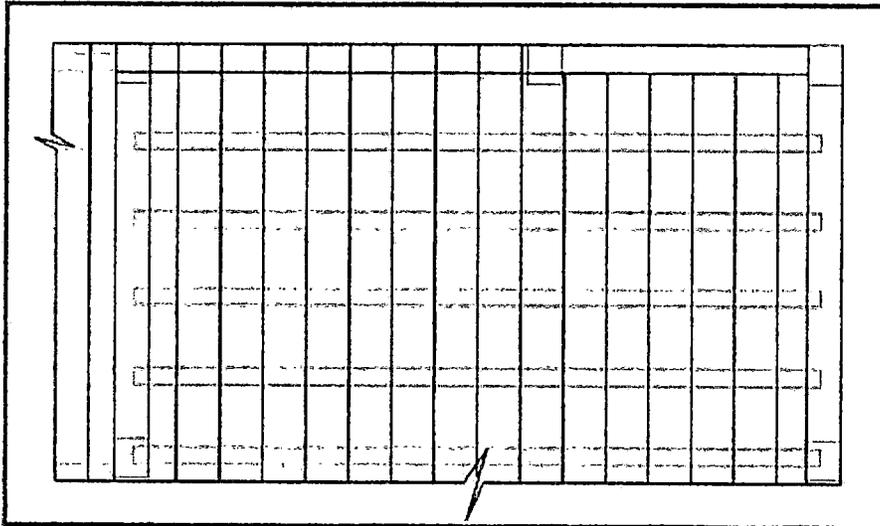
**Detalle 18.-**Para luces menores a 5.00m y entrepisos:

El acero de temperatura es de  $\phi 1/4"$  @ 25 cm en la dirección perpendicular a las viguetas.



**Fig.89.** Acero de Temperatura

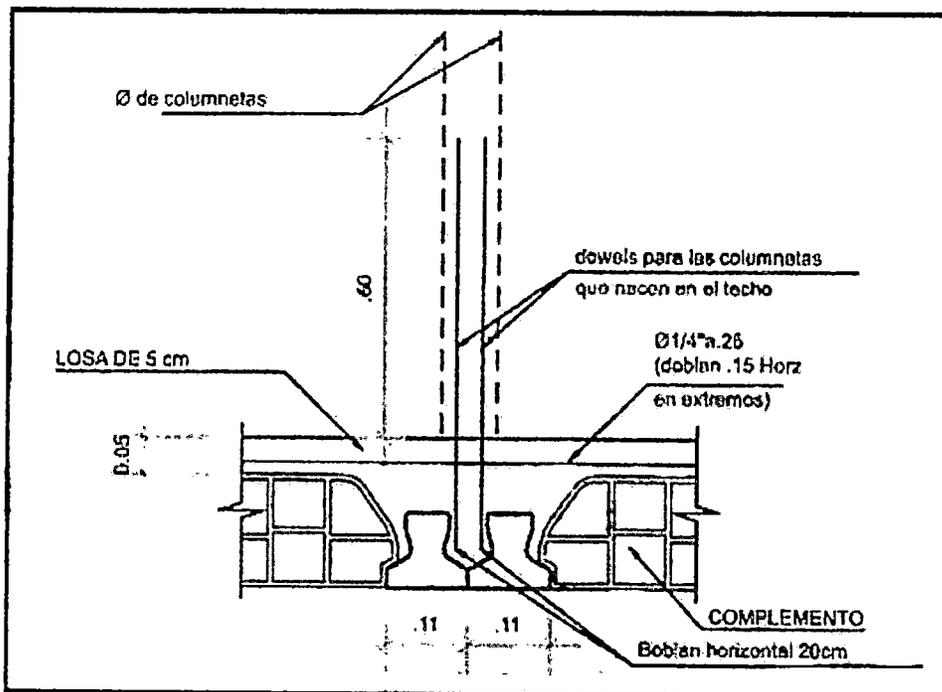
**Detalle 19.**-Para luces mayores a 5.00m, azoteas y plantas con un incremento brusco en la luz (ver fig.): El acero de temperatura va en 02 sentidos:  $\frac{1}{4}" @ 25$  cm en la dirección perpendicular a las viguetas y  $\frac{1}{4}" @ 30$  cm en la dirección paralela a las viguetas.



**Fig.90. Acero de Temperatura**

## 2. DOBLE VIGUETA – COLUMNETA

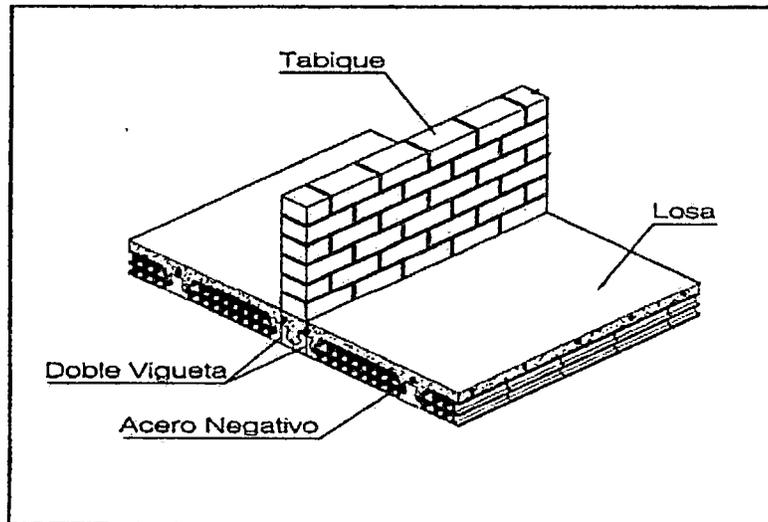
**Detalle 20.**- Detalle de doble vigueta-columneta



**Fig.91. Doble vigueta- Columneta**

### 3. DOBLE VIGUETA – TABIQUE

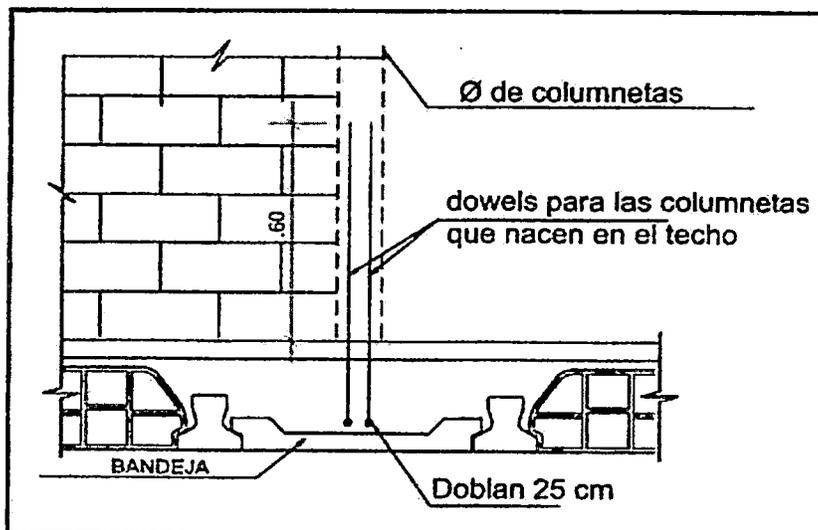
**Detalle 21.-** Colocar doble acero negativo: Luces mayores a 5.00m, hay que verificar el uso de la doble vigueta, ya que puede ser necesaria una viga chata.



**Fig.92. Doble Vigueta-Tabique**

### 4. TABIQUE TRANSVERSAL A LA VIGUETA

**Detalle 22.-** Considerar una sobrecarga equivalente de 150 Kg/m<sup>2</sup> (luces menores a 5.00m). En el caso de luces mayores a 5.00m, necesariamente se deberá consultar con el ingeniero proyectista. Se dejan dowels para las columnetas que se coloca una bandeja sanitaria y se maciza luego dicha zona con concreto.

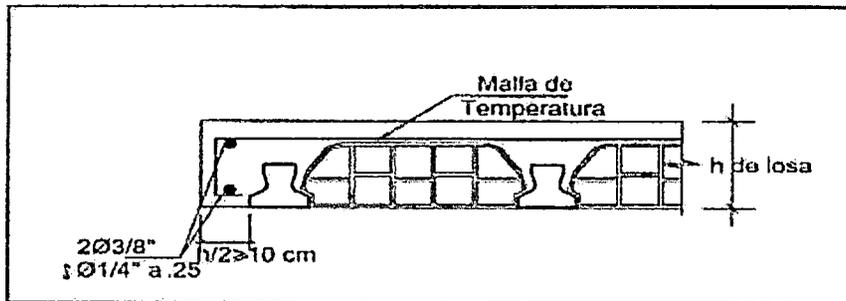


**Fig.93. Tabique transversal a la vigueta**



## 7. BORDE LOSA

**Detalle 25.**-Los bordes deben estar confinados con vigas para evitar posibles fisuramientos.



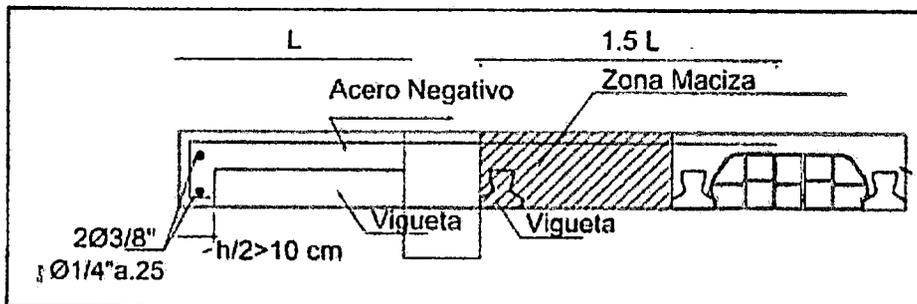
**Fig.96. Borde Losa**

## 8. VOLADIZOS

**Detalle 26.**-Siempre debe haber una viga en el borde de la losa. Los voladizos van de 0.80 a 1.50m.

El acero negativo debe anclar 1.5 veces la longitud del voladizo en el paño contiguo.

En caso la losa adyacente vaya en sentido contrario al sentido de las viguetas del voladizo, deberá macizarse 50 cm tal como se ve en la figura.



**Fig.97. Voladizos**

## 9. DETALLE EN ZONA DE DUCTOS

**Detalle 27.**-Este detalle es para ductos de hasta 60 cm, ductos de mayor dimensión deberían estar confinados por vigas o dobles viguetas, que quedan a decisión del ingeniero proyectista.

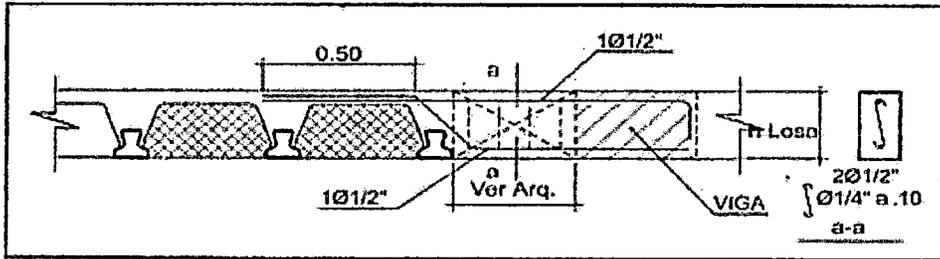


Fig.98. Detalle en zona de ductos.

### 10. FIJACIÓN DE TUBOS DE VENTILACIÓN

**Detalle 28.-** Para fijar sistemas de ventilación, contra incendio, bandejas eléctricas, tuberías de gas, etc. Se sugiere usar anclajes de expansión para elementos pretensados. Los agujeros se harán en los dos tercios de las viguetas (aproximadamente a 4 cm de los extremos) como se ve en la fig. a. También las tuberías pueden quedar fijadas a la losa sin necesidad de tocar la vigueta tal como se ve en la figura b. utilizando un fierro de 3/8" o de 1/2".

