

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

## “PROPUESTA Y EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DE CONSTRUCCION INDUSTRIALIZADA MODULAR”

Tesis para optar el título de **Ingeniero Civil**, que presenta el bachiller  
**MARCO ANTONIO CHANG BREÑA**

ASESOR: ING. IVAN BRAGAGNINI

Lima, Diciembre del 2014

## RESUMEN

La industria de la construcción en el Perú se ha convertido a partir del siglo XX en uno de los sectores más dinámicos de su economía, cuya tasa de crecimiento crece anualmente a tasas superiores al 10%, la razón de este gran crecimiento es el gran número de proyectos habitacionales destinados principalmente a la clase media y baja que se está incrementando de manera muy importante y a la actuación de programas de vivienda populares como Mi Vivienda, Techo Propio, entre otros. Ante este panorama surge la idea de la aplicación de sistemas constructivos innovadores usados por empresas constructoras líderes en el mercado de construcción peruano para reemplazar a los métodos constructivos tradicionales con el fin de disminuir costos, aumentar la productividad y la rapidez en la construcción de edificaciones; sin embargo, aún existen barreras que impiden su uso en la mayoría de zonas del Perú, una de las más relevantes es la elevada inversión inicial para emplear este tipo de sistemas constructivos, lo que implica que el cliente prefiera una construcción convencional no controlada, la cual genere desperdicios y costos innecesarios, por lo tanto esta tesis tiene como propósito fundamental demostrar la factibilidad del uso a mayor escala de sistemas altamente industrializados constructivos innovadores, enfocándonos en la propuesta del empleo de sistemas constructivos de módulos tridimensionales como viviendas estables, de esta manera se busca disminuir la informalidad en la construcción y que la mayoría de empresas constructoras peruanas consideren el uso de sistemas constructivos innovadores como su principal opción.

En el capítulo 1, se presenta una reseña histórica de la industria de la construcción en Perú, además de estadísticas, características actuales y barreras que evitan la industrialización de la construcción en este país; en el capítulo 2 se reseña la historia de la construcción industrializada a nivel internacional y además se detalla sobre los sistemas constructivos industrializados actuales más usados en Perú; en el capítulo 3 se describe el sistema ampliamente industrializado de módulos tridimensionales, los materiales más usados en este tipo de sistema y el proceso constructivo desde su fabricación en industria hasta su colocación y ensamblaje en obra; en el capítulo 4 se desarrolla las etapas y requisitos que forman parte de un proyecto de industrialización de un sistema constructivo modular, en el capítulo 5 se describe tres obras de construcción de un solo nivel en el Perú y se realiza un análisis comparativo comercial, económico y técnico entre los sistemas constructivos usados en cada uno de estos proyectos; en el capítulo 6 se muestran cuadros comparativos sobre los resultados del capítulo anterior; finalmente en el capítulo 7 se presentan las conclusiones finales de la tesis con posibles

oportunidades futuras y recomendaciones finales sobre la aplicación de sistemas constructivos innovadores en el mercado peruano.





## DEDICATORIA

A Dios, a mis padres y hermana que siempre me apoyan y a mi abuela Manuela que desde el cielo me guía.

## INDICE

Resumen	
Carta de Aprobación	
Dedicatoria	
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	2
<b>CAPITULO 1</b>	
ESTUDIO PRELIMINAR DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION EN PERÚ	
1.1 Reseña histórica de la industria de la construcción en Perú	3
1.2 Características y estadísticas actuales de la industria de la construcción en Perú	5
1.3 Barreras que evitan la industrialización de la construcción en el Perú	7
<b>CAPÍTULO 2</b>	
LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA	
2.1 Introducción	8
2.2 Reseña histórica del desarrollo internacional de la construcción industrializada	10
2.3 Sistemas constructivos industrializados	11
2.3.1 Sistemas constructivos parcialmente industrializados in situ	14
2.3.1.1 Sistema constructivo ligero con acero galvanizado “Steel Framing”	15
2.3.1.2 Sistema constructivo horizontal con concreto “Tilt up”	17
2.3.1.3 Sistemas constructivos de encofrados especiales	18
2.3.1.3.1 Los encofrados tipo túnel	18
2.3.1.3.2 Los encofrados deslizantes (slip formings)	19
2.3.1.3.3 Los encofrados trepantes (jump formings)	21
2.3.2 Sistemas constructivos parcialmente industrializados en fábrica	23
2.3.2.1 Prefabricación de elementos de acero	23
2.3.2.1.1 Los tralichos	24
2.3.2.1.2 Las columnetas y vigas electrosoldadas	24
2.3.2.1.3 El acero dimensionado	25
2.3.2.1.4 Mallas electrosoldadas	26
2.3.2.1.5 Placas colaborantes	27
2.3.2.2 Prefabricación de elementos de concreto	28

2.3.2.2.1	Las placas P7	28
2.3.2.2.2	Las placas P10, P12 y P14	29
2.3.2.2.3	Los ladrillos Kingblock	30
2.3.2.2.3	Los ladrillos King concreto	30
2.3.2.2.4	Viguetas prefabricadas Alitec	31
2.3.2.2.5	Viguetas Pretensadas Firth	32
2.3.2.2.6	Prelosas	33
2.3.2.2.7	Placas alveolares de concreto	34
2.3.2.2.8	Pilotes prefabricados de concreto	35
2.3.2.2.9	Escaleras prefabricadas de concreto	36

### **CAPITULO 3**

#### **SISTEMA CONSTRUCTIVO AMPLIAMENTE INDUSTRIALIZADO MODULAR TRIDIMENSIONAL**

3.1	Descripción del sistema constructivo de módulos tridimensionales	37
3.2	Construcción industrializada de módulos de hormigón	39
3.3	Construcción industrializada de módulos de acero galvanizado	42
3.4	Construcción industrializada de módulos mixtos	43
3.5	Contenedores	44

### **CAPITULO 4**

#### **PROYECTO DE INDUSTRIALIZACIÓN DE UN SISTEMA CONSTRUCTIVO MODULAR**

4.1	Diseño modular	45
4.2	Adaptación y flexibilidad del diseño al sistema constructivo	47
4.3	Diseño de las piezas y/o diseño de los moldes	47
4.4	Memoria de nudos y detalles constructivos	48
4.5	Ordenes diarias de fabricación, transporte, montaje y acopio	49

### **CAPITULO 5**

#### **MARCO DE APLICACIÓN Y COMPARACIÓN**

5.1	Descripción de tres obras de construcción de un solo nivel	49
5.1.1	Construcción de dos aulas en la I.E 504 en Cañete, Lima	50

5.1.2	Construcción de dos aulas prefabricadas en el colegio Alfonso Ugarte en Lima	50
5.1.3	Proyecto de módulos tridimensionales para talleres de mantenimiento	51
5.2	Métodos de evaluación y comparación	52
5.2.1	Evaluación y comparación comercial	53
5.2.2	Evaluación y análisis comparativo económico	55
5.2.3	Evaluación y comparación técnica	61
5.2.3.1	Análisis comparativo ambiental	61
5.2.3.2	Análisis comparativo en base a la seguridad laboral	67

## CAPITULO 6

### RESULTADOS

6.1	Aspectos comerciales	72
6.2	Aspectos económicos	73
6.3	Aspectos ambientales	75
6.4	Aspectos de seguridad laboral	77

## CAPITULO 7

### CONCLUSIONES

7.1	Conclusiones finales	78
7.2	Oportunidades futuras	80
7.3	Recomendaciones finales	81

## BIBLIOGRAFÍA

81

## ANEXOS

I	Presupuesto de la obra de construcción de dos aulas en la I.E 504 en Cañete, Lima
II	Fotos: Construcción de dos aulas y servicios higiénicos, en la I.E 504 en Cañete, Lima

## INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción en el Perú ocupa actualmente un lugar muy importante en la contribución del crecimiento de su economía, en el año 2013 registró un crecimiento de 8.56% con respecto al año 2012, y en setiembre del 2104 creció en 0.96% respecto a su similar periodo del año 2013, algunas de las razones de esta expansión son la estabilización económica y política del Perú, la enorme necesidad de vivienda e infraestructura, el crecimiento del crédito hipotecario en el subsector vivienda, las promociones dirigidas a las clases medias, la inversión realizada por empresas mineras y el peso importante de las concesiones en los subsectores de interés público. La principal demanda en el sector construcción proviene del segmento privado (68%) en edificación de viviendas y centros comerciales, y del sector público (32%) en el marco de un renovado dinamismo de las concesiones para reducir la brecha de la infraestructura.

Ante este panorama tan alentador, las principales empresas constructoras líderes nacionales y extranjeras han optado por el uso de sistemas constructivos alternativos a los tradicionales para ser aplicados a grandes obras de infraestructura, con el objetivo de disminuir plazos de obra, reducir costos, aumentar la calidad, proteger el medio ambiente, etc., sin embargo aún existen barreras que obstaculizan el empleo de estos sistemas constructivos innovadores en la mayoría de zonas del Perú, por ejemplo la elevada inversión inicial para emplear este tipo de sistemas constructivos, o por la falta de conocimiento y capacitación de los obreros en el manejo de estos sistemas innovadores, lo cual origina un gran desperdicio de recursos, tanto humanos como de materiales de construcción.

Actualmente los sistemas constructivos industrializados más utilizados por las empresas constructoras líderes en Perú, son los sistemas de losas prefabricadas, losas alveolares, viguetas prefabricadas, unidades de concreto para albañilería armada, sistemas de encofrado autotrepante y deslizante, encofrado de mesas voladoras, etc.

Uno de los sistemas altamente industrializados que aún no se aplica en el Perú y en el cual nos enfocaremos en esta tesis, es el de módulos tridimensionales, los cuales hasta ahora solo han sido empleados como vivienda provisional en minas y proyectos de infraestructura en zonas inhóspitas, sin embargo en otros países más desarrollados tecnológicamente son usados como vivienda

permanente, ya que son apilados y ensamblados para constituir edificios de gran altura como conjuntos residenciales, etc.

## OBJETIVOS

### Objetivo Principal

- El objetivo principal de esta tesis es proponer y evaluar la difusión de métodos constructivos industrializados innovadores que aumenten la eficiencia y reduzcan costos en obras de edificación, de todas las alternativas existentes nos enfocaremos en un sistema ampliamente industrializado de módulos tridimensionales, el cual aún no se ha utilizado en el Perú como un sistema constructivo a mayor escala, por lo que evaluaremos mediante una comparación económica y técnica, la viabilidad de este sistema constructivo en el mercado de sector construcción peruano, además contribuiremos en la elección por parte de una empresa constructora en el sistema constructivo más conveniente para un proyecto en base a aspectos comerciales, ambientales , estructurales y de seguridad .

### Objetivos Secundarios

- Realizar una síntesis de la situación actual de la construcción industrializada en el Perú.
- Demostrar la factibilidad comercial, económica, ambiental y de seguridad de las construcciones modulares industrializadas.
- Brindar un listado de los métodos constructivos actuales más usados por las empresas constructoras peruanas, además de aportar con la eliminación de la informalidad en la construcción y el déficit habitacional en nuestro país.

## CAPITULO 1

### ESTUDIO PRELIMINAR DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION EN PERÚ

#### 1.1 Reseña histórica de la industria de la construcción en Perú

El Perú es un país con una gran diversidad geográfica, social y cultural, cerca del 10% de su superficie es desértica, situado a lo largo de sus 3000 km. de costa, el otro 40% del territorio está ubicado en la Cordillera de los Andes y el 60 % restante está conformado por una selva tropical.

Antiguamente la construcción en el Perú era sostenible, las primeras técnicas constructivas acontecieron en la época pre-incaica, donde los constructores de las culturas más predominantes usaron materiales como barro y piedra para construir templos ceremoniales, ciudadelas, fortalezas, etc. , cabe destacar a la cultura Chavín ( 1000- 500 a.c) con su mayor edificación llamada el templo de Chavín de Huantar, la cultura Chimú con la ciudadela de Chan Chan, y la cultura Tiahuanaco con el templo de kalasasaya, seguidamente se desarrolló la época incaica en la que se empleó la piedra en la construcción de muros de contención, andenes, caminos y canales ( aún no se empleaba el ladrillo, porque no se quemaba arcilla para producirlo); se usaron también elementos naturales, como ichu, madera y cañas, con esta última tejieron la quincha (pared hecha de varillas delgadas y recubierta de barro) en la costa; con el barro fabricaron adobes moldeados para construir los muros de adobe en la sierra; y con la madera y el bambú construyeron techos de palma en la zona selvática, las obras más relevantes fueron Sacsayhuaman, Ollantaytambo, Machu Picchu, etc.

Tras la época incaica, continuó la época de la conquista española, que trajo consigo nuevas ideas tecnológicas y estilos arquitectónicos (góticos, barrocos y neoclásicos) importados de Europa, así como la tendencia de las órdenes religiosas responsables de la edificación de iglesias, monasterios y hospitales. Los materiales de construcción predominantes en esta época fueron el adobe, la piedra (para cimientos y muros), el mortero de arena y cal, el ladrillo, el yeso y la madera (para puertas ventanas, balcones y techos).

Hasta comienzos del siglo XIX se usó el adobe como material principal para los muros anchos del primer piso y a veces para los altos, dependiendo de la

importancia de la estructura (actualmente aún se usa este material en las zonas más pobres del Perú), sin embargo no hubo referencia alguna de la roca puzolánica (base para el cemento portland) hasta el segundo tercio del siglo XIX.

Luego de finalizar la época colonial, seguiría la etapa republicana, con la independencia del Perú, a pesar de esto aún la innovación tecnológica era escasa, (la máquina y la industria eran desconocidas), hasta que en 1852 durante el gobierno del Presidente Echenique llegarían al país los primeros ingenieros civiles europeos de nombres Malinowski, Chevalier y Farraguet, quienes fundaron “ La comisión central de Ingenieros Civiles” que sería después nombrada “ Cuerpo de Ingenieros y Arquitectos del Estado” dicha entidad ordenó las actividades profesionales en tres rubros: vías de comunicación e irrigaciones, explotación minera y geografía.

Entre los miembros de esta comisión destacaron los ingenieros Federico Blume, Eduardo de Habich y Theodore Elmore, a partir de estos años se empezó a realizar grandes obras de infraestructura en nuestro país como la construcción de puentes, muelles en la bahía del Callao (con cemento Portland y cal hidráulica), la construcción de la primera central hidroeléctrica en Ancash (1884), etc.

A partir del siglo XX con la llegada del concreto armado al Perú (1920) se inició la construcción de edificios altos en Lima, fue así que en 1922 se inauguró el primer edificio en Lima de 6 pisos llamado la Casa Wiese, luego en 1970 este edificio fue sobrepasado por la Torre del Centro cívico de 102 metros de altura con 34 pisos destinada a agencias y a oficinas del estado.

En 1950, el Perú sufre un rápido proceso de urbanización (alrededor del 30% del total de la población peruana fue considerada urbana en ese año) por las continuas migraciones del interior del país hacia la capital Lima, generadas por las condiciones de aislamiento y atraso existentes en las provincias, la deficiente política de la reforma agraria, la aparición del terrorismo, el crecimiento poblacional y la falta de trabajo; en tal contexto nace la informalidad en la construcción con los llamados asentamientos humanos (barriadas y pueblos jóvenes) en el norte, sur y este de la ciudad de Lima, cuyas viviendas fueron construidas artesanalmente con materiales como ladrillos de arcilla y concreto armado.

El Perú tuvo una economía cerrada al mundo hasta 1990, donde el principal inversionista de infraestructura, capacidad productiva y vivienda era el Estado, el cambio y proceso de adaptación tomó mucho tiempo, y no fue sino hasta el año

2003 que el Perú logró estar bien posicionado mundialmente, y se inició un crecimiento sostenido de la economía peruana, y en especial de la industria de la construcción. Según el INEI, en apenas 8 años la industria de la construcción peruana ha duplicado su producción y según CONAFOVICER ha cuadruplicado el empleo formal. Actualmente la industria de la construcción crece sosteniblemente debido al aumento de los ingresos económicos de los hogares y las mayores inversiones públicas y privadas para este sector, además de la mejora de las condiciones de financiamiento para la adquisición de viviendas públicas.

## 1.2 Características y estadísticas actuales de la industria de la construcción en Perú

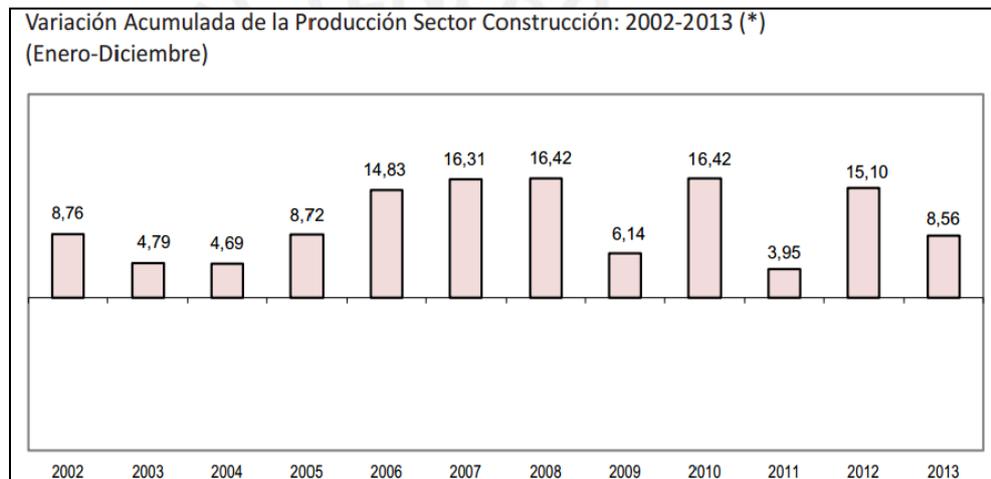
Hoy en día, el sector de la construcción en Perú es una de las actividades económicas más importantes, ya que a lo largo de los años ha sido una unidad de medición del bienestar económico nacional, por su capacidad de generar empleo intensivo en mano de obra, ligado al desempeño de diversas industrias, a ello se debe su relevancia en la evolución de otros sectores y de las principales variables macroeconómicas.

La principal diferencia de este sector con otras actividades es la dimensión y el costo del producto, por esta especial diferencia con otras industrias la actividad de la construcción involucra ingenieros y arquitectos que hacen el diseño, fabricantes y distribuidores de los materiales y equipos pesados, personal técnico que dirige el trabajo de campo, personal técnico que realiza el trabajo, supervisores que revisan los planos y hacen cumplir los reglamentos en obra, y muchos más, por lo tanto, en la actualidad la industria de la construcción se debería entender no sólo como la actividad de los constructores, sino también de los profesionales proyectistas hasta los productores de insumos para la construcción, es decir, como generadora de miles de puestos de trabajo.

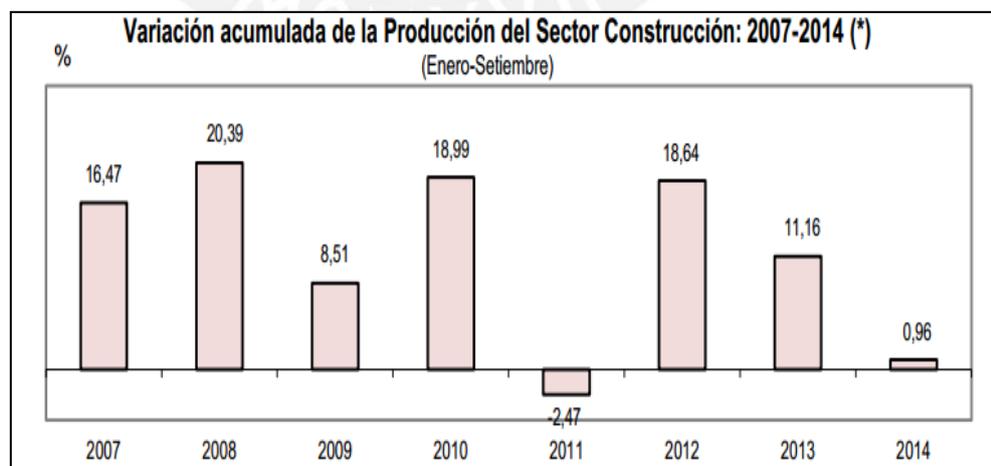
El crecimiento actual de este sector en el Perú, se ve impulsado por los programas gubernamentales de vivienda, la reactivación de la autoconstrucción motivada por mayores facilidades de financiación, un entorno de tipos de interés competitivos y la mejora en las expectativas económicas.

En los últimos ocho años la industria de la construcción en nuestro país, ha tenido un crecimiento promedio de 12% anual, siendo los proyectos inmobiliarios y el impulso de las asociaciones públicas y privadas, los motores de la recuperación a nivel nacional.

En el último informe del Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI, se muestra que en el periodo de enero a setiembre del 2014 el sector de la construcción creció en 0.96% respecto a su similar periodo del año 2013, reflejado en el aumento del consumo interno de cemento en 2.38%, en cambio, la inversión en el avance físico de obras cayó en 3.53%. El aumento del consumo interno de cemento se sustentó en la mayor inversión en obras en las empresas mineras como el Proyecto Mineros Las Bambas en Apurímac; obras en el Molino 8 encargada de la molienda de cemento del centro poblado de Condorcocha en Junín y la minera Iscaycruz en Lima; así como también obras de edificios de viviendas, Centro Empresarial Euro, Edificio Moon-ICI, Condomio Panoramic, Lima Central Tower-Proyecto Derby, etc.



**Imagen 1.1** Variación acumulada porcentual del sector construcción desde Enero hasta Diciembre del 2002 al 2013. (Fuente: INEI)



**Imagen 1.2** Variación acumulada porcentual del sector construcción desde Enero hasta Setiembre del 2007 al 2014. (Fuente: INEI)

### 1.3 Barreras que evitan la industrialización de la construcción en el Perú

En un proyecto de construcción, existe una gran cantidad de barreras que impiden la aplicación de nuevas tecnologías para la optimización de procesos constructivos, por lo que se nombrará sólo a las más influyentes en el sector local según las encuestas realizadas por el ministerio de vivienda, construcción y saneamiento son:

- **La baja capacitación de la mano de obra:** Debido a que la mayoría de empresas constructoras contratan trabajadores en forma temporal y cíclica, lo que genera inestabilidad laboral, además de que estas empresas no realizan programas de capacitación para aumentar su productividad y eficiencia en el uso de nuevas tecnologías de construcción.
- **La resistencia al cambio y desconfianza en la calidad y comportamiento en el futuro de sistemas constructivos innovadores:** Debido al temor de las empresas constructoras ante la poca receptividad de los usuarios a productos nuevos, se teme por la falta de garantía o una posible falla de un nuevo sistema constructivo, sin embargo esta barrera puede ser superada si la empresa realiza campañas informativas que generen confianza en los usuarios.
- **Ausencia de la definición de los elementos de un proyecto constructivo industrializado, en la etapa de diseño:** Debido a la falta de definición de los elementos modulares en la etapa de diseño, pueden ocurrir incompatibilidades durante la construcción que generen errores en obra. La solución es que la empresa elabore un proyecto de industrialización en el que se detalle todas las piezas que conforman el edificio.
- **Presencia de sindicatos de construcción que se oponen a la mejora de la productividad:** Una de las principales preocupaciones de toda empresa constructora son las asociaciones de obreros desempleados que en base a violencia las extorsionan para conseguir cupos de trabajo, lo que impide la implementación de mejoras de procesos mediante la contratación de personal y maquinaria especializada.
- **Falta de variedad de equipos y herramientas en nuestro mercado:** En los últimos años sólo algunas empresas internacionales especializadas en construcción e ingeniería han podido aplicar nuevos sistemas constructivos

industrializados mediante el uso de maquinaria y herramientas importadas, sin embargo la mayoría de empresas nacionales siguen aplicando métodos constructivos parcialmente industrializados ( sólo se invierte 5 % del costo total en equipos y 35-40% en mano de obra), ya que en nuestro mercado local aun no hay variedad de materiales y equipos innovadores a precios cómodos y por ende usan más mano de obra.

- **Negativa de inversión en las etapas iniciales de un proyecto:** Las empresas constructoras deben arriesgarse y reconocer los beneficios de un sistema constructivo industrializado, pues si bien el costo inicial es muy elevado, las ventajas finales a comparación de un sistema constructivo convencional son muy superiores en los aspectos de calidad, seguridad, plazos de obra, cuidado del medio ambiente, etc.
- **Desconocimiento del beneficio de la Estandarización versus el costo de dejar de construir el íntegro del terreno:** La mayoría de proyectos de edificación son construidos en terrenos pequeños con dimensiones irregulares, lo que genera que el arquitecto distribuya espacios según su criterio con el fin aprovechar al máximo el terreno, sin embargo si se usan medidas modulares estandarizadas para racionalizar de forma íntegra el espacio del terreno habrá mayores beneficios.

## CAPÍTULO 2

### LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA

#### 2.1 Introducción

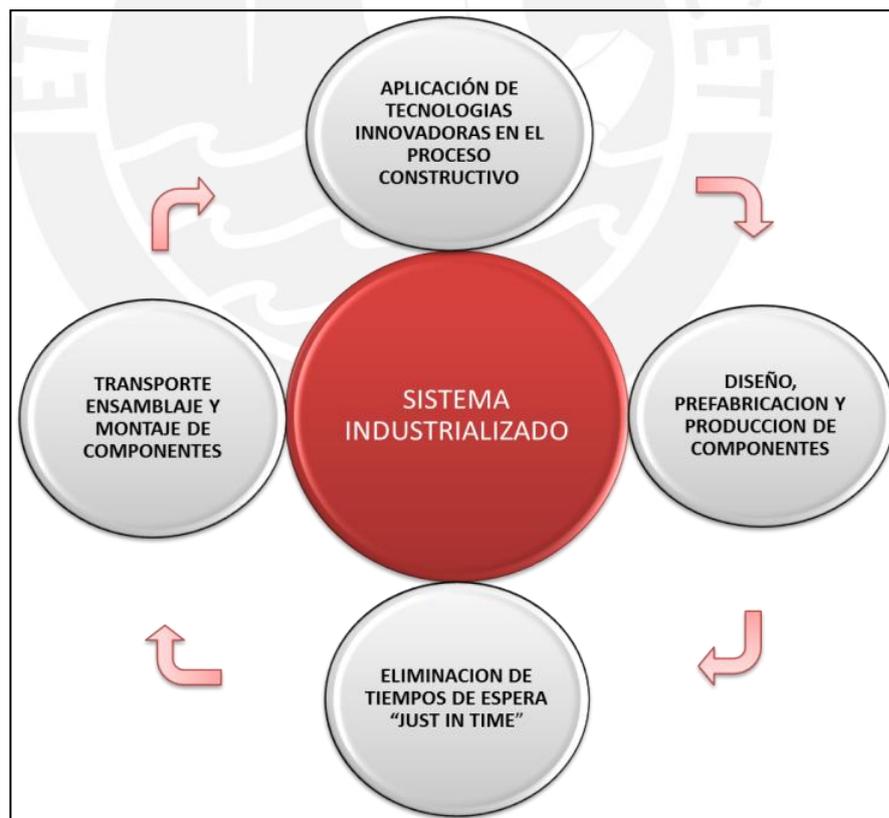
Entendemos la industrialización como una organización del proceso productivo, de forma automatizada, que implica la aplicación de tecnologías avanzadas al proceso integral de diseño, producción, fabricación y gestión, bajo la perspectiva de una lógica (Del Águila García 2008), y que emplea materiales, medios de transporte y técnicas mecanizadas en serie, que permite obtener una mayor productividad ( Gómez Jáuregui 2008).

Entonces una construcción industrializada consiste en convertir la construcción de una vivienda en una producción industrial, es decir una cadena de montaje, cuya principal ventaja es ofrecer un trabajo en cadena que implica mejorar la

calidad de los materiales y acabados debido al mayor control de producción, aumento de la productividad, una especialización de la mano de obra, una reducción de los accidentes, y lo más esencial una reducción del plazo de obra y costos. El objetivo de la industrialización en la construcción es la reducción de las actividades sobre el terreno (Koskela, 2003).