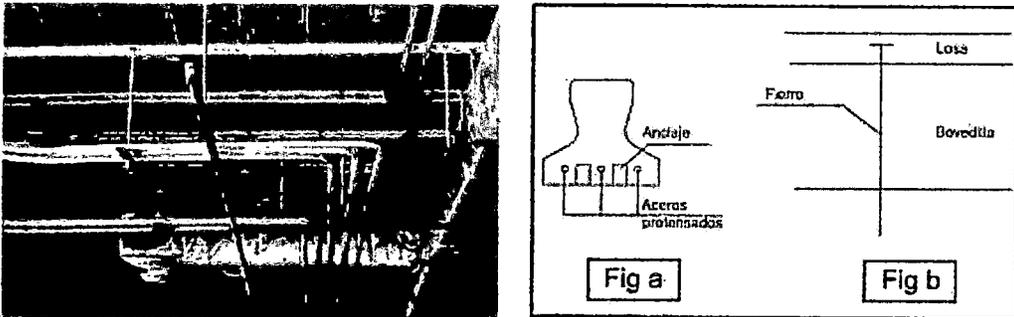


Fig.99. Fijación de tubos de Ventilación

### 11. TRASLAPE DE VIGUETAS

**Detalle 29.-** Los traslapes de viguetas sólo son posibles si:

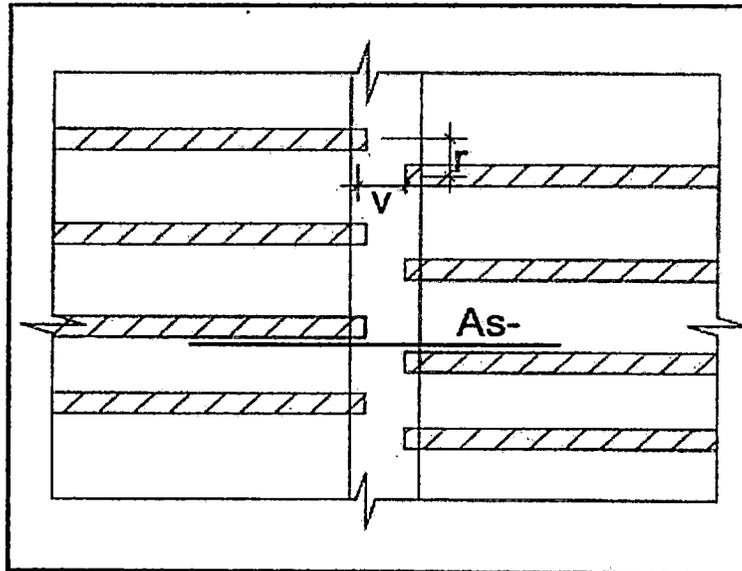
$$r \leq v$$

En donde:

r es la distancia entre ejes de viguetas

v es la distancia entre caras de concreto de las viguetas.

**Nota: Se sugiere usar viguetas continuas.**

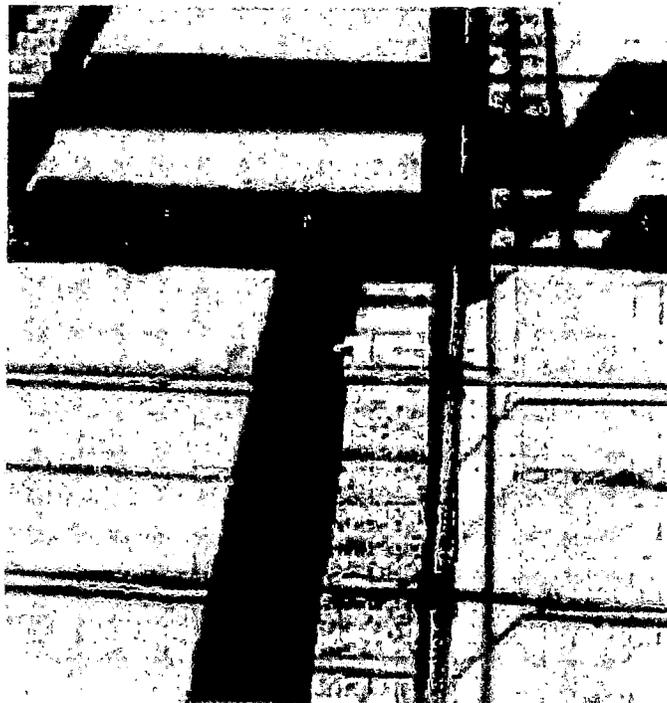


**Fig.100. traslape de viguetas**

## 12. PAÑO IRREGULAR DE FORMA TRAPEZOIDAL

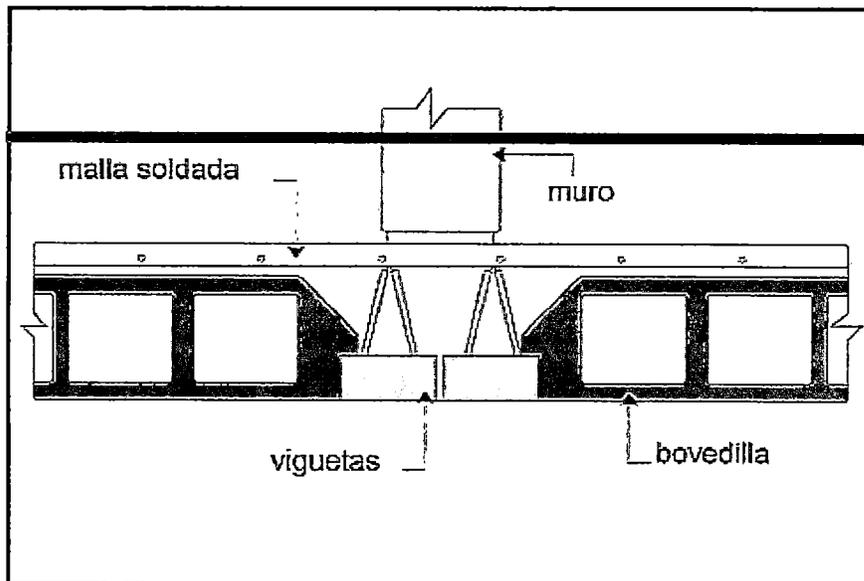
### Detalle 30.- Traslape de viguetas

En conexiones con vigas chatas, placas o en voladizos, es mejor que las viguetas conserven la continuidad y no se traslapen.



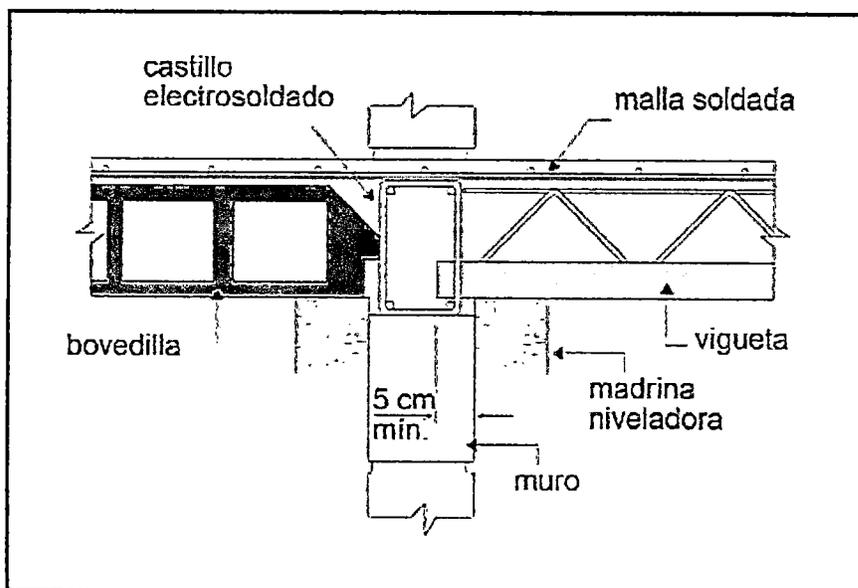
**Fot.81. Paño irregular de forma trapezoidal**

### ANEXO III: DETALLES CONSTRUCTIVOS TODOCEMENTO



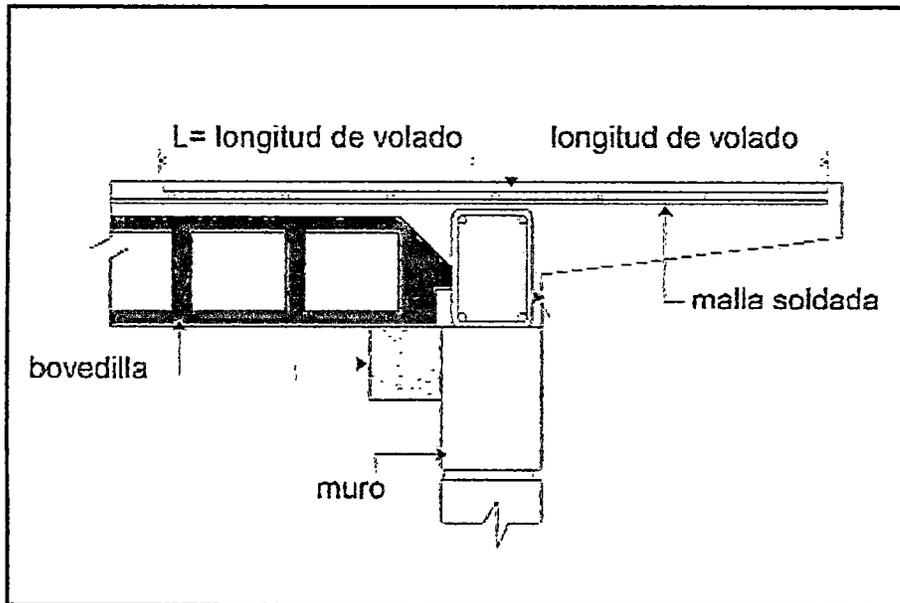
## DOBLE VIGUETA PARA CARGAR MURO DIVISORIO

Fig.101. Doble vigueta



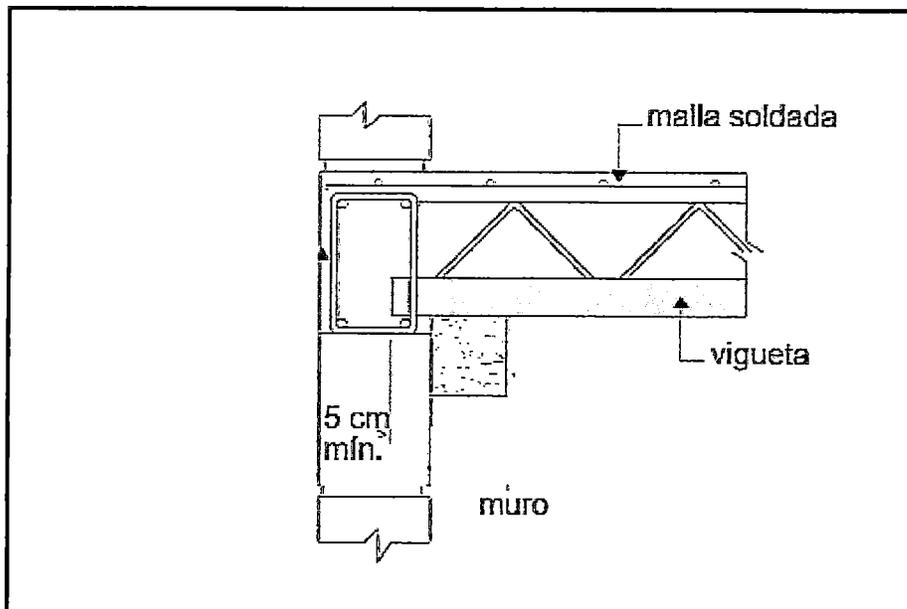
## VIGUETA Y BOVEDILLA APOYADAS EN MURO INTERIOR