Para que exista industrialización se deben desarrollar tres factores en forma simultánea: innovación tecnológica, capital para la inversión y un mercado que logre amortizar la inversión inicial, si cualquiera de estos factores no se diera, el proceso fracasará. Para incorporar el concepto de cadena de producción al mundo de la construcción, se tiene que adaptar el diseño de los edificios a un proyecto de industrialización preliminar, cuyo propósito sea una producción flexible y sin retrasos.

Estas condiciones mínimas necesitan de la incorporación de determinados recursos, los cuales son poco accesibles para muchos sectores en el Perú, sin embargo el desarrollo es imprescindible en la actualidad y no existe otro camino para mejorar los procesos tradicionales que la tecnología e innovación.



**Imagen 2.1** Fases de un sistema industrializado. (Fuente Propia)

## 2.2 Reseña histórica del desarrollo internacional de la construcción industrializada

La construcción industrializada es un proceso iniciado en siglo XVIII en Europa, con la construcción de puentes y cubiertas con hierro fundido, material que después también sería usado para la construcción de columnas y vigas de edificios, al mismo tiempo en Estados Unidos (Chicago, 1833) se empezó a usar el sistema constructivo llamado “Balloon Frame” que consistía en listones de madera prefabricados y ensamblados en obra.

Recién a finales del siglo XIX se volvió a utilizar el hormigón en las edificaciones (la primera vez la usaron los romanos) para la construcción de elementos prefabricados. En 1889, en Estados Unidos aparece la primera patente de edificio prefabricado mediante módulos tridimensionales en forma de cajón apilable concebida por Edward T. Potter y en 1981 se prefabrican las primeras vigas de concreto armado para la construcción del casino de Biarritz en Francia. Por otra parte, tras la segunda guerra mundial en Europa (siglo XX), la prefabricación industrializada pesada o cerrada (cuyos elementos representativos eran los grandes paneles de hormigón) fue fuertemente impulsada como necesidad de construir un gran número de viviendas destruidas, sin embargo estos sistemas constructivos presentaban problemas como la poca flexibilidad de distribución en planta (la tabiquería también se ejecutaba con paneles portantes de hormigón), además las luces de los forjados eran mínimos pues se debían cumplir las reglas de transporte de esa época las cuales limitaban las dimensiones máximas del tamaño de las habitaciones, todas estas características ocasionaron que a finales del siglo XX la construcción industrializada con sistemas constructivos cerrados quede obsoleto y en su lugar se prefiera la construcción de edificios para vivienda mediante sistemas constructivos tradicionales y la construcción de edificios públicos (edificios industriales, hospitales, escuelas, oficinas, etc.) mediante sistemas constructivos en base a componentes prefabricados de hormigón producidos por empresas distintas y con diferentes formas de fabricación bajo una disciplina industrial.

Al pasar de los años y con nuevas tecnologías aplicadas en los componentes o elementos que conforman una estructura estos se dividieron en:

- Sistemas que emplean parcialmente componentes: Son los sistemas constructivos cuyo grado de industrialización es baja, estos sistemas son aplicados en la mayoría de edificaciones en el Perú.
- Sistemas de módulos tridimensionales (mecanos): Son el resultado de la evolución de los sistemas cerrados, con la diferencia de que son sistemas fabricados para adaptarse y combinarse de manera eficiente y sostenible en diversas medidas según el proyecto en el que será empleado.
- Sistemas abiertos: Son los sistemas constructivos constituidos totalmente por componentes prefabricados de diferente procedencia y aptos para ser colocados en diferentes tipos de obras sean o no sean industrializadas.

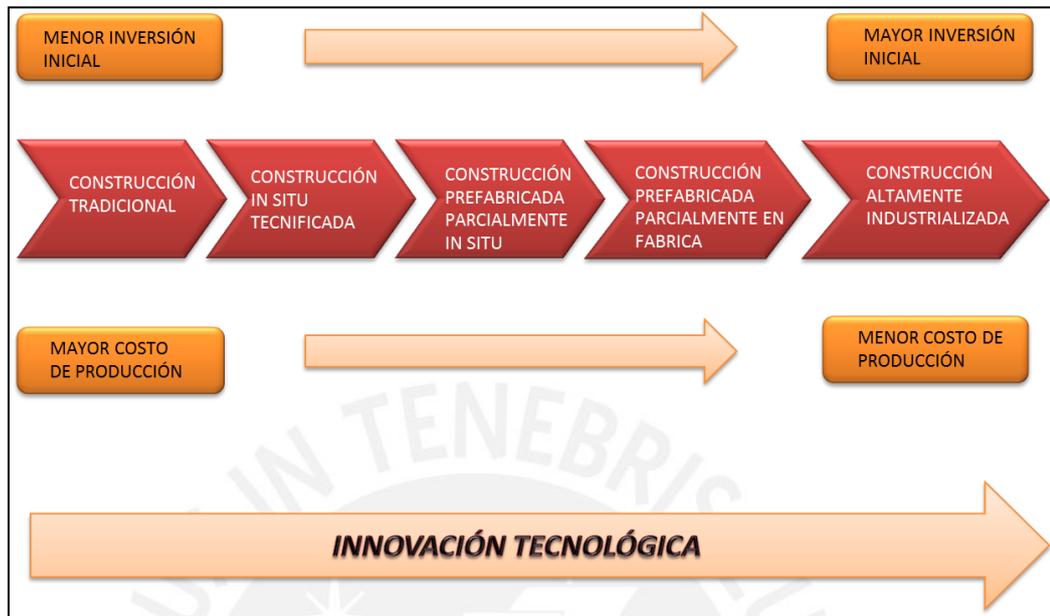
Actualmente los principales representantes de los sistemas de prefabricación abierta y de fabricación de módulos tridimensionales son Francia, España, Alemania, Estados Unidos, siendo el máximo exponente Japón, país en el que son prefabricadas hasta 12000 casas con los sistemas constructivos llamados Daiwa, Sekisui House, Misawa entre otros (sistemas basados en paneles para muros de estructura de chapa de acero galvanizada, aislamiento térmico sintético y tableros compuestos de madera y yeso).

### 2.3 Sistemas constructivos industrializados

Un sistema constructivo industrializado es el conjunto de elementos y unidades de un edificio cuya producción es controlada y optimizada en fábrica, estas unidades forman una organización funcional con una misión constructiva común, es decir los sistemas están constituidos por unidades, éstas por elementos, y estos se construyen a partir de determinados materiales. Las unidades que componen un sistema constructivo deben ser capaces de ensamblarse para satisfacer flexiblemente un proyecto de edificación.

A comparación de un sistema constructivo tradicional, un sistema constructivo industrializado tiene una elevada inversión inicial pero un menor costo de producción gracias a la alta tecnología y calidad en la que ha sido desarrollado. Los sistemas constructivos industrializados se dividen en dos categorías: los sistemas constructivos parcialmente industrializados que a la vez se subdividen en sistemas constructivos prefabricados in situ y en sistemas constructivos prefabricados en fábrica; y los sistemas constructivos ampliamente industrializados tridimensionales los cuales se subdividen en los sistemas

constructivos de módulos tridimensionales de acero, concreto ,mixtos y del tipo contenedores.



**Imagen 2.2** Cuadro de Sistemas Constructivos según la inversión inicial y costo de producción  
(Fuente Propia)

Sistema Estructural
<p><b>Acero</b></p> <p>Pórticos dúctiles con uniones resistentes a momentos.</p> <p>Otras estructuras de acero:</p> <p>Arriostres Excéntricos.</p> <p>Arriostres en Cruz.</p>
<p><b>Concreto Armado</b></p> <p>Pórticos<sup>(1)</sup>.</p> <p>Dual<sup>(2)</sup>.</p> <p>De muros estructurales <sup>(3)</sup>.</p> <p>Muros de ductilidad limitada <sup>(4)</sup>.</p>
Albañilería Armada o Confinada <sup>(5)</sup> .
Madera (Por esfuerzos admisibles)

**Imagen 2.3** Sistemas estructurales aprobados por la Norma Sismorresistente del Perú (Fuente: Norma E030 Diseño Sismorresistente del Perú)



Imagen 2.4 Tipos de sistemas constructivos Industrializados. (Fuente Propia)

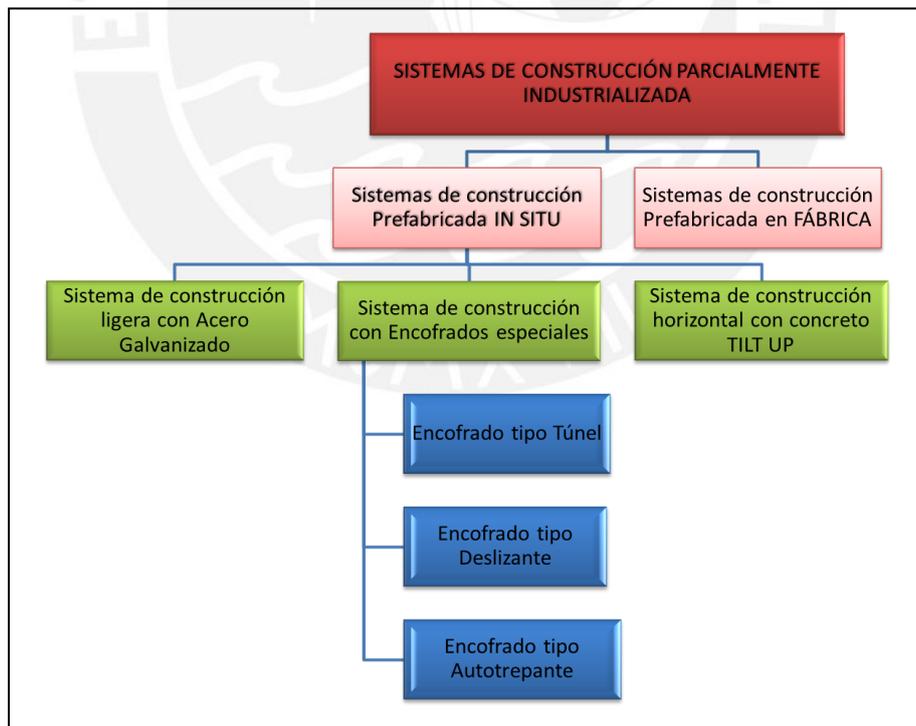
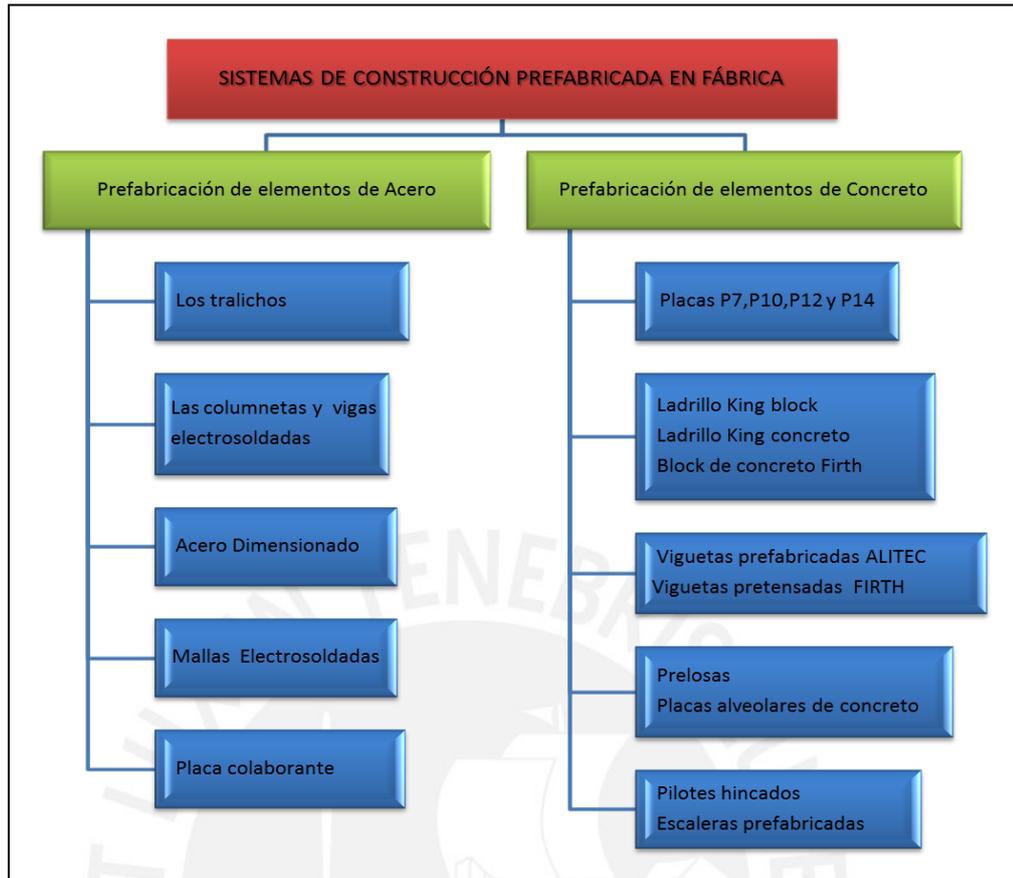


Imagen 2.5 Tipos de sistemas constructivos parcialmente industrializados. (Fuente Propia)



**Imagen 2.6** Tipos sistemas de construcción prefabricada en fábrica. (Fuente Propia)

### 2.3.1 Sistemas constructivos parcialmente industrializados in situ

La construcción parcialmente industrializada con hormigón se inicia a principios del siglo XX en EEUU con la sustitución de los muros por paneles portantes moldeados alrededor de la obra, de este modo se mejoraba la productividad y se aceleraban los procesos constructivos in situ; sin embargo fue la falta de mecanismos de elevación y medios de transporte capaces de trasladar cantidades considerables de hormigón las principales trabas que impidieron su expansión, pese que en esa época en EEUU había gran crecimiento económico.