Fig.102. Vigueta y bovedilla apoyada en muro interior



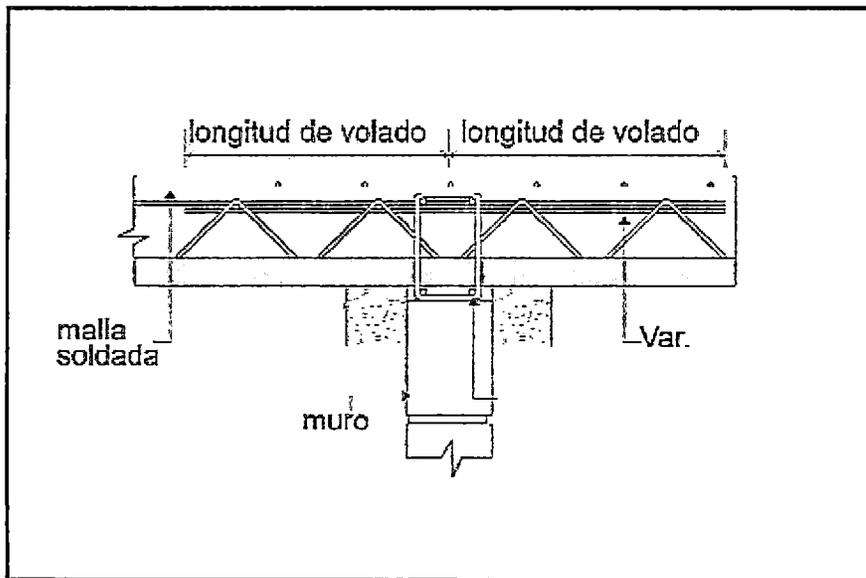
## VOLADO CON LOSA SOLIDA

Fig.103. Volado con losa sólida



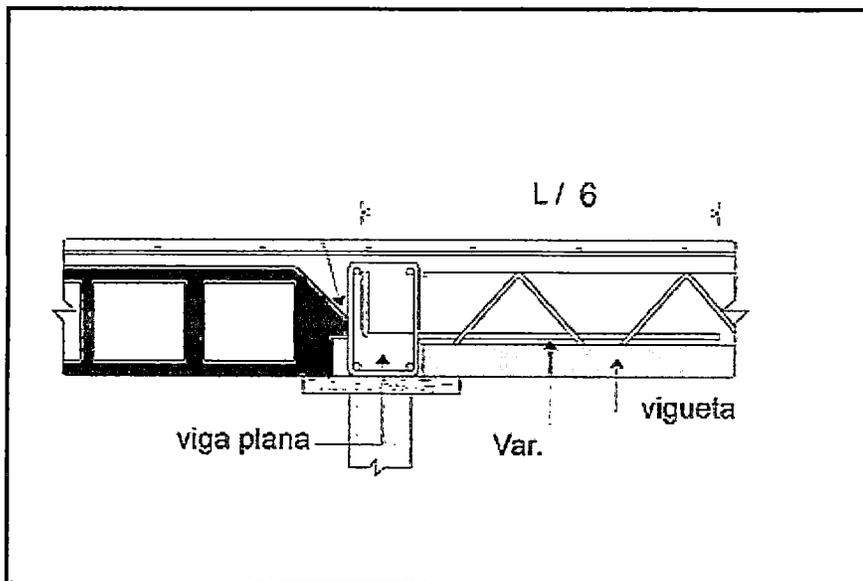
## VIGUETA APOYADA EN MURO EXTERIOR

Fig.104. Vigueta apoyada en muro exterior



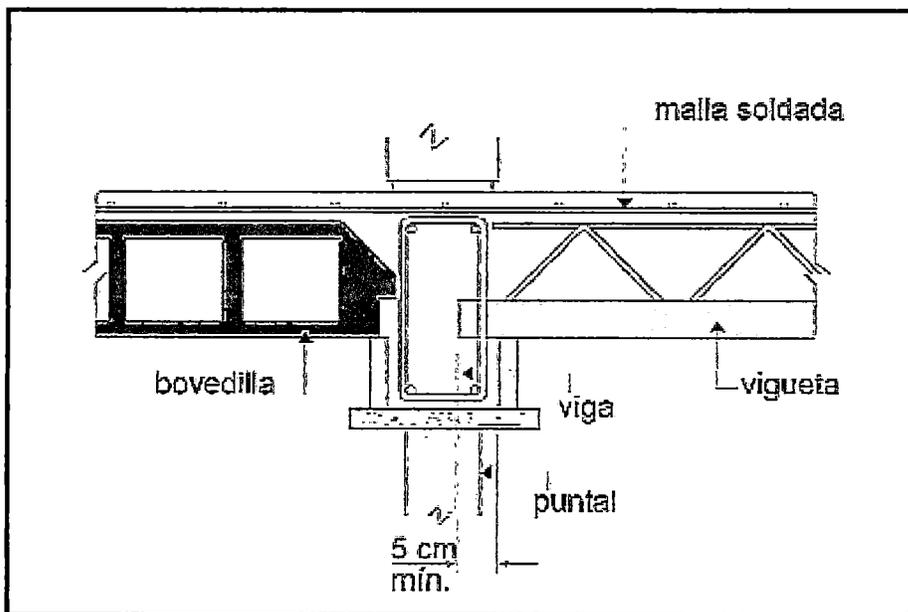
## VOLADO CON LOSA VIGUETA

Fig.105. Volado con losa vigueta



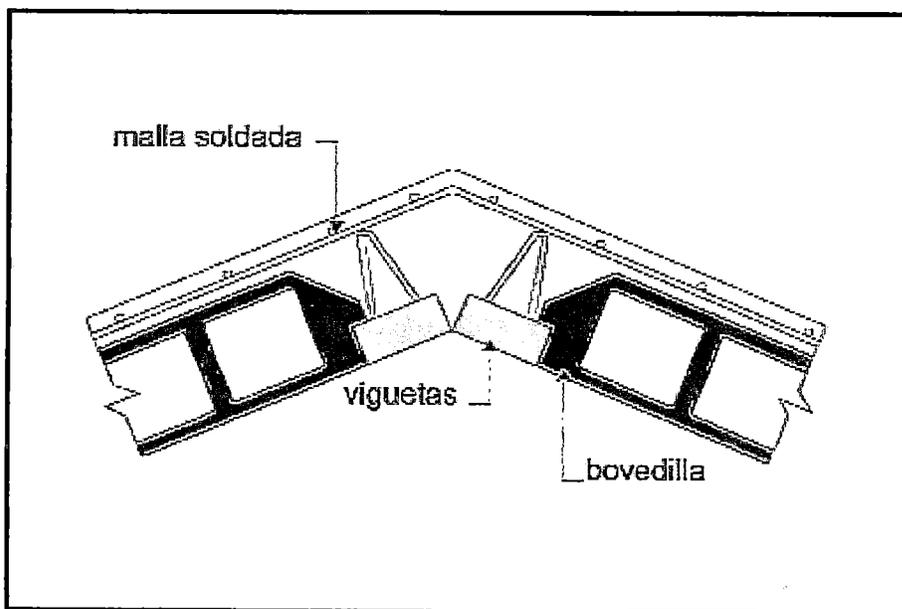
## VIGUETA Y BOVEDILLA APOYADAS SOBRE VIGA PLANA

Fig.106. Vigueta y Bovedilla apoyadas sobre viga plana



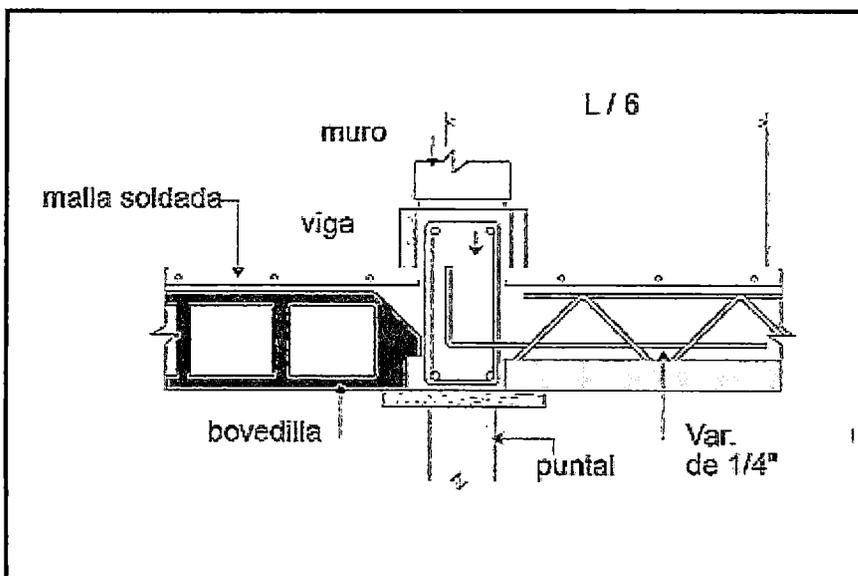
## VIGUETA Y BOVEDILLA APOYADAS EN VIGA PERALTADA

Fig.107. Vigüeta y bovedilla apoyadas en viga peraltada



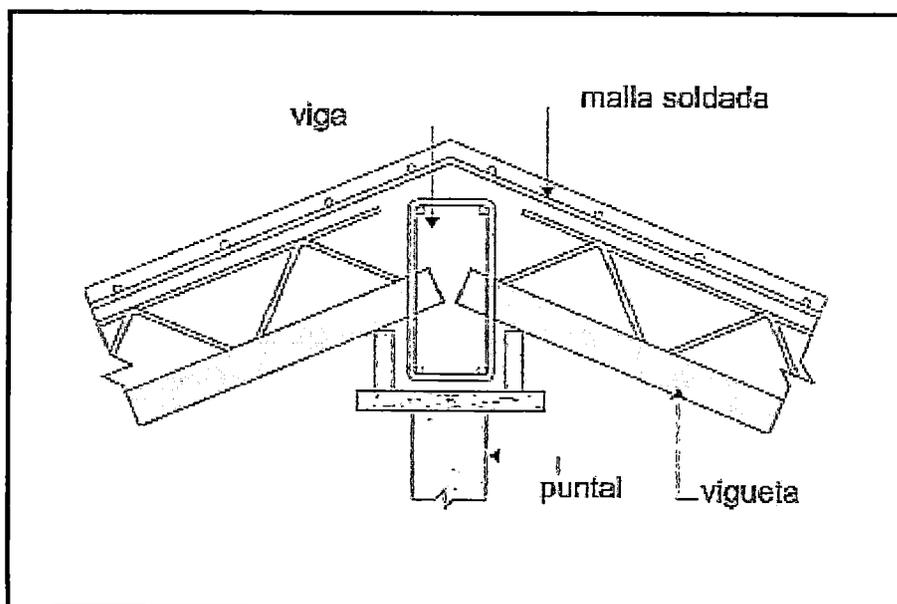
## CUMBRERA CON DOBLE VIGUETA

Fig.108. Cumbre con doble vigüeta



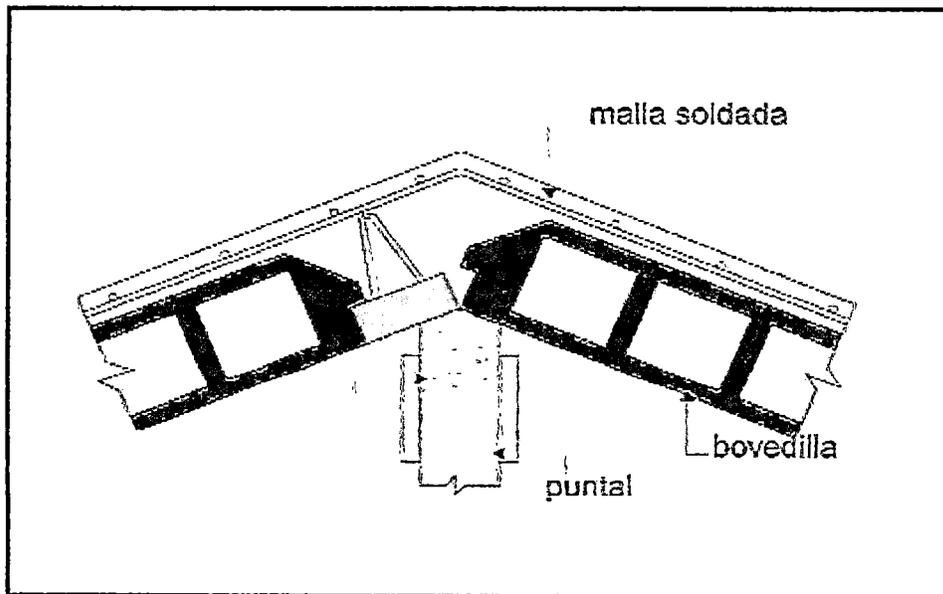
## VIGUETA Y BOVEDILLA APOYADAS EN VIGA INVERTIDA

Fig.109. Vigueta y bovedilla apoyada en viga invertida



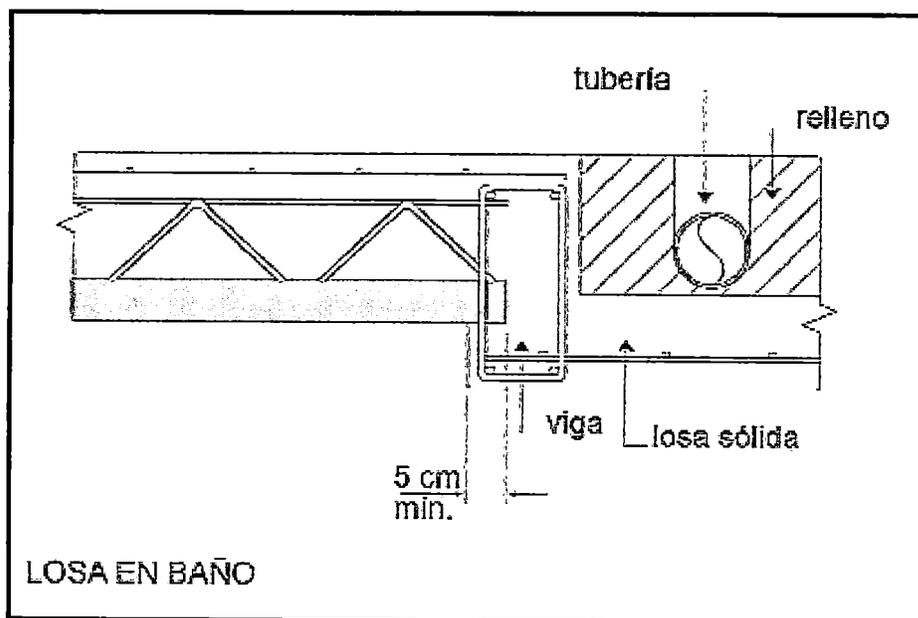
## VIGUETAS EN CUMBRERA APOYADAS EN VIGA

Fig.110. Vigueta en cumbre apoyadas en viga



## VIGUETA EN CUMBRE

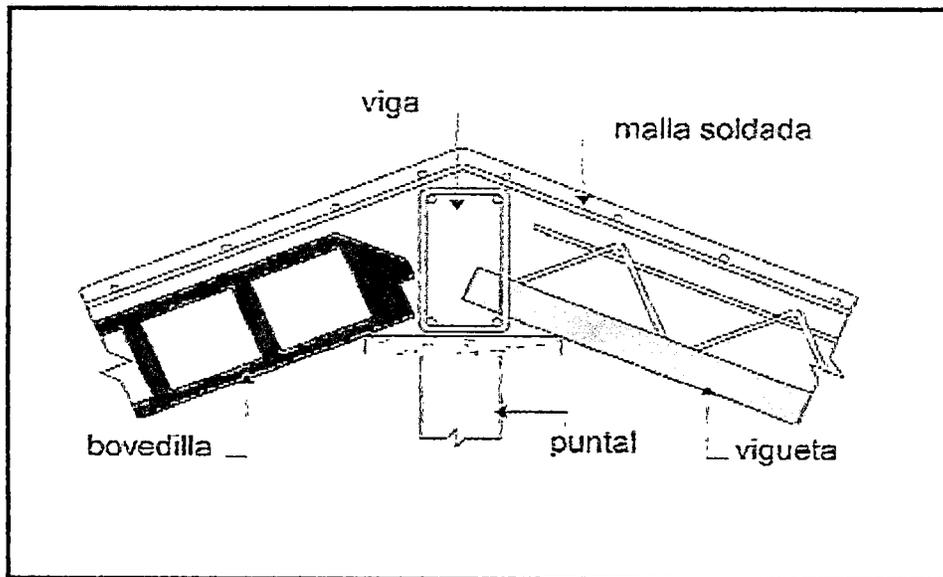
Fig.111. Vigueta en cumbre



## ALTERNATIVA 1. LOSA SOLIDA

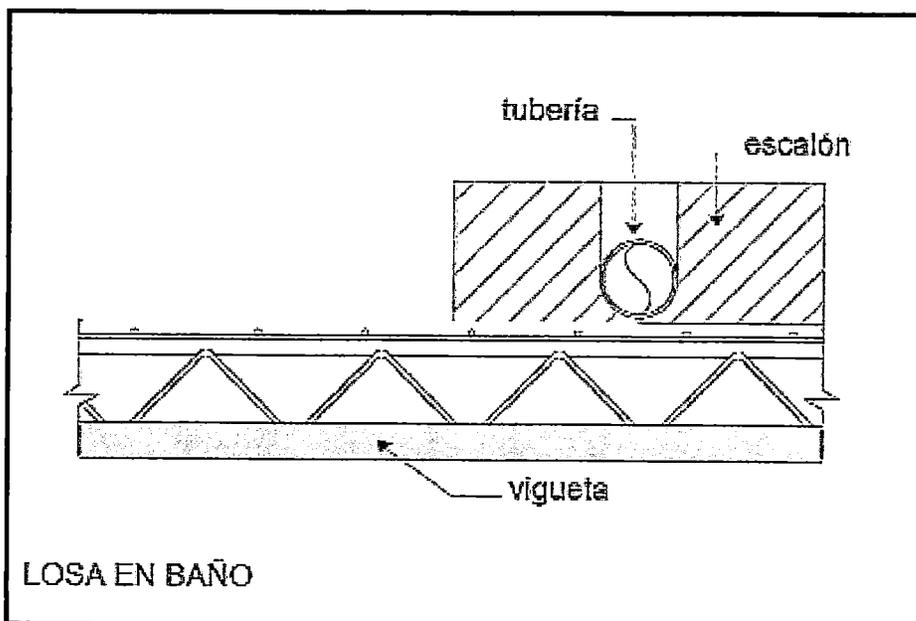
Fig.112. Losa Sólida

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOSAS ALIGERADAS: UTILIZANDO VIGUETAS PREFABRICADAS FIRTH, VIGUETAS ARMADAS TODOCEMENTO Y VIGUETAS VACIADAS EN OBRA



## CUMBRERA CON VIGA

Fig.113. Cumbre con viga



## ALTERNATIVA 2. CON RELLENO SOBRE LA LOSA

Fig.114. Relleno sobre la losa

## ANEXO IV: TABLAS DE DISEÑO FIRTH

**TABLA 1: TABLA DE MOMENTOS ADMISIBLES DE LAS VIGUETAS FIRTH**

**Tabla1.- Tabla de Momentos Admisibles de las Viguetas FIRTH**

\* Ver limitaciones

	Altura de losa (cm)	Dist/Ejes (cm)	Peso Propio (Kg/m <sup>2</sup> )		Momentos Admisibles (Kg-m) = $\phi Mn$				
			Ladrillo	Poliestireno	V101	V102	V103	V104	V105
VIGUETA SIMPLE	17	60	245	180	760	1030	1290	1585	1965
	20	60	275	210	940	1280	1595	1965	2435
	25	60	330	250	1250	1660	2100	2595	3230
	17	50	245	180	760	1030	1290	1585	1965
	20	50	280	210	940	1280	1595	1965	2435
	25	50	335	250	1250	1660	2100	2595	3230
VIGUETA DOBLE (DDVV)	30	50	400	300	1560	2020	2610	3230	4020
	17	71	250	200	1470	1953	2445	2960	3600
	20	71	310	245	1835	2469	3055	3720	4540
	25	71	395	320	2445	3196	4070	4980	6110
	17	61	290	230	1470	1953	2445	2960	3600
	20	61	345	280	1835	2469	3055	3720	4540
	25	61	430	350	2445	3196	4070	4980	6110
	30	61	515	420	3055	3970	5090	6240	7690

\* Limitaciones:

**Series máximas de viguetas a usar según la luz del paño:**  
(Por efecto de transporte y manipulación)

Descripción:	V101	V102	V103	V104	V105
LUZ MÁXIMA DE VIGUETA (m)	4.50	5.50	6.50	7.50	8.50

**Alturas de losa recomendadas considerando la funcionalidad de la losa**

**Entrepisos:**

Luces (m)	0-5.10	5.10-6.00	6.00-7.50	7.50-8.50
Altura de losa	17 a 60	20 a 60	25 a 60	30 a 50

**Azoteas (S/C=100 Kg/m<sup>2</sup>):**

Luces (m)	0-6.00	6.00-6.50	6.50-8.00	8.00-8.50
Altura de losa	17 a 60	20 a 60	25 a 60	30 a 50

**Estacionamientos: todos a 50**

**TABLA 2: TABLA LUZ vs. SOBRECARGA (losa:17@60cm)**

**VIGUETAS PRETENSADAS**

Tabla 2- Tabla Luz Vs. Sobrecarga



**CONSIDERACIONES:**

Peso Propio (pp), Piso terminado (100 Kg/m<sup>2</sup>), S/C  
Se considera una losa simplemente apoyada:  $wL^2/8$

ALTURA DE LOSA	17	cm
ESPACIAMIENTO A EJES	60	cm
COMPLEMENTO	LADRILLO DE ARCILLA	

a (mts) 0,6 m

pp(kg/m<sup>2</sup>)= 245

wu(kg/m)= 419

L(m)	Sobrecarga-S/C (Kg/m <sup>2</sup> )							
	100	150	200	250	300	350	400	500
2.50								
2.60								
2.70								
2.80				V101				
2.90								
3.00								
3.10								
3.20								
3.30								
3.40								
3.50				V102				
3.60								
3.70								
3.80								
3.90								
4.00				V103				
4.10								
4.20								
4.30								
4.40								
4.50				V104				
4.60								
4.70								
4.80								
4.90				V105				
5.00								
5.10								
5.20								
5.30								
5.40								
5.50								
5.60								
5.70								
5.80								
5.90								
6.00								

Firth Industries Perú S.A.

Las viguetas V101, V102, V103, V104 y V105 son autoportantes hasta 1.50m  
Soleras (3" x 4") a 1.50m y puntales (3x4") a 1.50m

**TABLA 3: TABLA LUZ vs. SOBRECARGA (losa:20@60cm)**

**VIGUETAS PRETENSADAS**

**CONSIDERACIONES:**

Peso Propio (pp), Piso terminado (100 Kg/m<sup>2</sup>), S/C

Se considera una losa simplemente apoyada:  $wL^2/8$

ALTURA DE LOSA	20	cm
ESPACIAMIENTO A EJES	60	cm
COMPLEMENTO	LADRILLO DE ARCILLA	

a (mts) = 0.6 m  
 pp(kg/m<sup>2</sup>)= 275  
 wu(kg/m)= 446

L(m)	Sobrecarga-S/C (Kg/m <sup>2</sup> )							
	100	150	200	250	300	350	400	500
2.50								
2.60								
2.70								
2.80								
2.90								
3.00				V101				
3.10								
3.20								
3.30								
3.40								
3.50								
3.60								
3.70								
3.80				V102				
3.90								
4.00								
4.10								
4.20								
4.30				V103				
4.40								
4.50								
4.60								
4.70								
4.80				V104				
4.90								
5.00								
5.10								
5.20								
5.30								
5.40				V105				
5.50								
5.60								
5.70								
5.80								
5.90								
6.00								
6.10								
6.20								
6.30								
6.40								
6.50								

Firth Industries Perú S.A.

Las viguetas V101, V102, V103, V104 y V105 son autoportantes hasta 1.50m  
 Soleras (3" x 4") a 1.50m y puntales (3x4") a 1.50m

**TABLA 4: TABLA LUZ vs. SOBRECARGA (losa:25@60cm)**

**VIGUETAS PRETENSADAS**

**CONSIDERACIONES:**

Peso Propio (pp), Piso terminado (100 Kg/m<sup>2</sup>), S/C  
Se considera una losa simplemente apoyada:  $wL^2/8$

ALTURA DE LOSA	25	cm
ESPACIAMIENTO A EJES	60	cm
COMPLEMENTO	LADRILLO DE ARCILLA	

a 0.6 m

pp(kg/m<sup>2</sup>)= 330

wu(kg/m)= 495

549

603

657

711

765

819

927

L(m)	Sobrecarga-S/C (Kg/m <sup>2</sup> )							
	100	150	200	250	300	350	400	500
2.50								
2.60								
2.70								
2.80								
2.90								
3.00								
3.10				V101				
3.20								
3.30								
3.40								
3.50								
3.60								
3.70								
3.80								
3.90								
4.00								
4.10								
4.20				V102				
4.30								
4.40								
4.50								
4.60								
4.70								
4.80				V103				
4.90								
5.00								
5.10								
5.20				V104				
5.30								
5.40								
5.50								
5.60								
5.70								
5.80				V105				
5.90								
6.00								
6.10								
6.20								
6.30								
6.40								
6.50								
6.60								
6.70								
6.80								
6.90								
7.00								

Firth Industries Perú S.A.