Estos sistemas se caracterizan por la construcción de elementos prefabricados in situ (al pie de la obra) y tienen como principal ventaja que requieren una inversión menor comparada al de una fábrica, además se ahorra en el transporte de los elementos prefabricados. Los más usados son el sistema de construcción ligera con acero galvanizado "Steel framing", sistema de hormigonado horizontal (Tilt up), y los sistemas de encofrados especiales.

### 2.3.1.1 Sistema constructivo ligero con acero galvanizado “Steel Framing”

El sistema constructivo Steel Framing es la evolución del sistema constructivo de madera llamado “Balloon frame”, y es diferente del sistema Steel frame (sistema constructivo en el que se usan vigas y columnas de perfiles de acero pesados para la construcción de edificios).

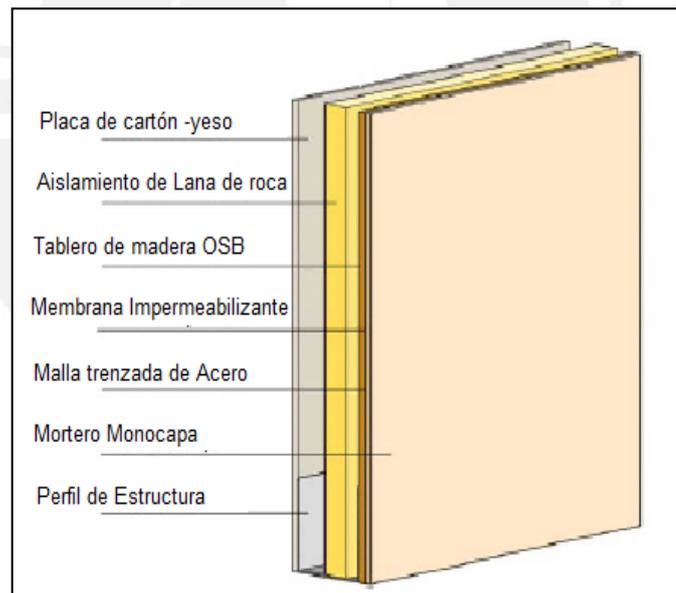
Este método constructivo abierto consiste en la construcción de viviendas mediante el uso de perfiles de acero galvanizado liviano de distintas formas y espesores, y una cubierta multicapa, que en conjunto conforman una estructura que soporta las cargas del edificio, son muy usados en EEUU y países de Europa, su variante en el Perú es llamado sistema constructivo en seco – drywall fabricado por la empresa Eternit, y son usados como ambientes en campamentos, aulas de colegios, almacenes etc.

Su proceso constructivo se inicia con el movimiento de tierras para la cimentación de la estructura, luego se ejecuta la cimentación con el armado necesario para soportar el empuje de la edificación, después se colocan los perfiles de acero galvanizado que ensamblados formarán el esqueleto del sistema, después de armada la estructura de acero galvanizado se colocan las capas de cerramiento ( no se coloca aún la placa de cartón y yeso, ya que son colocadas después de las instalaciones sanitarias y eléctricas), posteriormente se realiza el vaciado de la losa colaborante que sirve de forjado de la estructura, así como la colocación de las instalaciones eléctricas y sanitarias dentro de los paneles, se ejecuta también la cubierta mediante la colocación de cerchas de acero ligero galvanizado para asentar las tejas, finalmente se realizan los acabados generales, incluyendo mortero monocapa exterior y el pintado interior. Las principales ventajas de este sistema constructivo es que a comparación del hormigón ya no hay tiempo de fraguado, la cimentación es menor y menos costosa, posee alta resistencia mecánica y seguridad estructural (la galvanización del acero lo hace resistente al impacto y al fuego), tiene excelente comportamiento ante un sismo ( por la fluencia del acero), buen aislamiento térmico y acústico, y es ecológicamente muy eficiente ya que la gran mayoría de los materiales utilizados son reciclables.

Sin embargo una de las desventajas es la limitación de altura, no obstante, algunas empresas han aplicado la tecnología suficiente para ensamblar estructuras de 3 a 5 plantas con núcleos de concreto que sirven para arriostrar el resto de la estructura.



**Imagen 2.7** Estructura ligera de acero galvanizado “Steel Framing”  
(Fuente: <http://www.mundoseco.com.ar/steelframe.asp>)



**Imagen 2.8** Cerramiento multicapa de un sistema constructivo industrializado ligero “Steel Framing”

(Fuente: <http://www.mundoseco.com.ar/steelframing.asp>)

### 2.3.1.2 Sistema Constructivo horizontal con concreto “Tilt up”

El sistema constructivo “Tilt up”, consiste en la construcción de edificios mediante paneles de concreto encofrados en horizontal, izados y luego colocados en su posición final, que sustituirán a los muros portantes de albañilería. Se pueden construir en una planta de prefabricado de hormigón o en la misma obra, en ese caso se debe habilitar una zona en la obra, para su producción y el acopio de material.

El panel de concreto pesa aproximadamente entre 30 a 50 toneladas y está conformado por tres capas, la primera capa es de concreto armado con un espesor de 10 cm cuya función es resistir las cargas, la segunda capa es de concreto con un espesor de 5 cm en la que se colocan embebidos los servicios sanitarios, y entre estas dos capas, existe una capa de aislante térmico.

El proceso constructivo comienza con la colocación de perfiles metálicos que darán forma al encofrado, luego se aplica un líquido desencofrante en las partes que van a estar en contacto con el concreto, a continuación se coloca el refuerzo estructural de acero, y se vacía el concreto. Se actúa igualmente con la segunda parte de las capas que conforma el panel, teniendo en cuenta que son de distintos espesores, y que en esta segunda hay que pasar los conductos de los servicios eléctricos o sanitarios. Una vez fraguado (mínimo 48 horas), se retiran los encofrados que han dado forma al panel (se pueden hacer también paneles con vanos) y con los anclajes de izado se levanta el muro de concreto con una grúa para finalmente colocarlo en el lugar correspondiente.

Las principales ventajas de este sistema constructivo son la invariabilidad de los paneles que permite el uso del mismo encofrado para varios paneles, además gracias a su acabado, ya no es necesario realizar las tareas de tarrajeo exterior de muros, son resistentes al fuego, adaptables para cualquier infraestructura y el hecho de que las instalaciones y el aislante vayan incluidas en el panel genera mayor rapidez de construcción. Sin embargo una de las desventajas es el gran espacio que ocupan en obra los paneles y la grúa, y que este sistema solo es rentable cuando se construyen gran cantidad de muros y de las mismas dimensiones en caso contrario se generan costos innecesarios esta es la razón por la que ya no es tan utilizado.



(a)



(b)

**Imagen 2.9** (a) Izaje de paneles portantes (b) Paneles de concreto ya instalados  
(Fuente: <http://studio21arquitecturaengenharia.blogspot.com/2012/08/sistema-tilt-up.html>)

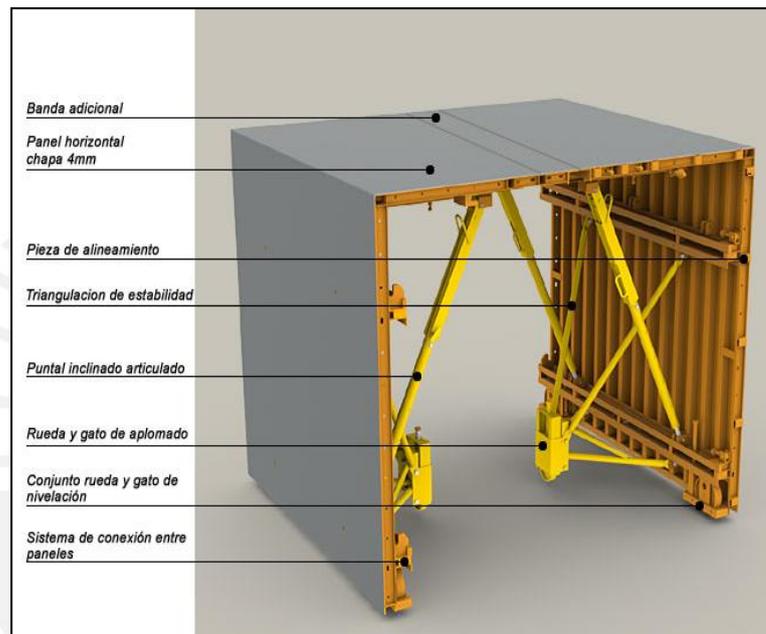
### 2.3.1.3 Sistema constructivo de encofrados especiales

Este tipo de sistemas constructivos industrializados, consisten en moldes o dispositivos que confinan y amoldan el concreto en su estado fluido, en muros y techos a la vez. En el Perú los más usados en edificaciones convencionales son los encofrados de madera y metálicos horizontales y verticales, sin embargo en otros países, se usan los encofrados tipo túnel, deslizantes, autotrepantes, etc. Las empresas en Perú que ofrecen encofrados de última tecnología son: Ulma encofrados, Acrow, Outinord, Peri, Forsa, etc.

#### 2.3.1.3.1 Los encofrados tipo túnel

Este sistema constructivo consiste en moldes metálicos (semi- túneles) en forma de L que conforman una “U” invertida, separados entre sí una distancia que es el espesor de la lámina cuando se vacía el concreto. Los moldes pueden plegarse para su uso sucesivo mediante sistemas de machihembrado o buscando el posicionamiento mediante tornillos cónicos que encajan en agujeros de la misma conicidad del molde adyacente, lo que permite vaciar muros y losas al mismo tiempo. Las longitudes de los moldes del semi- túnel, varían por lo general entre 0.5 y 2.5 m.

Una de las principales ventajas de este sistema constructivo, es la reducción de los plazos de ejecución (el tiempo total de la construcción de la estructura se reduce la cuarta parte), además de un aumento de la calidad ya que este tipo de encofrados permiten una precisión dimensional y la eliminación de cangrejeras. Una de sus desventajas es que el uso de este encofrado produce la limitación del espesor de losas lo que afecta la longitud de los ramales de instalaciones sanitarias de la red de desagüe, pues en algunos casos se tiene que llegar a aumentar el espesor de la losa donde van ubicados los baños para poder cumplir con las pendientes.



**Imagen 2.10** Partes de un encofrado especial tipo Túnel.

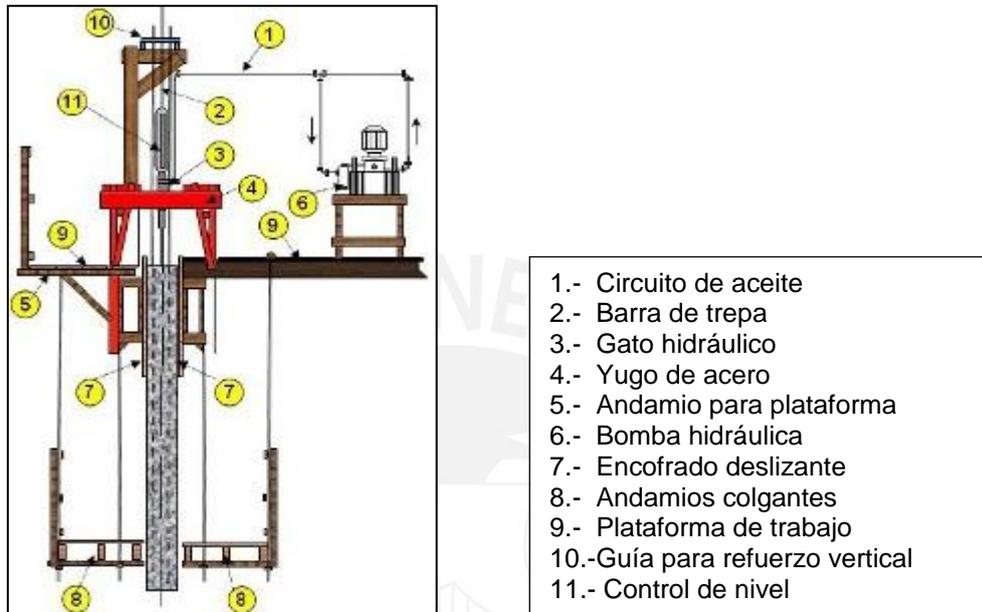
(Fuente: <http://www.outinord.com/sitespagnol/pageproduitsesp/pagetunnelstandard.html>)

#### 2.3.1.3.2 Los encofrados deslizantes (slip formings)

Este sistema constructivo consiste en un doble encofrado de pequeña altura (1-1,20 m. y en algunos casos 2 m.) que se apoya en la base de la estructura y se cuelga por medio de unos marcos o caballetes de madera o metal a una serie de dispositivos de elevación (gatos hidráulicos) soportadas por barras metálicas; a medida que se endurece el hormigón vertido en este encofrado, los gatos hidráulicos hacen que el encofrado se levante progresivamente a velocidades que varían entre los 15 cm/h y los 30 cm/h.

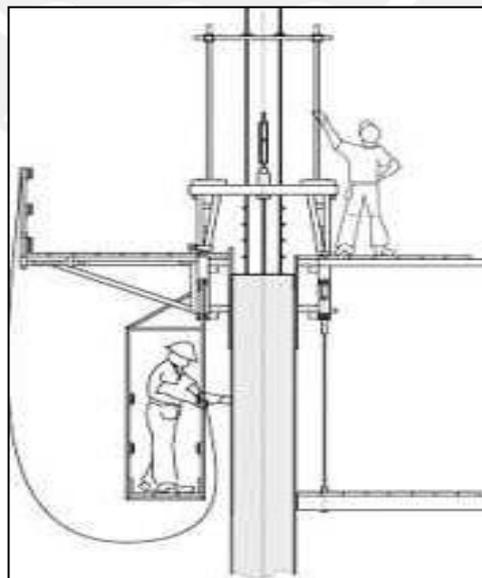
Una de sus principales ventajas es la obtención de un hormigón monolítico sin juntas frías, esta característica lo hace preferible en estructuras como tanques

de agua, silos y depósitos de gas, aunque también se usan para edificaciones, otra ventaja es que se evita el uso de andamios (sólo plataforma de acceso), sin embargo una de sus desventajas es que el control de la plomada y verticalidad de los encofrados deslizantes es más crítico.



**Imagen 2.11** Partes de un encofrado deslizante.

(Fuente : <http://arquitectura.com.uy/538/encofrado-deslizante/>)



**Imagen 2.12** Esquema de un encofrado deslizante.

(Fuente: <http://arquitectura.com.uy/538/encofrado-deslizante/>)

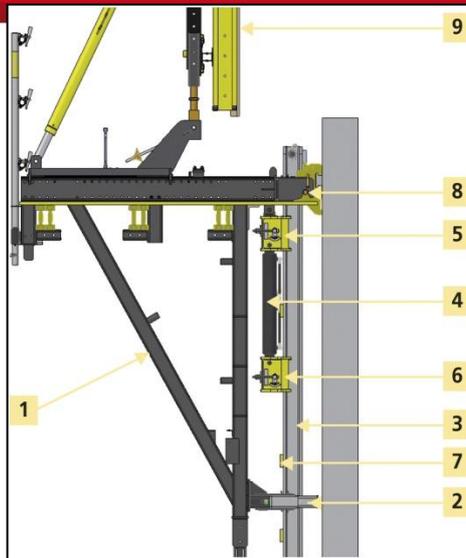
### 2.3.1.3.3 Los encofrados trepantes (jump formings)

Los encofrados trepantes son sistemas que están compuestos por moldes de altura variable que son anclados a los muros ya vaciados mediante pernos de anclaje que han sido dejados en la etapa anterior, el desplazamiento de estos encofrados se realiza mediante grúas fijas o móviles (en el caso de encofrados autotrepantes, se realiza mediante mecanismos hidráulicos y mecánicos).

El ciclo de encofrado y vaciado es de 3 días aproximadamente, se debe esperar que el concreto alcance su resistencia mínima de 150 kg/cm<sup>2</sup> para poder apoyar el molde en la siguiente posición.

Un encofrado trepante está conformado por un panel de encofrado, una plataforma a mitad de panel para dar acceso a posiciones intermedias de anclajes o elemento de unión entre módulos, una consola de trepa formada por dos estructuras planas de forma triangular denominadas consolas convenientemente arriostradas que permiten la formación en el plano horizontal de una plataforma de trabajo; elementos de conexión que son una serie de accesorios propios de cada sistema mediante los cuales se realiza la conexión del panel de encofrado a la unidad de trepa. En los encofrados trepantes modernos, los elementos de conexión deben posibilitar el izado del módulo de trepa completo y las operaciones de encofrado y desencofrado, permitiendo el aplome y nivelación del encofrado, así como el retranqueo de los paneles de encofrado para poder efectuar las labores de limpieza del mismo.

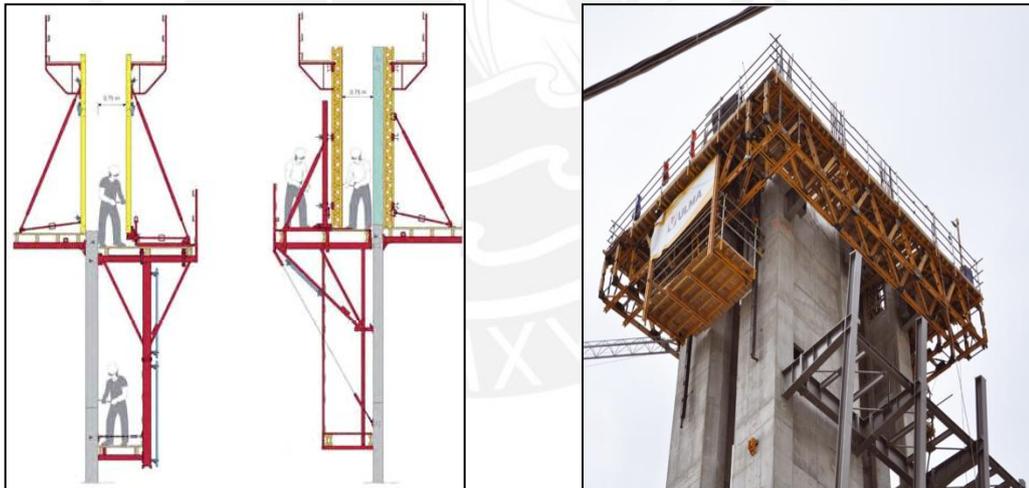
La principal ventaja de estos sistemas constructivos es que poseen una gran capacidad de carga, además que son fácilmente adaptables a cualquier geometría del muro (se pueden vaciar muros de hasta 6m de altura). Una de las desventajas de este sistema es que los moldes dejan una serie de piezas embebidas en el concreto para asegurar su anclaje en el muro, las cuales ya no se pueden recuperar y se consideran como pérdidas.



- 1.- Consola Autotrepante
- 2.- Pie consola
- 3.- Mástil
- 4.- Cilindro mecánico
- 5.- Cabezal trepador superior
- 6.- Cabezal trepador inferior
- 7.- Taco mástil
- 8.- Cajetín anclaje
- 9.- Encofrado

**Imagen 2.13** Partes de un encofrado autotrepante ATR ULMA.

(Fuente: <http://www.ulmaconstruction.com/sitios/com/ES/encofrados/encofrados-trepantes/atr-sistemas-autotrepantes/SitePages/Inicio.aspx>)



**Imagen 2.14** Esquema y vista en obra de un encofrado autotrepante.

(Fuente: <http://www.ulmaconstruction.com/sitios/com/ES/encofrados/encofrados-trepantes/atr-sistemas-autotrepantes/SitePages/Inicio.aspx>)

### 2.3.2 Sistemas constructivos parcialmente industrializados en fábrica

Estos sistemas revolucionaron la industria de la construcción a mediados del siglo XX, consisten en la construcción de elementos de concreto o de acero en una planta y luego trasladados a obra para ser instalados, se clasifican en livianos (peso inferior a los 30 kg); semipesados (peso inferior a los 500 kg, destinados a su puesta en obra utilizando medios mecánicos simples a base de poleas, palancas, y barretas) y pesados (su peso es superior a 500 kg), para lo cual se necesita maquinaria pesada como grúas para su izado, acopio y colocación en obra.

La prefabricación de elementos es de interés cuando existe la posibilidad de generar un cierto nivel de repetición en los elementos de construcción, entonces el mercado de la prefabricación se convierte en un mercado muy atractivo, lo que muestra una tendencia hacia un sistema de prefabricación abierta.

Según sea la forma de las piezas prefabricadas pueden clasificarse en bloques (para construcción de muros; paneles como muros de contención, placas de fachadas); y elementos lineales de sección transversal reducida en relación a su longitud (vigas, columnas, pilotes, etc.).

#### 2.3.2.1 Prefabricación de elementos de acero

El proceso de preensamblaje en fábrica de elementos de acero se divide en cuatro etapas: ingeniería de proceso, preparación, armado y terminación.

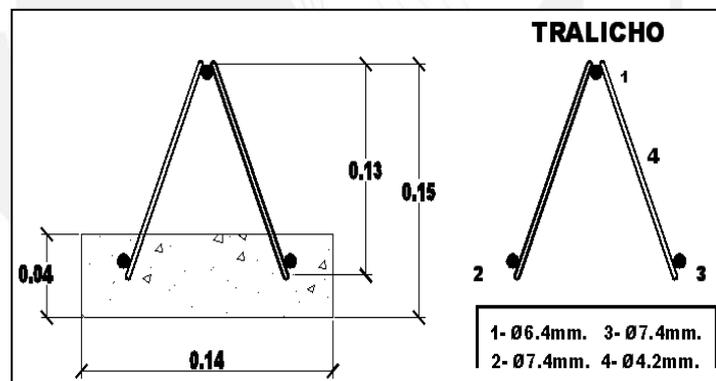
En la primera fase se realiza la secuencia de producción, logística de materiales y planos de taller, en la segunda fase se opera la materia prima (planchas, rollos) y se realiza el trazado, delineado, corte, doblado o plegado, esmerilado, cilindrado, biselado (importante en la preparación de bordes para asegurar la calidad de soldadura) y perforación; en la tercera fase se unen los elementos de mayor resistencia mediante pernos y en la última fase se realizan las uniones definitivas mediante pernos remaches o soldaduras .

En el Perú los elementos prefabricados de acero más usados son el acero dimensionado (piezas cortadas y dobladas en fabrica a la medida de cada elemento), tralichos, columnetas electrosoldadas, mallas electrosoldadas, planchas de acero para losas colaborantes, etc.

### 2.3.2.1.1 Los Tralichos

Son estructuras de acero de alta resistencia de grado 80, con esfuerzo de fluencia de 5000 kg/cm<sup>2</sup>, y resistencia mínima a la rotura de 5600kg/cm<sup>2</sup>, están compuestos por refuerzos de acero corrugado y trefilado en frío, uno superior que absorbe requerimientos de carga del aligerado antes del vaciado de concreto, y dos inferiores que conforman el acero de refuerzo positivo, ambos están unidos por alambres reticulados continuos en zigzag electrosoldados a los aceros de alta resistencia. Los tralichos forman parte de las viguetas prefabricadas ALITEC, sus dimensiones son 7cm hasta 25 cm de altura y una longitud de 2.8m a 10 m.

Las principales ventajas de estos elementos son la mayor rigidez de las viguetas por la unión del fierro diagonal a un fierro superior lo que genera un mejor comportamiento a la deflexión y la disminución de deformaciones en comparación con un sistema constructivo tradicional. Sin embargo una de sus desventajas es que pueden sufrir estados de carga transitorios durante su transporte y colocación, lo que puede afectar la resistencia estructural de la pieza.



**Imagen 2.15** Tralicho de una vigueta Alitec.

(Fuente: <http://www.italconcreto.com/?page=Galeria%20Productos>)

### 2.3.2.1.2 Las columnetas y vigas electrosoldadas

Son elementos prefabricados de acero, soldados por fusión eléctrica, usados para sistemas aporticados y para sistemas de albañilería confinada. Son fabricadas con acero cuyo esfuerzo de fluencia es 5000kg/cm<sup>2</sup>, y esfuerzo de rotura de 5600kg/cm<sup>2</sup>.

La principal ventaja de estas armaduras prefabricados es que su instalación en obra es tres veces más rápida (15% de ahorro del tiempo de colocación de fierro en obra), sin embargo una de sus desventajas es que el acopio, manipulación y forma de transporte puede afectar las piezas, por lo que debe ser realizado por personal capacitado.



**Imagen 2.16** Columneta prefabricada electrosoldada  
(Fuente: <http://www.acerosarequipa.com/index.php?id=1803>)

#### 2.3.2.1.3 El acero dimensionado

Es un producto ofrecido por la empresa Aceros Arequipa, que consiste en la prefabricación de piezas de acero con alta calidad en fábrica de acuerdo a los planos estructurales de un proyecto, esto permite evitar las mermas de fierro, y elaborar un cronograma de abastecimiento del material según el avance de obra.

Las piezas son cortadas y dobladas en máquinas de última tecnología con alta precisión que cumpla con las normas establecidas, además que están sujetas a un control de calidad que optimiza su fabricación, cada pieza es etiquetada para facilitar su distribución cuando llegue a obra y es entregada con grúas reduciendo el tiempo de descarga del material por los obreros.

Las principales ventajas de este sistema es el ahorro de material, la reducción de la mano de obra destinada al cortado y doblado de fierro en obra, mayor control de la cantidad exacta de acero a usar en obra, mayor seguridad, y menor transporte de materiales.



(a)



(b)

**Imagen 2.17** (a) Doblado de barras de acero en fábrica (b) Descarga de barras etiquetadas a obra. (Fuente: <http://www.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/difusion/eventos/piura/ACERO%20DIMENSIONADO.pdf>)

#### 2.3.2.1.4 Mallas electrosoldadas

Son elementos prefabricados de acero que sirven de refuerzo en losas, pavimentos, muros de contención, plateas de cimentación, etc. Consiste en planchas formadas por barras transversales y longitudinales soldadas en todas sus direcciones, cuya soldadura se controla mediante el ensayo de resistencia de la soldadura al cizalle. La resistencia mínima que deben cumplir las mallas con alambres lisos es de  $241 \times A$ , y para mallas con alambres corrugados  $138 \times A$ , donde  $A$  es el área nominal en  $\text{mm}^2$  del alambre que se va a ensayar (el ensayo se realiza sobre el alambre de mayor diámetro que conforma la malla electrosoldada). El proceso de fabricación se hace mediante el estirado en frío de manera que se obtenga una resistencia a la rotura de  $5600 \text{ kg/cm}^2$ , con una reducción de sección no mayor del 30%.

La principal ventaja de este elemento prefabricado es que se necesita mucho menos cantidad de acero para el refuerzo de elementos estructurales, la cuadrícula soldada de la malla proporciona una resistencia equivalente a la que puede ofrecer un grupo de varillas sueltas pero con menos cantidad de material, de modo que al emplearlo se reduce los costos derivados de la compra de materiales, además que es de fácil traslado y almacenamiento.



**Imagen 2.18** Colocación de mallas electrosoldadas en obra

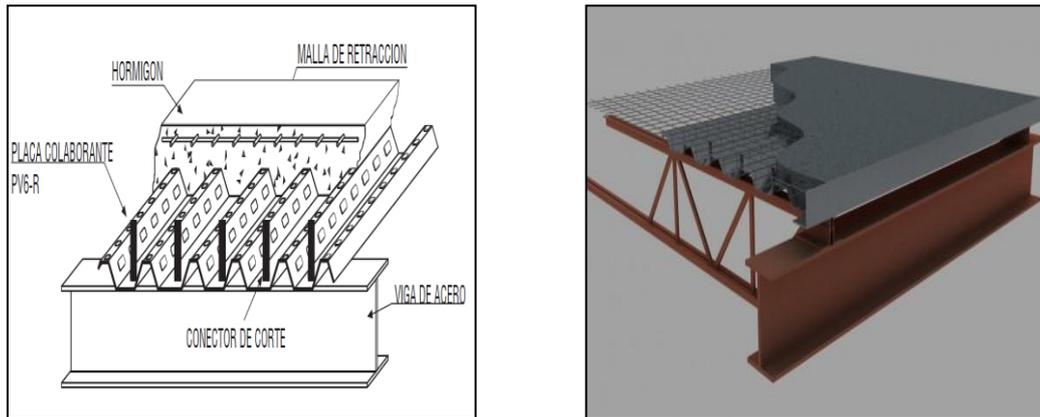
(Fuente: <http://www.materialeslosandes.com/tproductos.php?pagina=mallas>)

#### 2.3.2.1.5 Placas colaborantes

Son elementos modulares de acero galvanizado que se traslapan para generar una superficie sólida sobre la cual se vacía el hormigón y conformar así un sistema constructivo de losa colaborante.