Las viguetas V101, V102, V103, V104 y V105 son autoportantes hasta 1.50m  
Soleras (3" x 4") a 1.50m y puntales (3x4") a 1.50m



**TABLA 5: TABLA LUZ vs. SOBRECARGA (losa:17@50cm)**

**VIGUETAS PRETENSADAS**

**CONSIDERACIONES:**

Peso Propio (pp), Piso terminado (100 Kg/m<sup>2</sup>), S/C  
 Se considera una losa simplemente apoyada:  $wL^2/8$ .

ALTURA DE LOSA	17	cm
ESPACIAMIENTO A EJES	50	cm
COMPLEMENTO	LADRILLO DE ARCILLA	

a 0,5 m

pp(kg/m<sup>2</sup>)= 245

wu(kg/m)= 349      394      439      484      529      574      619      709

L(m)	Sobrecarga-S/C (Kg/m <sup>2</sup> )							
	100	150	200	250	300	350	400	500
2.50								
2.60								
2.70								
2.80								
2.90								
3.00				V101				
3.10								
3.20								
3.30								
3.40								
3.50								
3.60								
3.70								
3.80				V102				
3.90								
4.00								
4.10								
4.20								
4.30								
4.40				V103				
4.50								
4.60								
4.70								
4.80				V104			V105	
4.90								
5.00								
5.10								
5.20								
5.30								
5.40								
5.50								
5.60								
5.70								
5.80		V105						
5.90								
6.00								

Firth Industries Perú S.A.

Las viguetas V101, V102, V103, V104 y V105 son autoportantes hasta 1.80m  
 Soleras (3" x 4") a 2.00m y puntales (3x4") a 1.50m

**TABLA 6: TABLA LUZ vs. SOBRECARGA (losa:20@50cm)**

**VIGUETAS PRETENSADAS**



**CONSIDERACIONES:**

Peso Propio (pp), Piso terminado (100 Kg/m<sup>2</sup>), S/C  
Se considera una losa simplemente apoyada:  $wL^2/8$

ALTURA DE LOSA	20	cm
ESPACIAMIENTO A EJES	50	cm
COMPLEMENTO	LADRILLO DE ARCILLA	

a 0.5 m

pp(kg/m<sup>2</sup>)= 280

wu(kg/m)=

L(m)	Sobrecarga-S/C (Kg/m <sup>2</sup> )							
	100	150	200	250	300	350	400	500
2.50								
2.60								
2.70								
2.80								
2.90								
3.00								
3.10								
3.20				V101				
3.30								
3.40								
3.50								
3.60								
3.70								
3.80								
3.90								
4.00								
4.10								
4.20				V102				
4.30								
4.40								
4.50								
4.60								
4.70								
4.80				V103				
4.90								
5.00								
5.10								
5.20								
5.30								
5.40				V104				
5.50								
5.60								
5.70								
5.80				V105				
5.90								
6.00								
6.10								
6.20								
6.30								
6.40								
6.50								

Firth Industries Perú S.A.

Las viguetas V101, V102, V103, V104 y V105 son autoportantes hasta 1.80m  
Soleras (3' x 4") a 2.00m y puntales (3x4") a 1.50m

**TABLA 7: TABLA LUZ vs. SOBRECARGA (losa:25@50cm)**

**VIGUETAS PRETENSADAS**

**CONSIDERACIONES:**

Peso Propio (pp), Piso terminado (100 Kg/m<sup>2</sup>), S/C

Se considera una losa simplemente apoyada: wL<sup>2</sup>/8

ALTURA DE LOSA	25	cm
ESPACIAMIENTO A EJES	50	cm
COMPLEMENTO	LADRILLO DE ARCILLA	

a 0.5 m

pp(kg/m<sup>2</sup>)= 335

wu(kg/m)= 416

L(m)	Sobrecarga-S/C (Kg/m <sup>2</sup> )							
	100	150	200	250	300	350	400	500
2.50								
2.60								
2.70								
2.80								
2.90								
3.00								
3.10								
3.20								
3.30								
3.40				V101				
3.50								
3.60								
3.70								
3.80								
3.90								
4.00								
4.10								
4.20								
4.30								
4.40								
4.50								
4.60				V102				
4.70								
4.80								
4.90								
5.00								
5.10								
5.20				V103				
5.30								
5.40								
5.50								
5.60								
5.70				V104				
5.80								
5.90								
6.00								
6.10								
6.20								
6.30								
6.40				V105				
6.50								
6.60								
6.70								
6.80								
6.90								
7.00								
7.10								
7.20								
7.30								
7.40								
7.50								
7.60								
7.70								

Firth Industries Perú S.A.

Las viguetas V101, V102, V103, V104 y V105 son autoportantes hasta 1.80m  
 Soleras (3" x 4") a 1.80m y puntales (3x4") a 1.50m

**TABLA 8: TABLA LUZ vs. SOBRECARGA (losa:30@50cm)**

**VIGUETAS PRETENSADAS**

**CONSIDERACIONES:**

Peso Propio (pp), Piso terminado (100 Kg/m<sup>2</sup>), S/C

Se considera una losa simplemente apoyada: wL2/8

ALTURA DE LOSA	30	cm
ESPACIAMIENTO A EJES	50	cm
COMPLEMENTO	LADRILLO DE ARCILLA	

a 0.5 m

pp(kg/m<sup>2</sup>)= 400

wu(kg/m)= 465



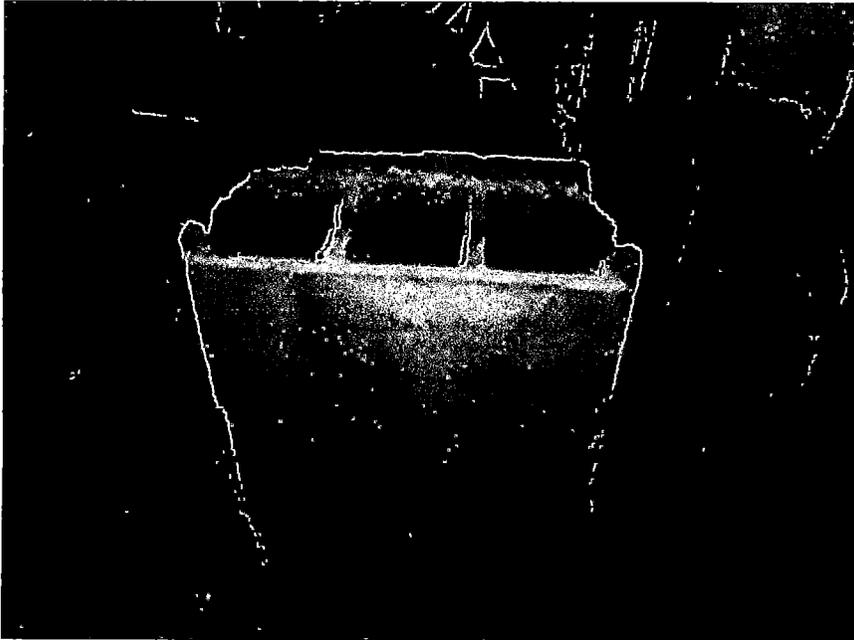
L(m)	Sobrecarga-S/C (Kg/m <sup>2</sup> )							
	100	150	200	250	300	350	400	500
2.50								
2.60								
2.70								
2.80								
2.90								
3.00								
3.10								
3.20								
3.30								
3.40								
3.50								
3.60				V101				
3.70								
3.80								
3.90								
4.00								
4.10								
4.20								
4.30								
4.40								
4.50								
4.60								
4.70								
4.80								
4.90				V102				
5.00								
5.10								
5.20								
5.30								
5.40								
5.50								
5.60				V103				
5.70								
5.80								
5.90								
6.00								
6.10								
6.20				V104				
6.30								
6.40								
6.50								
6.60								
6.70								
6.80								
6.90				V105				
7.00								
7.10								
7.20								
7.30								
7.40								
7.50								
7.60								
7.70								
7.80								
7.90								
8.00								
8.10								
8.20								
8.30								

Firth Industries Perú S.A.

Las viguetas V101, V102, V103, V104 y V105 son autoportantes hasta 1.80m  
Soleras (3" x 4") a 1.80m y puntales (3x4") a 1.50m

## ANEXO V: ENSAYO DE FLEXOTRACCION A ELEMENTOS ALIGERANTES

La forma en la que se realizó el ensayo se encuentra detallada en la Capitulo II,  
3.1.3