Las láminas funcionan en reemplazo al tradicional nervado de varillas de acero, por lo cual, el concreto se combina con las placas de acero para generar una estructura mucho más elástica, capaz de soportar cargas de tracción y compresión. Las secciones trapezoidales de la placa son de acero galvanizado cuyas medidas varían desde 0.45 a 0.75 mm., con un ancho de 0.90 m. y longitudes de acuerdo al proyecto. Adicionalmente a la placa, se coloca una malla electro-soldada que sirve para evitar las fisuras en la losa, a causa de los cambios de temperatura y la contracción del concreto durante el fraguado.

En general un sistema constructivo de losa colaborante tiene las ventajas de la reducción del tiempo de construcción, adaptabilidad a cualquier forma de la planta, alta resistencia estructural, eliminación de desperdicios (no se usan accesorios de alambre o madera para el encofrado), reducción en un 30% de peso, es ideal para luces grandes, y de fácil instalación en obra; sin embargo sus desventajas son que la placa de acero colaborante puede oxidarse, por lo que es necesario protegerlo con pintura anticorrosiva.



**Imagen 2.19** Elementos de una losa colaborante,

(Fuente: <http://www.plataformaarquitectura.cl/2011/03/09/en-detalle-losa-colaborante/>)

### 2.3.2.2 Prefabricación de elementos de concreto

En el Perú los elementos de concreto prefabricado más usados son:

- Para Tabiquería portante y no portante: placas P7 y P10, P12 y P14 fabricados por la empresa Cía. Minera Lúren - La Casa, ladrillos kingblock y kingconcreto fabricados por la empresa UNICON.
- Para losas de techo: las viquetas pretensadas ALITEC, las viquetas prefabricadas FIRTH, las prelosas, placas alveolares de concreto.
- Para cimentaciones: pilotes hincados
- Escaleras prefabricadas

#### 2.3.2.2.1 Las placas P7

Son unidades sílico calcáreas para tabiquería no portante, fabricados para un sistema constructivo de albañilería armada, por la compañía Peruana Minera Luren. Sus dimensiones son de 24x50x7 cm., tienen una densidad de 1890 kg/m<sup>3</sup> y una resistencia a la compresión de 182kg/cm<sup>2</sup>. Estas unidades se asientan con mortero, y contienen alveolos semicirculares en sus extremos para la colocación del refuerzo vertical, el cual se empalma con el fierro de losas o vigas. Las ventajas de estos elementos prefabricados son que tienen una mayor resistencia que el ladrillo de arcilla tradicional; un mejor comportamiento termo acústico, y menor peso gracias a su espesor más pequeño que los ladrillos normales y a la ausencia de tarrajeo.

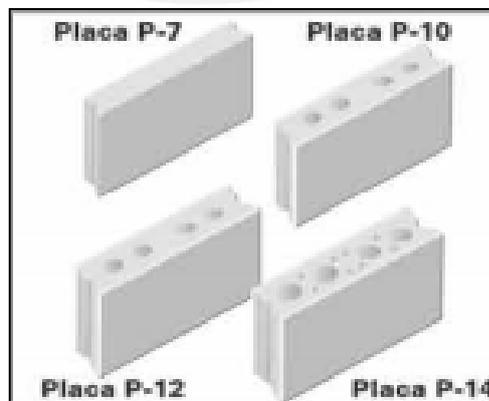
2.3.2.2.2 Las placas P10, P12 y P14

Son unidades de tabiquería portante, fabricados para un sistema constructivo de albañilería armada. Tienen una resistencia a la compresión de 170 kg/cm<sup>2</sup> y una densidad neta de 1900 kg/m<sup>3</sup>. Además contienen alveolos verticales y horizontales para colocar el refuerzo de acero en ambos sentidos y luego se vacíe concreto liquido en éstos.

Las ventajas de estas unidades prefabricadas son que no tienen la necesidad de usar mortero para poder apilarlos, lo cual conjuntamente con su gran tamaño las colocan como el sistema de muros de unidades de albañilería más rápido del mercado peruano, otras ventajas son la de poder empastar los muros directamente sin la necesidad de un tarrajeo previo, menor costo, mayor área útil, mayor productividad, menor peso, menor acarreo en obra, y no requieren de columnas de amarre ya que trabajan como albañilería armada.

Producto	Dimensiones en cm	Peso Kg	Piezas por m <sup>2</sup>	Perforaciones	
				Nº	Dimensiones
Placa P-7	7 x 50 x 25	14.5	7.4	4	3.5 x 5 cm
Placa P-10	10 x 50 x 25	18.5	7.4	4	5 x 7 cm
Placa P-12	12 x 50 x 25	22.5	7.4	4	5 x 7 cm
Placa P-14	14 x 50 x 25	24.5	7.4	4	7.5 cm

**Imagen 2.20** Dimensiones de las unidades de un sistema Constructivo de Albañilería Armada  
(Fuente: [http://www.lacasa.com.pe/muros\\_portantes\\_y\\_muros\\_no\\_portantes.html](http://www.lacasa.com.pe/muros_portantes_y_muros_no_portantes.html))



**Imagen 2.21** Unidades de un sistema constructivo de Albañilería Armada, placas P7, P10, P12 y P14. (Fuente: [http://www.lacasa.com.pe/muros\\_portantes\\_y\\_muros\\_no\\_portantes.html](http://www.lacasa.com.pe/muros_portantes_y_muros_no_portantes.html))

### 2.3.2.2.3 Los ladrillos Kingblock

Son elementos prefabricados por la empresa UNICON para un sistema constructivo de albañilería armada, sus dimensiones son de 19cm.x39cm. ( alto x largo) y anchos de 9,12, 14 y 19 cm., su volumen de vacíos varía desde 33% a 47.9%, su peso varía entre 11 a 16 kg, y su resistencia varía desde los 71 kg/cm<sup>2</sup> a 100 kg/cm<sup>2</sup>. Su uso abarca muros portantes, cercos perimétricos y tabiquería, y ofrece las ventajas de mayor velocidad de construcción, menor consumo de mortero de asentado y tarrajeo.



**Imagen 2.22** Ladrillos Kingblock

(Fuente: <http://www.unicon.com.pe/principal/categoria/bloques-de-concreto/93/c-93>)

### 2.3.2.2.3 Los Ladrillos King – concreto

Son elementos prefabricados por la empresa peruana UNICON para muros portantes de albañilería, cercos y parapetos de albañilería arriostrada, cada ladrillo tiene dimensiones de 9cmx22cm (alto x largo), y un volumen de vacíos de 25 % lo que lo califica como una unidad maciza, cuya resistencia es 180 kg/cm<sup>2</sup>. Las principales ventajas de estas unidades prefabricadas son la uniformidad en sus dimensiones, mejor resistencia al fuego, aislamiento sonoro y térmico en comparación con los ladrillos convencionales, y un menor porcentaje de vacíos lo que permite un ahorro de mortero.



**Imagen 2.23** Ladrillo King- concreto

(Fuente: <http://www.unicon.com.pe/principal/categoria/ladrillos-de-concreto/96/c-96>)

#### 2.3.2.2.4 Viguetas prefabricadas Alitec

Son elementos conformados por una estructura de acero llamado tralicho, (ya descrita anteriormente) unida a una capa de concreto de 4cm de altura por 14 cm de ancho y que conjuntamente a ladrillos bovedilla hechos de arcilla o poliestireno, conforman un sistema constructivo de losas aligeradas. La vigueta integra una firme conexión estructural con el concreto nuevo debido 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 condición garantiza un comportamiento igual al de una losa monolítica vaciada en obra ( los ladrillos bovedilla son solamente elementos de relleno).

En general un sistema constructivo de losa aligerada tiene las ventajas de la reducción de peso de la losa (alrededor del 12%) debido al uso de ladrillos entre viguetas, además del buen acabado inferior de la losa aligerada, lo cual garantiza un menor espesor en el tarrajeo, sin embargo una de sus desventajas es que la sección transversal de las viguetas es muy reducida en consecuencia los son también los momentos de inercia, por este motivo es muy importante controlar las deflexiones en estos elementos.

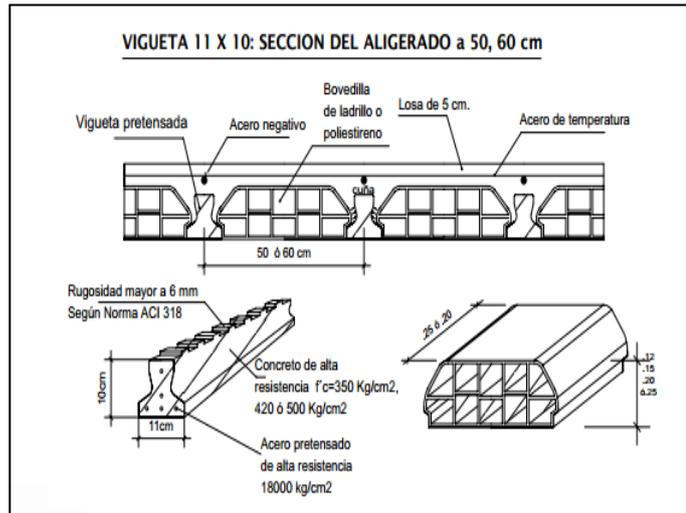


**Imagen 2.24** Colocación de viguetas prefabricadas ALITEC  
(Fuente: <http://www.italconcreto.com/?page=Galeria%20Productos>)

#### 2.3.2.2.5 Viguetas Pretensadas Firth

Son elementos prefabricados pretensados construidos por la empresa peruana Firth, las cuales conjuntamente con ladrillos bovedilla hechos de arcilla o poliestireno y una losa de 5 cm vaciada en situ en donde se colocan los fierros de temperatura, conforman un sistema constructivo de losa aligerada. Las alturas de losa son desde 17 a 30 cm y espaciamientos entre viguetas son desde 50 a 60 cm.

Las ventajas de estos elementos constructivos son la eliminación del enladrado (solo se usa soleras y puntales), se reduce la cantidad de concreto x m<sup>2</sup> (entre 20 a 25%), así como la cantidad de acero (60%), también se disminuye el peso por m<sup>2</sup> de la losa (entre un 15% a 20%), y se elimina el tiempo de desencofrado. Las desventajas que presenta este sistema constructivo son que se deben controlar las deflexiones dado que la inercia de la sección de las viguetas prefabricadas es muy reducida, así como también se debe tener cuidado en el vibrado, pues la capa de concreto que va encima de las viguetas es muy delgada.



**Imagen 2.25** Detalle de losa con viguetas Firth.

([http://www.firth.com.pe/\\_pdf/firth%20manual%20viguetas.pdf](http://www.firth.com.pe/_pdf/firth%20manual%20viguetas.pdf))



**Imagen 2.26** Colocación de viguetas prefabricadas Firth. (Fuente propia)

### 2.3.2.2.6 Prelosas

Son elementos de concreto prefabricado que consisten en placas prefabricadas de hormigón pretensado que sirven como encofrado resistente para poder ejecutar una losa maciza o aligerada en obra. La armadura longitudinal de la prelosa está compuesta por alambres de pretensado y celosías electrosoldadas en la parte superior que le proporcionan la rigidez a la flexión necesaria para el montaje. La losa terminada puede ser de dos tipos: losa aligerada (prelosa mas elementos de poliestireno), o maciza (prelosa mas concreto vaciado).

Las principales ventajas de este sistema constructivo son la menor cantidad de concreto vaciado en obra, la eliminación de apuntalamiento de la losa ya que la prelosa funciona como encofrado, su excelente acabado inferior, la fácil colocación de las instalaciones sanitarias y eléctricas en la prelosa, y el rápido montaje de la prelosa en obra lo que permite una alta eficiencia en su instalación (400 a 500 m<sup>2</sup> por jornada) con equipos de izaje de menor envergadura; sin embargo sus desventajas son que para la instalación de este sistema debe haber en obra necesariamente una grúa torre, además el acabado de una prelosa no es apreciado en edificios de oficinas por el uso de falso cielo raso, otra desventaja es que puede haber desorden en los envíos de las prelosas lo que genera retrasos en la obra.



(a)

(b)

**Imagen 2.27** (a) Prelosas instaladas con elementos de poliestireno (b) Izaje de prelosas.

(Fuente: <http://www.forpol.com/prelosa.pdf>)

#### 2.3.2.2.7 Placas alveolares de concreto

Son elementos prefabricados que consisten en losas huecas de concreto pretensado, aligerados mediante alveolos longitudinales, que conforman un sistema constructivo de entrepiso en cualquier tipo de estructura. Se fabrican de diferentes espesores, que van desde los 5 hasta los 50 cm y presentan longitudinalmente cantos biselados o llaves de cortante, los cuales una vez vaciadas de concreto, proporcionan una junta longitudinal entre placas, que garantiza una adecuada transmisión de cargas. Las placas alveolares trabajan como losa en un solo sentido simplemente apoyada, y también pueden emplearse como muros divisorios, elementos de cerramiento, fachada o incluso muros estructurales.

Las principales ventajas de este sistema constructivo son la reducción del peso de las losas generado por los alveolos longitudinales de cada placa de esta manera el peso total de la estructura disminuye; otra ventaja es que este sistema no necesita encofrado ni apuntalamiento y se puede llegar a tener luces de hasta 9.5m. Sin embargo una de sus desventajas es que los elementos pueden sufrir estados de carga transitorios en su transporte y colocación que pueden afectar su resistencia.