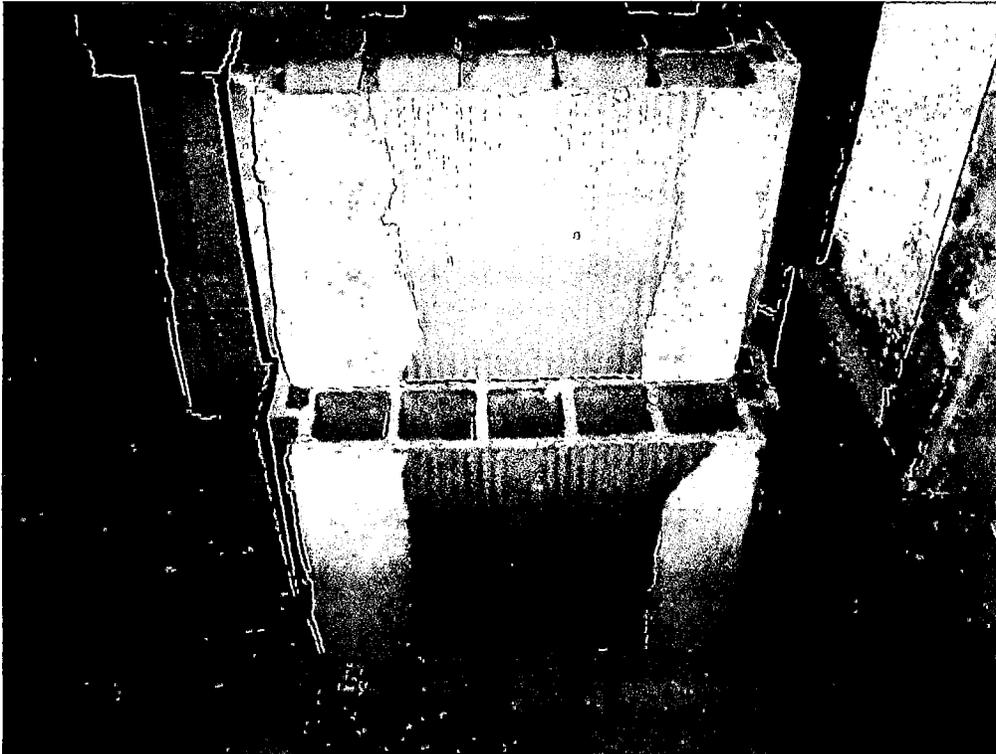


**Fot.82. Bovedilla de Mortero con 3 huecos – Sistema Firth**

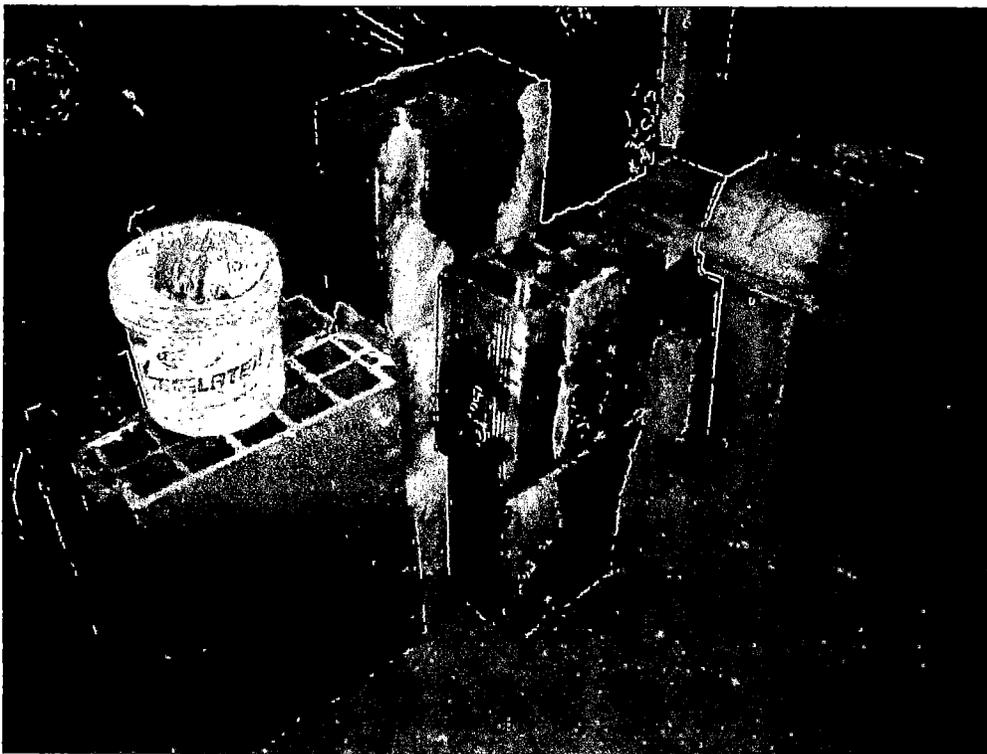


**Fot.83. Bovedilla de Concreto Celular – Sistema Todocemento**

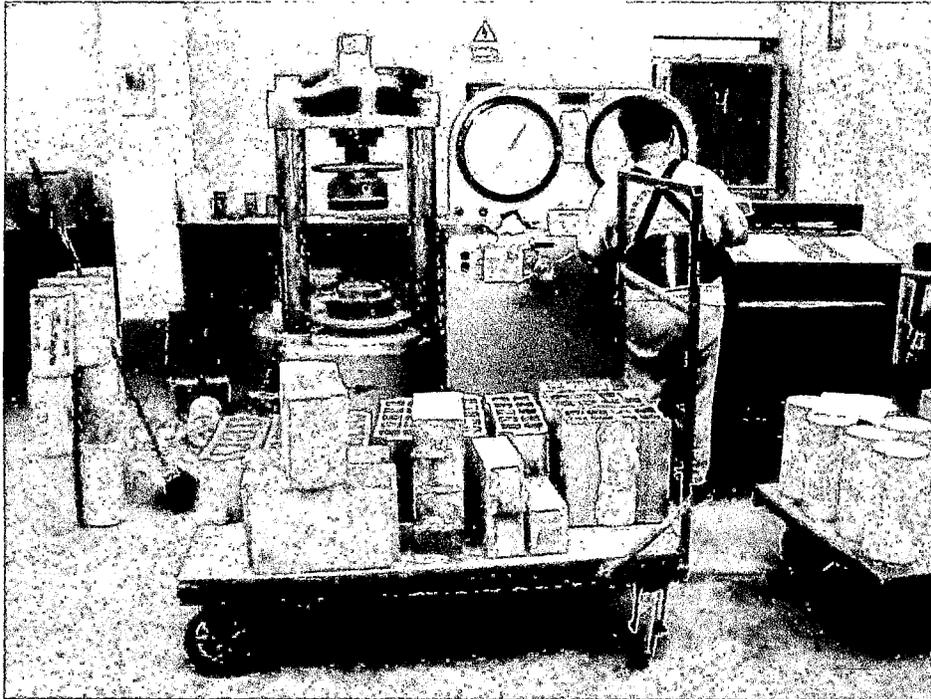
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOSAS ALIGERADAS: UTILIZANDO VIGUETAS  
PREFABRICADAS FIRTH, VIGUETAS ARMADAS TODOCEMENTO Y VIGUETAS VACIADAS EN OBRA



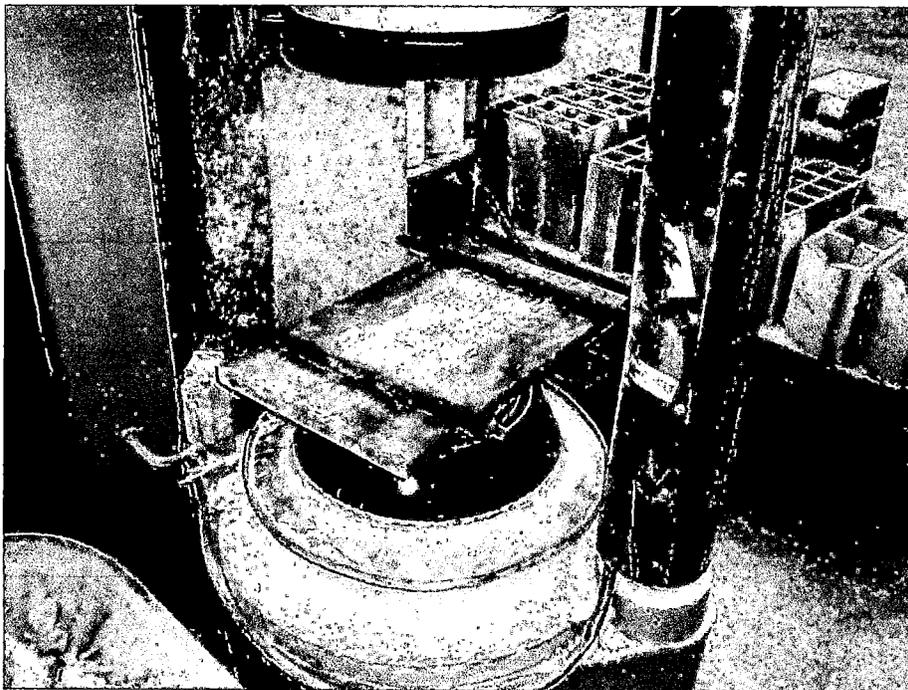
**Fot.84. Bovedilla de Arcilla – Sistema Todocemento**



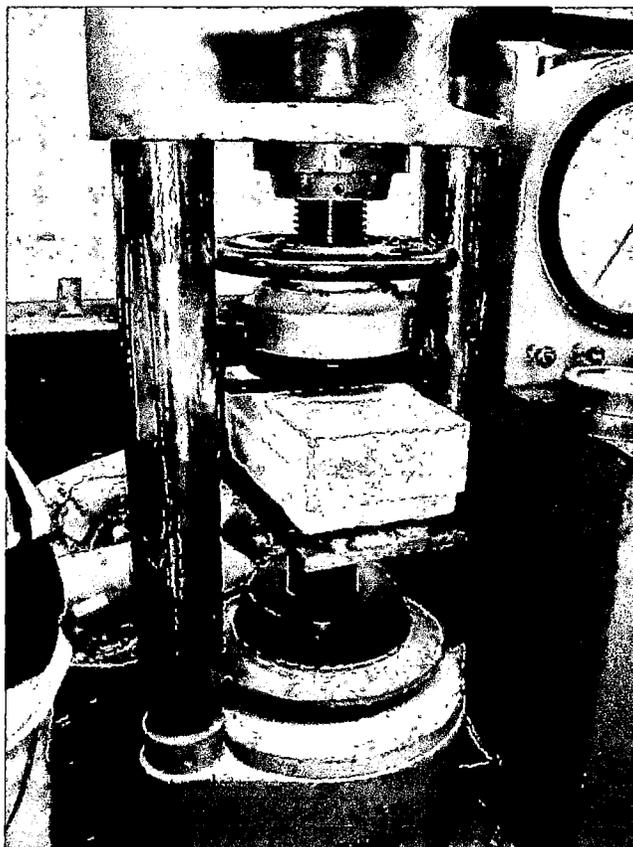
**Fot.85. Aligerantes lista para ser ensayados**



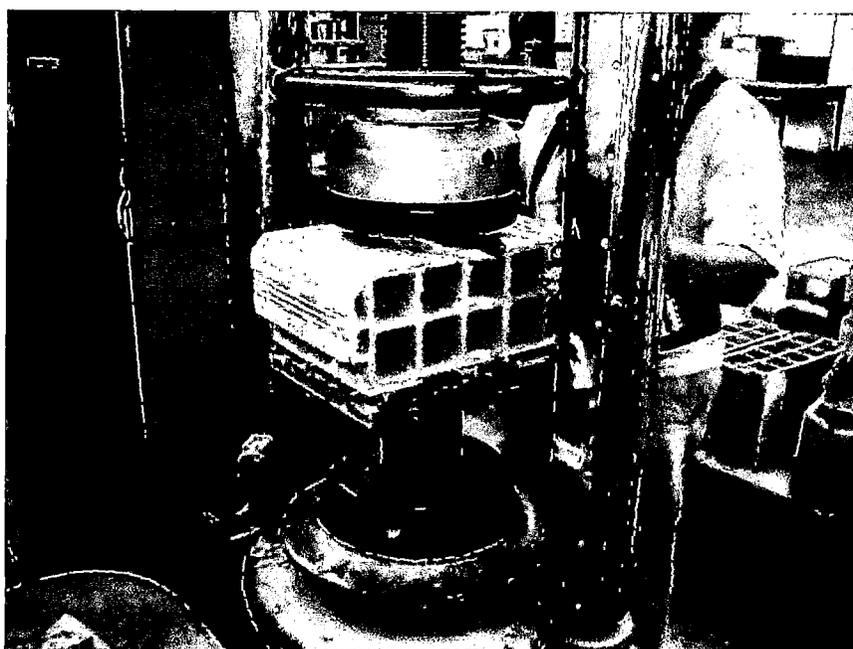
**Fot.86. Maquina de Ensayos LEM**



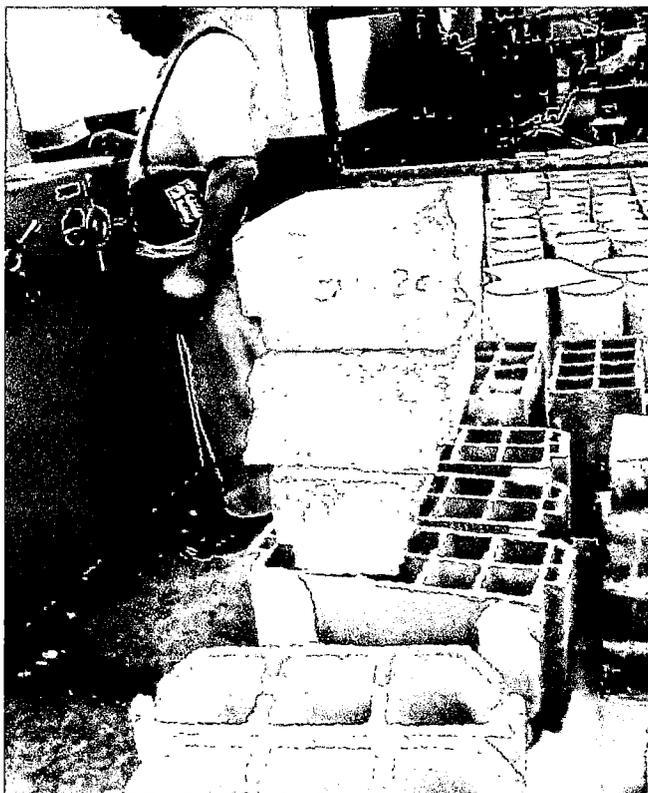
**Fot.87. El ensayo se realiza colocando varillas de acero a 2.5 cm del borde  
del aligerante**



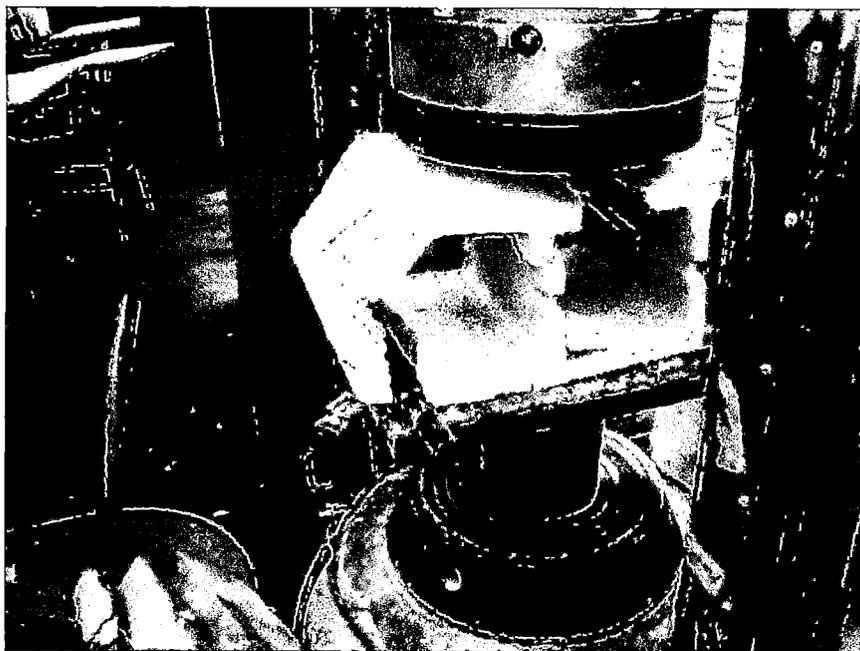
**Fot.88. Prueba de Flexotracción a la bovedilla de Concreto Celular - TC**