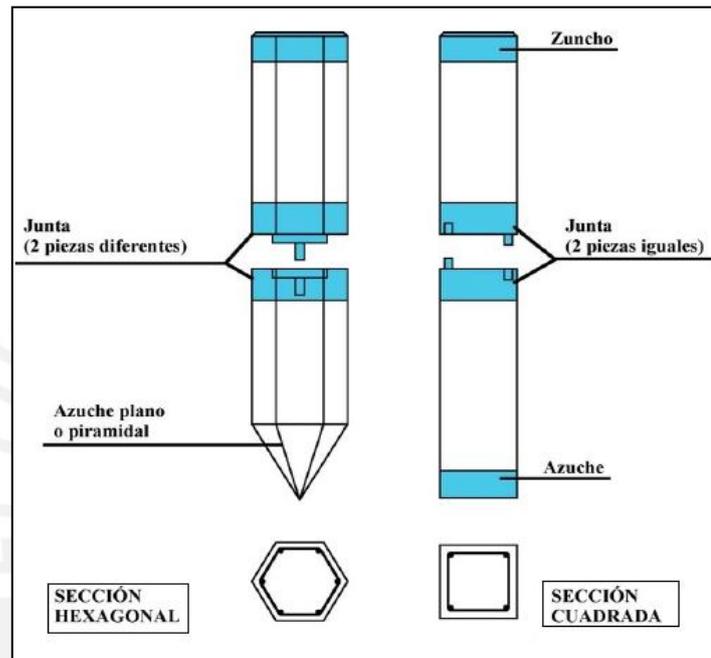
**Imagen 2.28** (a) Colocación de placas alveolares para losas. (b) Colocación de placas alveolares como muros (Fuente: <http://www.hormipresa.com/prefabricados-de-hormigon/placas-alveolares/>)

#### 2.3.2.2.8 Pilotes prefabricados de concreto

Son estructuras prefabricadas, diseñadas para la transmisión de cargas de cimentación hacia estratos resistentes profundos, por lo tanto son elementos de desplazamiento que aprovechan la compresión de su intrusión para ganar una adherencia adicional. La longitud de los pilotes prefabricados no es limitada, gracias a la posibilidad de empalme mediante juntas metálicas (tramos de hasta 14 m) y su instalación se realiza mediante hincas en el terreno (impacto de energía controlada). El concreto usado en los pilotes debe ser de alta resistencia y no menor a 410Kg/cm<sup>2</sup>, cada pilote se equipa con una pieza metálica en la punta para la protección del hormigón durante la hincas y de un zuncho metálico de refuerzo en la cabeza de golpeo.

Las principales ventajas en el uso de estos elementos prefabricados son la rápida intrusión de los pilotes al terreno gracias a los modernos equipos de hincas con torres montadas sobre carros de orugas, lo que permite altos

rendimientos (150 a 350 m por jornada de trabajo), además que el hinca de los pilotes prefabricados favorece la compactación del terreno a comparación de los pilotes excavados que ocasionan que el terreno se descomprima; sin embargo una de sus desventajas es que el transporte de estos elementos es muy tedioso pues se necesitan grandes camiones especiales tipo tráiler para trasladarlos.



**Imagen 2.29** Partes de un pilote de sección hexagonal y cuadrada  
(Fuente: <http://www.slideshare.net/JohnRobertJamanca/pilotes-prefabricados>)

#### 2.3.2.2.9 Escaleras prefabricadas de concreto

Son estructuras de concreto armado construidas en planta a la medida y requerimientos estructurales de cada proyecto al que es integrado. Estos grandes elementos son manipulados por una grúa mediante anclajes especiales (cáncamos, estobos y grilletes de acero) y ensamblados a losas o descansos a través de insertos metálicos y refuerzos de soldadura.

Las principales ventajas de estos elementos prefabricados son su fácil instalación (no se requiere encofrado o dispositivos de apuntalamiento), su acopio en obra es sencillo y en espacios reducidos, además se reduce la mano de obra, sin embargo una de sus desventajas es que también se deben colocar

insertos metálicos en los descansos donde se apoye la escalera prefabricada, los cuales deben ser reforzados obligatoriamente con soldadura.



(a)



(b)

**Imagen 2.30** (a) Vaciado en planta de la escalera (b) Izaje de escalera prefabricada

(Fuente: <http://www.unicon.com.pe/principal/categoria/escaleras/100/c-100>)

## CAPITULO 3

### SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN AMPLIAMENTE INDUSTRIALIZADA MODULAR TRIDIMENSIONAL

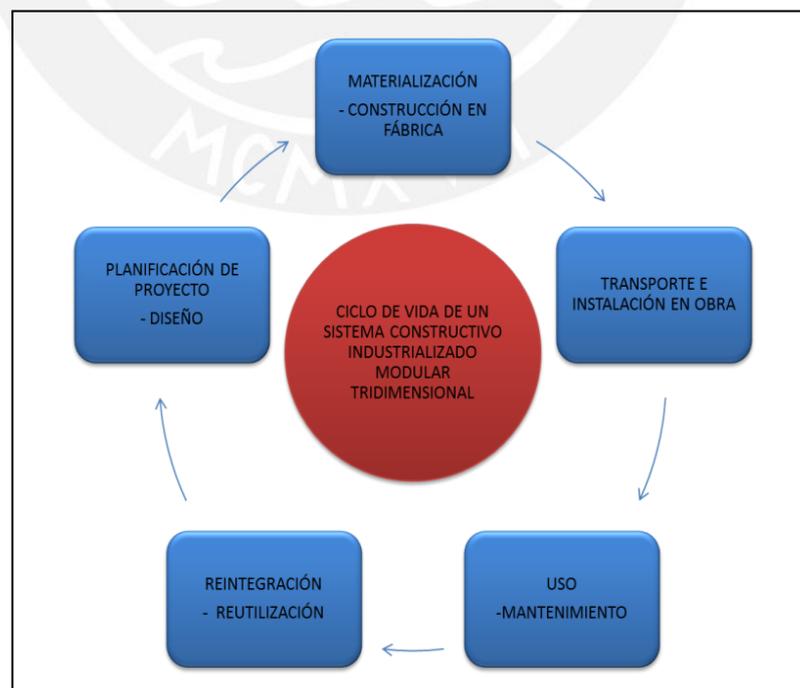
#### 3.1 Descripción del sistema constructivo de módulos tridimensionales

Es un sistema constructivo altamente industrializado tridireccional, (volumétrico), en el cual se reducen completamente las tareas ejecutadas en obra (en terreno), ya que se limita a la colocación en obra de elementos de grandes dimensiones “Módulos” prefabricados, provenientes de una fábrica.

Este sistema constructivo innovador se ha incrementado en los últimos tiempos en la mayoría de países de Europa, debido a la disponibilidad de tecnología de materiales livianos y resistentes que estos poseen, además de la ventajas de rapidez en la construcción, adaptables a cualquier clima y reutilizables, lo que permite reducir completamente los residuos en obra, de esta manera se disminuye el impacto ambiental ya que fueron diseñados con la idea de sostenibilidad. Los principales materiales de los sistemas constructivos de módulos tridimensionales son la madera, el hormigón, el acero galvanizado y la combinación de hormigón y acero (sistemas modulares mixtos).

Las fases del ciclo de vida de un sistema constructivo ampliamente industrializado modular son:

- Diseño y planificación del proyecto: En esta fase se realiza un modelo virtual de la estructura de los módulos mediante software de programación, de esta manera se verifica que la estructura soporte las cargas de gravedad y sismo, en caso contrario será reforzada, además se definen todos los detalles constructivos y el cronograma de avance diario en fábrica y en obra.
- Construcción en fábrica: En esta fase se dosifica y fabrica el concreto autocompactante de alta resistencia, así como la armadura que será colocada en los muros y losas de los módulos ( en el caso de módulos mixtos) , también se comprueba las tolerancias dimensionales y el conjunto de especificaciones de los elementos que conforman las uniones entre los módulos.
- Transporte e instalación del módulo en obra: En esta fase los módulos son trasladados, izados con una grúa y ensamblados en obra según el cronograma de avance de obra.
- Uso y mantenimiento del módulo: Es el periodo de servicio de la estructura y durante el cual se gestiona y efectúa un mantenimiento para que no se produzca un desgaste en sus condiciones de servicio.
- Reintegración y reutilización del módulo: Esta es la fase en la que la estructura ya ha cumplido su vida útil y se procede a su reutilización, de esta manera el ciclo de vida del sistema constructivo modular empieza de nuevo.



**Imagen 3.1** Ciclo de vida de un Sistema Constructivo altamente industrializado modular. (Fuente propia)

En el Perú las empresas más representativas de la ingeniería modular son Tecnofast Atco y construcciones Modulares del Grupo RANSA, esta última empresa fabrica contenedores marítimos de acero, y los acondiciona para que puedan ser usados como viviendas provisionales, almacenes, oficinas, etc. mientras la empresa TecnoFast Atco provee soluciones modulares como espacios funcionales (oficinas, baños, edificios de oficinas de hasta 3 pisos, aulas y depósitos) construidos con una subestructura de acero galvanizado la cual es cubierta exteriormente por planchas de de PVC tipo revestimiento vinílico, o bien por revestimientos metálicos, para obras en zonas mineras.

### 3.2 Construcción industrializada de módulos de hormigón

Este sistema constructivo que aun no se usa en el Perú, se basa en la fabricación en planta de módulos vaciados con concreto liviano y autocompactante estructural cuya resistencia varía entre 180 y 250 kg/cm<sup>2</sup>, y densidades en el rango de 800 a 1500 kg/m<sup>3</sup>. Estos módulos incluyen todas las instalaciones eléctricas y sanitarias que serán conectadas mediante redes en obra, las dimensiones de los módulos en su mayoría son de 6 a 12 m de largo, 4m de ancho y 2.3 a 2.5 m de alto (aunque pueden variar según el proyecto), y se emplean como módulos habitacionales para edificios en zonas urbanas, rurales y mineras. El proceso constructivo en planta es el siguiente:

- Producción del módulo de hormigón: Es la zona donde se realizan los trabajos de armaduras, modelado y hormigonado.
- Línea de montaje: Es la zona donde se colocan los módulos de hormigón y se desplazan a lo largo de la nave, a un ritmo de dos por día.
- Control de calidad: Es la zona de control y reparación de errores de los módulos.
- Almacenaje y transporte del módulo: Una vez superado el control de calidad, el módulo completamente equipado se prepara para su acopio y traslado a obra.

El proceso constructivo en obra es el siguiente:

- Cimentación de módulos: La cimentación de módulos tridimensionales puede ser totalmente in situ o con zapatas in situ y semivigas de cimentación prefabricadas las cuales son suspendidas encima de zanjas para construir la parte inferior in situ. En el caso de construir toda la cimentación in situ se colocan pletinas metálicas en la parte superior de las vigas de cimentación en las que se sueldan los conectores o vástagos que las conecten a los módulos.

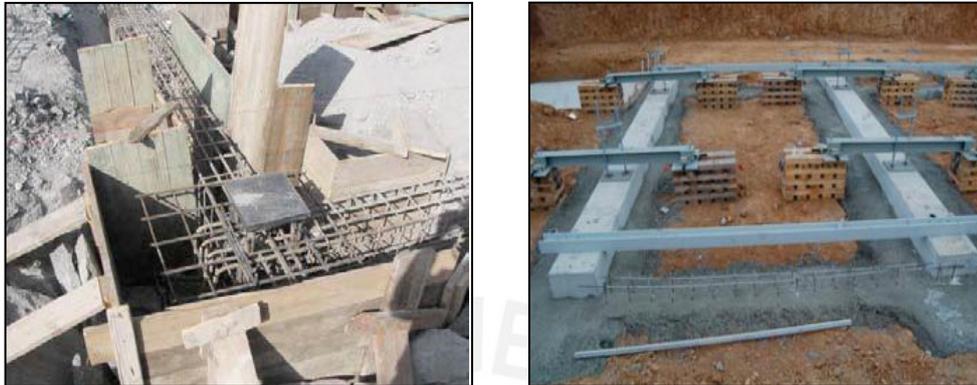
En el segundo caso no se usan las vigas de cimentación totalmente prefabricadas porque son de sección considerables para transportarlas y difíciles de mover, además estas llevan ya colocados de fábrica los elementos de conexión para evitar posibles problemas de desajustes a la hora de apoyar los módulos.

- Izaje y colocación de los módulos: Los módulos se colocan conforme llegan a obra, y se apoyan unos en otros por medio de placas amortiguadoras de acero inoxidable, además se debe verificar que el asentamiento sea correcto sobre los apoyos, así como la unión lateral entre los módulos.
- Empalme de instalaciones eléctricas y sanitarias: Las instalaciones vienen ya puestas en cada módulo, y en obra simplemente se procede a su empalme.
- Ejecución de escaleras u otros elementos contiguos al edificio: La ejecución de estos elementos debe respetar la secuencia de colocación de los módulos de modo que no interfiera en los espacios de manipulación de los módulos.
- Sellado final de las juntas entre módulos comunicados por aberturas: Esta última fase es la más importante porque se sella las juntas en todo el perímetro de las posibles aberturas existentes entre los módulos, de esta manera se protege a los módulos contra el fuego.

Una de las empresas internacionales líderes en prefabricado de módulos tridimensionales de concreto es la empresa española Compact Habit, la cual fabrica módulos de concreto conformados por techos y muros unidireccionales, donde cada tramo vertical está empotrado en la losa superior e inferior. Los materiales que lo conforman son concreto autocompactante de alta resistencia, barras de acero soldable (diámetro de 6-16mm), alambres de acero soldable (diámetro de 5mm), elementos de anclaje, y uniones con cojines de acero inoxidable trizado que forman la capa elástica de los elementos de unión entre módulos. El tamaño máximo del módulo que ofrece esta empresa es de 75 m<sup>2</sup>. El precio de un módulo de concreto es 36000 euros es decir 120744 soles.

Las principales ventajas de un sistema altamente industrializado constructivo tridimensional de concreto son que el hecho de construir con hormigón liviano hace que el aislamiento térmico y acústico esté garantizado sin la necesidad de colocar lana de roca ni otros aislantes, además de sus ventajas medioambientales las cuales están presentes en todo el proceso de fabricación desde la fase de concepción hasta su deconstrucción y posible reutilización en otro proyecto. Las desventajas de este sistema constructivo son la dificultad para transportar los módulos, ya que si la obra se encuentra alejada de la fábrica habrá un costo adicional por su traslado, otra desventaja es que

determinados diseños arquitectónicos no puedan adaptarse fácilmente a un sistema constructivo de módulos y en el caso que si puedan se tendría que construir un gran número de módulos con dichas características arquitectónicas, para que sea rentable el proyecto.