**Fot.89. Prueba flexotracción a la bovedilla de arcilla – TC**



**Fot.90. Ladrillo de Concreto Celular luego del ensayo de Flexotracción - TC**



**Fot.91. Ladrillo de Mortero (luego del ensayo de Flexotracción)**

### **Ensayo de Flexotracción a elementos aligerantes (ladrillo de techo)**

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOSAS ALIGERADAS: UTILIZANDO VIGUETAS PREFABRICADAS FIRTH, VIGUETAS ARMADAS TODOCEMENTO Y VIGUETAS VACIADAS EN OBRA



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO N° 1 ENSAYO DE MATERIALES

Ing. Manuel Gonzáles de La Cotera

## INFORME

DEL : LABORATORIO N° 1: ENSAYO DE MATERIALES  
 A : ANTONIO GUTIERREZ RAMIREZ (TESISTA)  
 ASUNTO : Ensayo de Resistencia a la Flexo - Tracción en ladrillos de techo  
 EXPEDIENTE N° : 09-234  
 RECIBO N° : 0123328  
 FECHA : 17/03/09

I) DE LAS MUESTRAS : Ladrillos de techo de arcilla cocida de 10 huecos paralelos a la cara de asiento.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

II) DEL ENSAYO : De acuerdo a la norma NTP 331.040

III) DE LOS RESULTADOS :

MUESTRA	Dimensiones ( cm )			Distancia entre apoyos " l " ( cm )	Carga Maxima Flexión " P " ( Kg )	Módulo de Ruptura ( Kg/cm <sup>2</sup> )
	Largo	Ancho (b)	Altura (d)			
1	36.0	25.0	14.8	31	200	1.7
2	36.0	25.0	15.0	31	190	1.6
3	36.0	25.2	14.8	31	250	2.1

NOTA : Módulo de ruptura =  $3PI / (2bd^2)$

Donde : P = Carga Máxima de Flexión ( Kg )

l = Distancia entre Apoyos ( cm )

b = Ancho ( cm )

d = Altura ( cm )

L.E.M.

HECHO POR : Ing. C. Villegas M.

TECNICO : Sr. D.A.Z.

V.H.J.



*Ordoñez*  
 Ing. Isabel Moromi Nakata  
 Jefe ( e ) del Laboratorio N° 1  
 Ensayo de Materiales



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO N° 1 ENSAYO DE MATERIALES  
Ing. Manuel Gonzáles de La Cotera

## INFORME

DEL : LABORATORIO N° 1: ENSAYO DE MATERIALES  
A : ANTONIO GUTIERREZ RAMIREZ (TESISTA)  
ASUNTO : Ensayo de Resistencia a la Flexo - Tracción en ladrillos de techo  
EXPEDIENTE N° : 09-234  
RECIBO N° : 0123328  
FECHA : 17/03/09

I) DE LAS MUESTRAS : Ladrillos de techo mortero de 3 huecos paralelos a la cara de asiento.  
Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

II) DEL ENSAYO : De acuerdo a la norma NTP 331.040

III) DE LOS RESULTADOS

MUESTRA	Dimensiones ( cm )			Distancia entre apoyos " I " ( cm )	Carga Maxima Flexión " P " ( Kg )	Módulo de Ruptura ( Kg/cm <sup>2</sup> )
	Largo	Ancho ( b )	Altura ( d )			
1	32.0	20.8	15.0	27	150	1.3
2	32.0	20.8	15.0	27	200	1.7
3	32.0	20.2	15.0	27	200	1.8

NOTA : Módulo de ruptura =  $\frac{3PI}{2bd^2}$

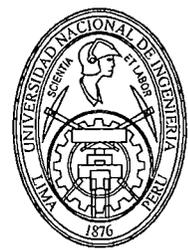
Donde : P = Carga Máxima de Flexión ( Kg )  
I = Distancia entre Apoyos ( cm )  
b = Ancho ( cm )  
d = Altura ( cm )

HECHO POR : Ing. C. Villegas M.  
TECNICO : Sr. D.A.Z.

V.H.I.



Ing. Isabel Moromi Nakata  
Jefe ( e ) del Laboratorio N° 1  
Ensayo de Materiales



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO N° 1 ENSAYO DE MATERIALES

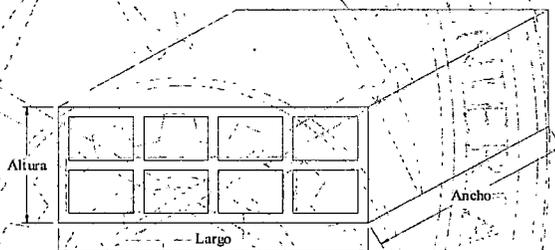
Ing. Manuel Gonzáles de La Cotera

## INFORME

DEL : LABORATORIO N° 1: ENSAYO DE MATERIALES  
 A : ANTONIO GUTIERREZ RAMÍREZ (TESISTA)  
 ASUNTO : Ensayo de Resistencia a la Flexo - Tracción en ladrillos de techo  
 EXPEDIENTE N° : 09-234  
 RECIBO N° : 0123328  
 FECHA : 17/03/09

I) DE LAS MUESTRAS : Ladrillos de techo de arcilla cocida.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.



II) DEL ENSAYO : De acuerdo a la norma NTP 331.040

III) DE LOS RESULTADOS :

MUESTRA	Dimensiones ( cm )			Distancia entre apoyos " l " ( cm )	Carga Maxima Flexión " P " ( Kg )	Módulo de Ruptura ( Kg/cm <sup>2</sup> )
	Largo	Ancho (b)	Altura (d)			
1	30.2	29.5	14.8	25	300	1.8
2	30.2	29.4	15.0	25	350	2.0
3	30.2	29.5	15.0	25	250	1.4

NOTA : Módulo de ruptura =  $3Pl / (2bd^2)$

Donde : P = Carga Máxima de Flexión ( Kg )  
 l = Distancia entre Apoyos ( cm )  
 b = Ancho ( cm )  
 d = Altura ( cm )

HECHO POR : Ing. C. Villegas M.  
 TECNICO : Sr. D.A.Z.



Ing. Isabel Moromi Nakata  
Jefe ( e ) del Laboratorio N° 1

V.H.J.

## INFORME

DEL : LABORATORIO N° 1: ENSAYO DE MATERIALES  
A : **ANTONIO GUTIERREZ RAMIREZ (TESISTA)**  
ASUNTO : Ensayo de Resistencia a la Flexo - Tracción en ladrillos de techo  
EXPEDIENTE N° : 09-234  
RECIBO N° : 0123328  
FECHA : 17/03/09

---

I) DE LAS MUESTRAS : Ladrillos de techo mortero con tecnopor.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante.

II) DEL ENSAYO : De acuerdo a la norma **NTP 331.040**

III) DE LOS RESULTADOS :

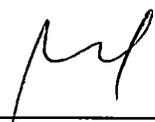
MUESTRA	Dimensiones ( cm )			Distancia entre apoyos " l " ( cm )	Carga Maxima Flexión " P " ( Kg )	Módulo de Ruptura ( Kg/cm <sup>2</sup> )
	Largo	Ancho (b)	Altura (d)			
1	36.0	24.0	15.0	31	500	4.3
2	36.0	24.0	15.2	31	350	2.9
3	36.0	23.8	15.0	31	450	3.9

NOTA : Módulo de ruptura =  $3PI / (2bd^2)$

Donde : P = Carga Máxima de Flexión ( Kg )  
l = Distancia entre Apoyos ( cm )  
b = Ancho ( cm )  
d = Altura ( cm )

HECHO POR : Ing. C. Villegas M.  
TECNICO : Sr. D.A.Z.

V.H.J.

  
Ing. Isabel Moromi Nakata  
Jefe ( e ) del Laboratorio N° 1  
Ensayo de Materiales

**o bovedilla) de una Losa Aligerada**

Resistencia mínima x ladrillo: 2.00 kg/cm<sup>2</sup>  
(según NTP 331.040)

<b>SISTEMAS</b>	<b>Convencional (Arcilla)</b>	Distancia entre apoyos (l)	25 cm
		Carga Máxima (P)	300.0 kg
		Peso del Aligerante (kg)	70.8 kg/m <sup>2</sup>
		Módulo de Ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )	1.73 kg/cm <sup>2</sup>
	<b>Firth (Mortero)</b>	Distancia entre apoyos (l)	27 cm
		Carga Máxima (P)	183.3 kg
		Peso del Aligerante (kg)	110.0 kg/m <sup>2</sup>
		Módulo de Ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )	1.60 kg/cm <sup>2</sup>
	<b>Todocemento (Arcilla)</b>	Distancia entre apoyos (l)	31 cm
		Carga Máxima (P)	213.3 kg
		Peso del Aligerante (kg)	96.0 kg/m <sup>2</sup>
		Módulo de Ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )	1.80 kg/cm <sup>2</sup>
	<b>Todocemento (Concreto Celular)</b>	Distancia entre apoyos (l)	31 cm
		Carga Máxima (P)	433.3 kg
		Peso del Aligerante (kg/m <sup>2</sup> )	52.0 kg/m <sup>2</sup>
		Módulo de Ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )	3.70 kg/cm <sup>2</sup>

Nota: Los datos colocados son el promedio de los 3 ensayos realizados a cada tipo de aligerante.

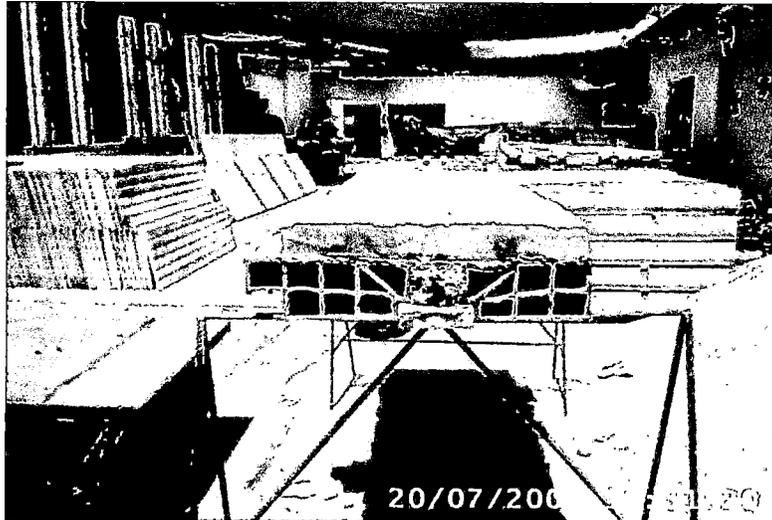
Comentario:

De los resultados obtenidos de laboratorio se puede decir que, de los aligerantes ensayados, solamente el ladrillo de Concreto Celular cumple con los requisitos que manda la NTP 331.040 y además es el aligerante con menor peso, pero mayor costo.

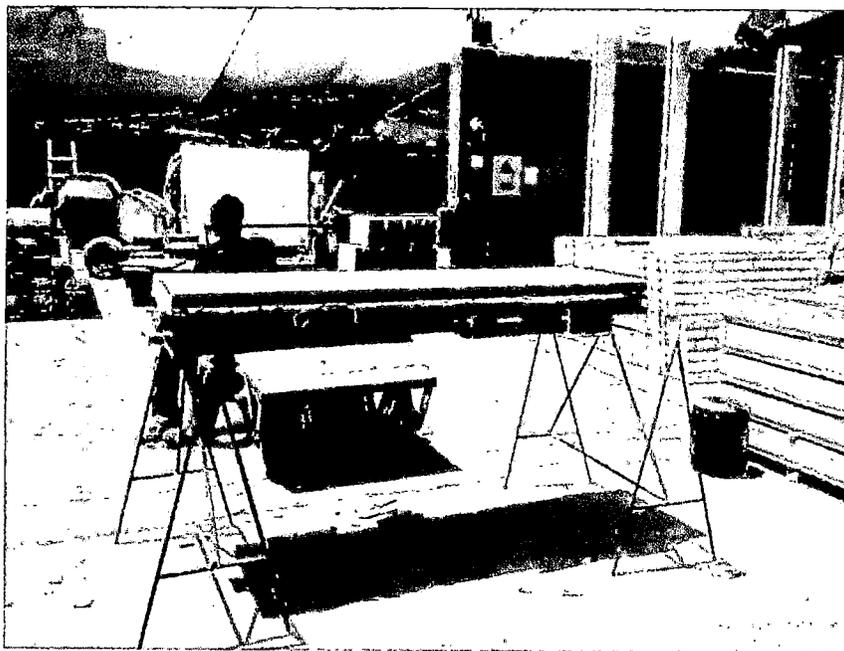
## ANEXO VI: ENSAYO DE CARGA

Este ensayo se realizó de la siguiente manera:

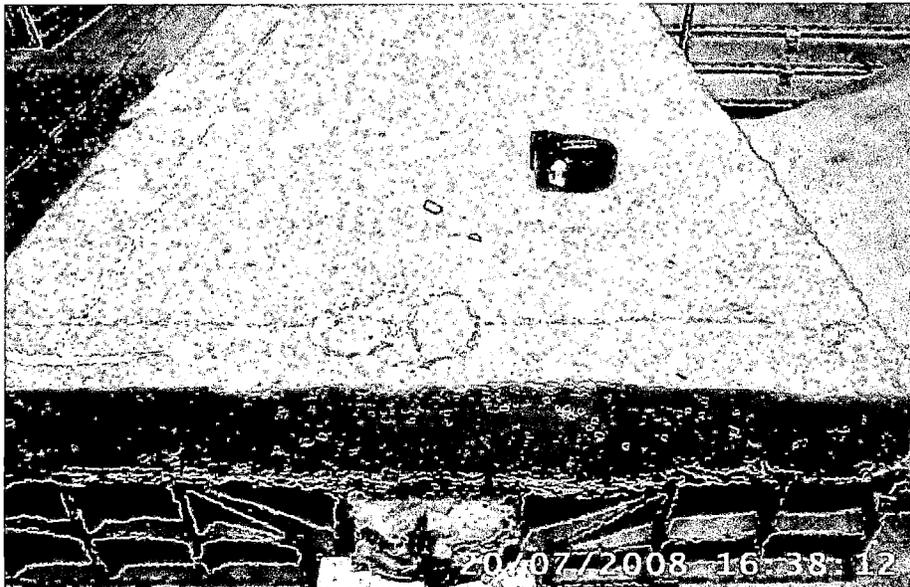
- a. Una vez que se tiene a losa lista, se espera 7 días para aplicarle las cargas. En la figura se puede apreciar la losa lista para aplicarse las cargas, esta losa se encuentra simplemente apoyada y tiene una luz de 1.80 m.



Fot.92. Vista de sección de las losas prefabricadas

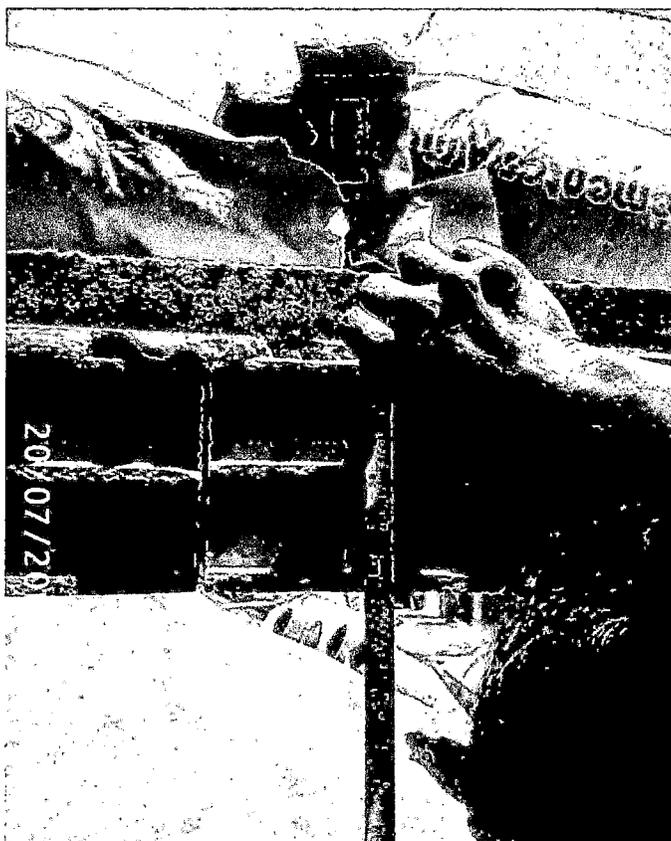


Fot.93. Vista lateral de las losas prefabricadas



Fot.94. Losa 20@60cm

- b. Se realiza una medición inicial de la altura en el centro de la losa (ho), esta medición se toma sin haberle aplicado ninguna carga.



Fot.95. Medición de la deformación de la losa

**La losa se carga con bolsa con arena de 50 kg cada bolsa. 2 bolsa (100 kg) en la foto superior y 4 bolsa (200 kg) en la foto inferior, y luego de cada carga se realiza la medición**

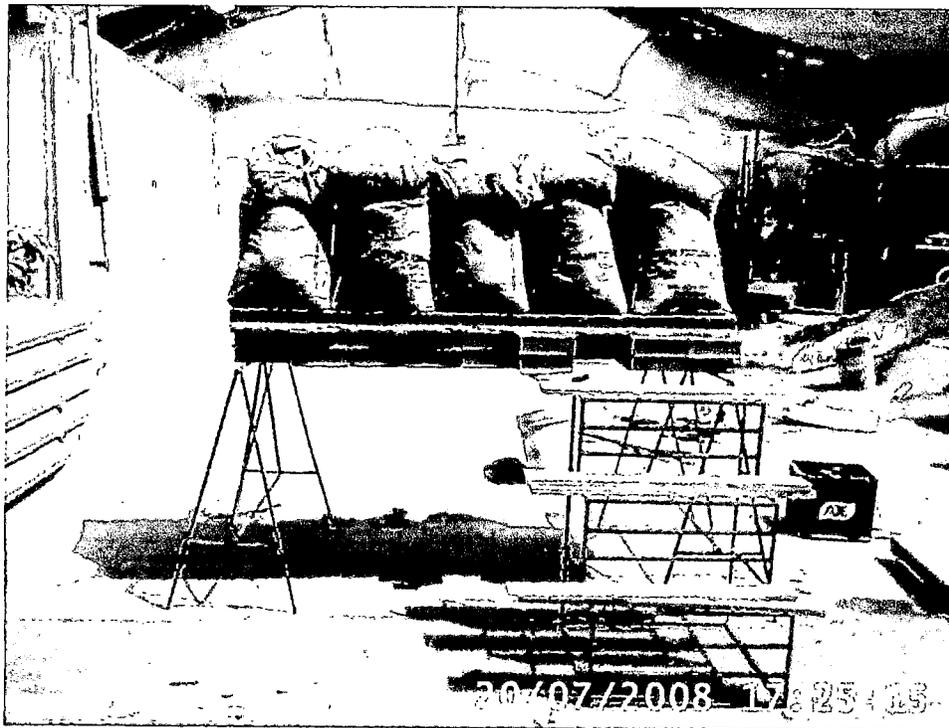


**Fot.96, 97. Aplicando la carga sobre la losa**





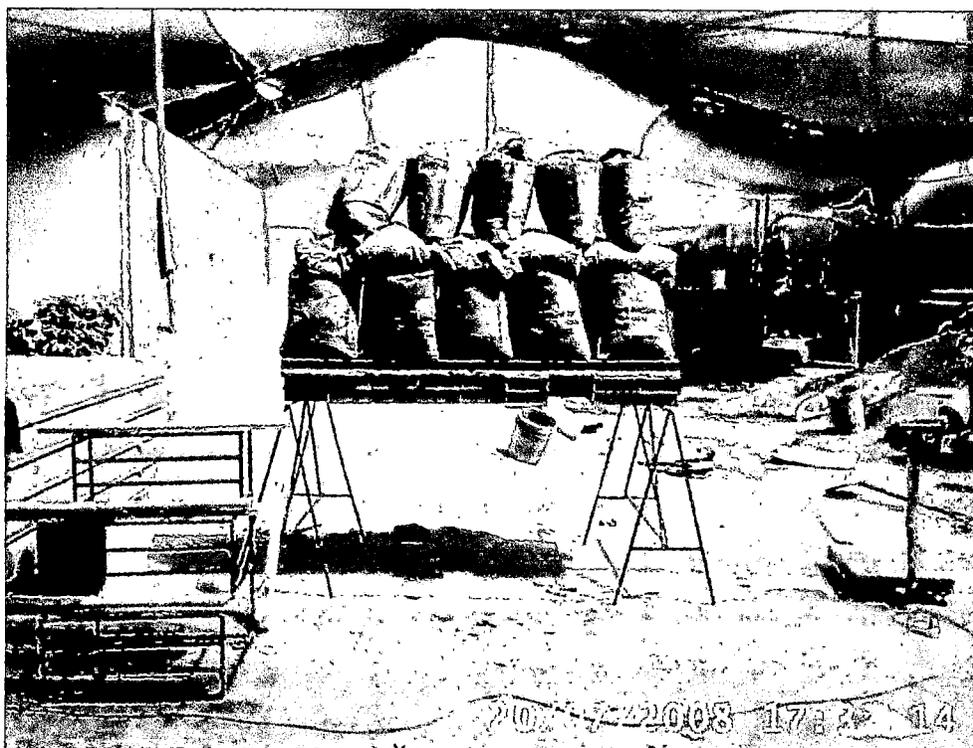
**Fot.98. Se sigue aumentando la carga. 500 kg**



**Fot.99. 750 kg. de carga**



**Fot.100. Finalmente se cargaron a la losa 1000 kg ( 20 bolsas)**



**Fot.101. Losa cargada**

## ENSAYO DE CARGA PARA LOSAS ALIGERADAS

Datos:

Longitud de apoyo:	1.8 m	
Ancho Losa:	0.6 m	
Área:	1.08 m <sup>2</sup>	
S/C estándar:	250 kg/m <sup>2</sup>	
Deformación máx.:	4 mm	(según Norma E 060) (considerando la S/C estándar)

		Firth		Todocemento	
		Carga Aplicada	Deformación	Carga Aplicada	Deformación
Tiempo después del vaciado de la losa	7 días	Peso Propio	0 mm	Peso Propio	0 mm
		100 kg	0 mm	100 kg	0 mm
		200 kg	1 mm	200 kg	1 mm
		400 kg	2 mm	400 kg	2 mm
		500 kg	2 mm	500 kg	2 mm
		750 kg	3 mm	750 kg	4 mm
		1000 kg	4 mm	1000 kg	5 mm
	14 días	Peso Propio	0 mm	Peso Propio	0 mm
		100 kg	0 mm	100 kg	0 mm
		200 kg	1 mm	200 kg	1 mm
		400 kg	2 mm	400 kg	2 mm
		500 kg	2 mm	500 kg	2 mm
		750 kg	3 mm	750 kg	3 mm
		1000 kg	4 mm	1000 kg	4 mm
	28 días	Peso Propio	0 mm	Peso Propio	0 mm
		100 kg	0 mm	100 kg	0 mm
		200 kg	1 mm	200 kg	1 mm
		400 kg	2 mm	400 kg	2 mm
		500 kg	2 mm	500 kg	2 mm
		750 kg	3 mm	750 kg	3 mm
		1000 kg	3 mm	1000 kg	4 mm

Nota: \* El ensayo se realizó con las losas simplemente apoyadas  
\* La medición de las deflexiones fue tomada en el centro de la losa

Comentario:

Ambas losas para una S/C =250 kg/m<sup>2</sup>, han sufrido una deformación menor a la deformación máxima considerada por la Norma E 060, cabe resaltar que la losa de Firth sufrió menor deformación para una misma carga aplicada.