(a)

(b)

**Imagen 3.2** Tipos de cimentación de módulos. a) In situ b) Con vigas de cimentación prefabricadas (Fuente: Cimentaciones prefabricadas para módulos de vivienda 3d)



(a)

(b)



(c)

(d)

**Imagen 3.3** (a) Producción de módulos (b) Línea de montaje de módulos (c) Transporte de módulos (d) Izaje y colocación de módulos Compact Habit

(Fuente: <http://www.compacthabit.com/es/nivells/textambmenu/titular/modul-de-formigo>)

### 3.3 Construcción industrializada de módulos de acero galvanizado

Consiste en un sistema constructivo basado en la fabricación en planta de módulos habitables de acero galvanizado los cuales difieren con los módulos de concreto en que ya no es necesario construir losas de techo pues ya es parte constitutiva del módulo, el precio de un modulo de acero es cercano a 6650 soles.

Su uso es frecuente en países como Holanda, España, Estados Unidos, por ejemplo en España una de las empresas líderes en su fabricación es Modultec S.A, la cual fabrica módulos cuyos pesos varían entre 150 kg/m<sup>2</sup> (en caso se empleen techos ligeros con una base de chapa plegada que recibe un tablero contrachapado), y 300 kg/m<sup>2</sup> (cuando se utilizan techos pesados para una mejor barrera acústica y para disminuir el efecto de vibración). Estos módulos se fabrican con perfiles tubulares y laminados de acero que no suelen exceder los 3 mm de espesor de pared; en los cerramientos verticales interiores y exteriores se suelen emplear paneles de sándwich metálicos de 30 a 50 mm de espesor, y su cubierta está formada por un falso techo de placas de acero lacado sobre el que se dispone un capa de aislamiento térmico, generalmente de lana de vidrio o de roca, en espesores de 40 a 60 mm.

Una vez construido el módulo de acero galvanizado se transporta a obra y se coloca mediante una grúa en el lugar donde será ensamblado mediante vástagos soldados a pletinas metálicas ubicadas en la parte superior de la cimentación (la cimentación se construye in situ), una vez instalados los módulos se procede a conectar las instalaciones eléctricas y sanitarias.

Las principales ventajas de este sistema constructivo ampliamente industrializado son que se reduce el tiempo de construcción en obra, ya que solo se realizan operaciones de cimentación y ensamblaje de los módulos, se minimizan los costos indirectos respecto a la construcción tradicional, así como el peso del módulo ya que el acero galvanizado es más ligero que el concreto, y se eliminan los impactos acústicos, visuales y residuos en obra.



(a)



(b)

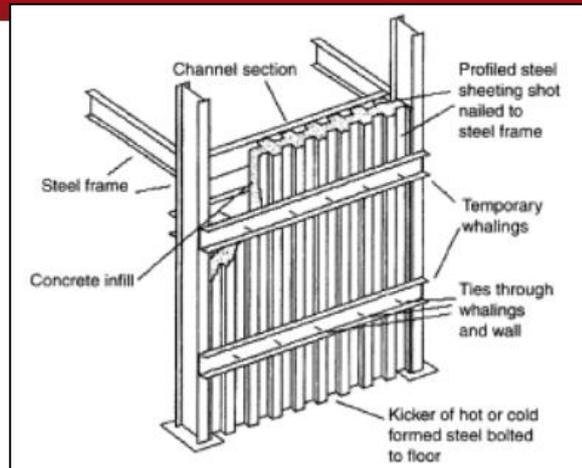
**Imagen 3.4** (a) Construcción en planta de un módulo de acero galvanizado (b) Izaje y colocación en obra de un módulo de acero galvanizado. (Fuente: <http://www.modultec.es/>)

### 3.4 Construcción industrializada de módulos mixtos

Los módulos mixtos consisten en sistemas constructivos combinados, que aprovechan al máximo tanto las propiedades del hormigón como las del acero, de esta manera la estructura adquiere resistencia a la compresión y tracción respectivamente. La construcción de un módulo con esta tipología estructural es muy similar a la empleada en muchas naves industriales, donde se comienza con el armado de la estructura de acero con perfiles laminados en caliente.

Los paneles están conformados por dos chapas grecadas con hormigón en medio, los techos y muros se construyen también como losas, y las instalaciones serán colocadas fuera del panel y no adentro, a diferencia de un sistema modular de acero en donde los perfiles permiten pasar las instalaciones.

Las ventajas de este sistema constructivo ampliamente industrializado son las mismas que los sistemas de módulos de un solo material ya descritos anteriormente pero con una mejor resistencia pues la estructura trabaja a compresión y tracción a la vez, además que su instalación es más rápida.



**Imagen 3.5** Sección de un muro de un módulo mixto.  
 (Fuente: <http://www.nuevosistemamodular.com>)

### 3.5 Contenedores

Este tipo de sistema constructivo, consiste en la habilitación de contenedores de acero marítimos y transformarlos en módulos habitables destinados a solucionar necesidades de espacio en forma inmediata. Las dimensiones de un contenedor son de 6 a 12 m de largo, y de 2.4 m hasta 3 m de ancho y alto.

El proceso de habilitación de un contenedor consiste primero en pulirlo y desinfectarlo, luego se le incorpora capas de aislamiento térmico y acústico a las paredes y techo, así como las conexiones eléctricas y sanitarias, todas las actividades anteriores se realizan en fábrica, mientras que en obra únicamente se construye una solera de hormigón o zapatas de concreto como cimiento para anclar a los contenedores y luego se empalmen las instalaciones.

Actualmente en el Perú los contenedores se usan en campamentos mineros como viviendas provisionales, almacenes, stands para ventas, oficinas provisionales, etc. Las ventajas de este sistema es que son durables e impermeables, de fácil transporte, reutilizables, reubicables, y apilables hasta 7 pisos de altura, sin embargo sus desventajas son que necesitan aislamiento térmico pues el acero es un buen conductor de calor.



**Imagen 3.6** Contenedores apilados para vivienda. (Fuente: <http://rgriboff.blogspot.com/2010/09/casas-construidas-con-contenedores.html>)

<b>Dimensiones</b>	<b>20 Pies</b>	<b>40 Pies</b>	<b>40 Pies H/C</b>
<b>Externas</b>			
Largo	6,06	12,19	12,19
Ancho	2,59	2,59	2,59
Alto	2,44	2,44	2,89
<b>Internas</b>			
Largo	5,90	12,02	12,02
Ancho	2,35	2,35	2,35
Alto	2,39	2,39	2,69
<b>Capacidad Cúbica</b>			
<b>Peso</b>	<b>2.200 Kilos</b>	<b>3.960 Kilos</b>	<b>4.000 Kilos</b>

**Imagen 3.7** Dimensiones de los contenedores. (Fuente: <http://arkiidea.blogspot.com/2009/09/casas-contenedores-o-casas-modulares.html>)

## CAPITULO 4

### PROYECTO DE INDUSTRIALIZACIÓN DE UN SISTEMA CONSTRUCTIVO MODULAR

#### 4.1 Diseño modular

Un proyecto de industrialización consiste en una serie de documentos que nos permiten desarrollar una construcción virtual con la que se conoce como será la edificación antes de iniciar su construcción, cada documento representa una parte importante del proceso de ejecución que se realizará tanto en fábrica como en obra.

Todas las fases de diseño de un proyecto de construcción industrializado deben basarse en el concepto de modulación, es decir en una coordinación modular (dimensional) de todos los componentes que intervienen en este proceso; por ejemplo cuando se emplea paneles prefabricados es necesario diseñar todos los muros dependiendo del lugar donde serán colocados, de tal manera que el ancho de los paneles sea un común divisor de la longitud del muro, ya que cortar los paneles constituiría una pérdida de la eficiencia en obra. Las ventajas de un diseño modular son un uso económico de los materiales (eliminación de mermas), uso eficiente de mano de obra, un proceso constructivo sin retrasos, y un comportamiento estructural adecuado.

AMBIENTES Y CONJUNTOS	EN PLANTA	EN ALTURA
Baños	0.5 MB	23, 24 MB
Cocinas	0.5 MB	23, 24 MB
Sala Comedor	0.5 MB	23, 24 MB
Dormitorios	0.5 MB	23, 24 MB
Escaleras	0.5 MB	----
Puertas	6, 8, 10 MB	21, 24 MB
Ventanas	0.5 MB	2, 3 MB
Closets	0.5 MB	0.5 MB
Reposero bajo	0.5 MB, 6 MB	9 MB
Reposero alto	3 MB	13 MB a 21MB

**Imagen 4.1** Medidas modulares preferentes de la vivienda Peruana.

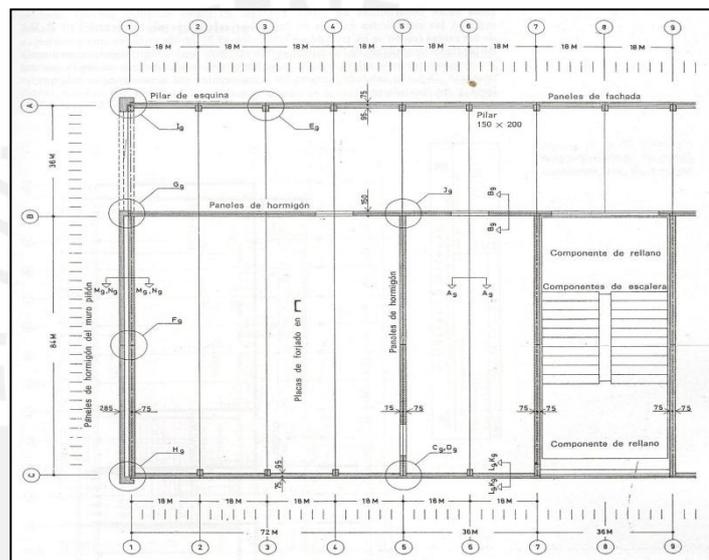
(Fuente :<http://www.motiva.com.pe/Articulos/Evaluacion.pdf>)

Países como Francia, Alemania, Grecia, Italia, Holanda e Inglaterra han propuesto varios métodos para seleccionar los números que se utilizan como base para el dimensionado “MB”, en este sentido la mayoría de estudios plantean que al seleccionar los tamaños para la producción resulta conveniente escoger aquellos tamaños que tienen un divisor común a 10 cm ya que esto proporciona mayor flexibilidad al combinarlos para llenar espacios básicos que obviamente son múltiplos de 10cm o de 4”.

Recientemente el enfoque de la coordinación dimensional ha pasado de ser teoría de apoyo al proyecto a ser una herramienta práctica, es decir de ser una exigencia universal ha evolucionado a ser funcional sectorial donde se pretende impulsar el desarrollo de la construcción con componentes “de módulo medida al módulo objeto”.

#### 4.2 Adaptación y flexibilidad del diseño al sistema constructivo

Es la primera fase de un proyecto de industrialización, en la cual se debe adaptar el proyecto a las exigencias del sistema constructivo, incluso se contempla la posibilidad de variar la arquitectura del edificio, con el único objetivo de estandarizar el proyecto al método constructivo elegido y eliminar costos innecesarios. Se debe realizar una memoria descriptiva de la ejecución en obra, así como la documentación técnica del proyecto de industrialización y un análisis de costos y planos generales de arquitectura estructuras e instalaciones sanitarias y eléctricas.

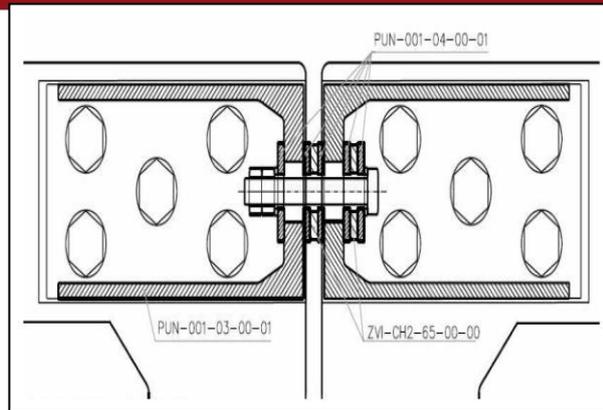


**Imagen 4.2** Ejemplo de modulación y adaptación de diseño a un proyecto,  
Fuente: *Construcción industrializada y Diseño modular* (Henrik Nissen, 1976)

#### 4.3 Diseño de las piezas y de los moldes

A partir de lo que se realizó en la primera fase del proyecto, en esta segunda fase se describe detalladamente todas las piezas que conforman el edificio, cada una está numerada y representada en los planos con las instrucciones detalladas para la fabricación de los componentes así como detalles de los moldes con dimensiones modulares para la fabricación de elementos. En el caso de proyectos con estructuras metálicas, esta parte corresponde a la empresa que dispone de los perfiles, ya que en obra solamente es recibida para atornillar donde convenga y no tener que realizar ningún corte.





**Imagen 4.5** Detalle de unión horizontal entre módulos.  
(Fuente: 20120123 DITE MODULO COMPACT HABIT)

#### 4.5 Ordenes diarias de fabricación, transporte, montaje y acopio

En esta última fase se desarrolla el calendario programado de actividades diarias en los que se presentan los plazos para fabricar los módulos, el día que serán transportados y el orden en el cual serán izados e instalados en obra.

Por ejemplo la empresa modular COMPAC HABIT, basado en el sistema EMII (edificación modular integral industrializada), construyó 89 módulos de concreto liviano del tipo consultorios médicos dentro del proyecto de ampliación del Hospital Josep Trueta en Girona, España. La producción estimada de módulos en fábrica fue de 2 módulos por día, el plazo de la obra fue 3 meses y el acopio de módulos estimada fue de 20 días.

## CAPITULO 5

### MARCO DE APLICACIÓN Y COMPARACION

#### 5.1 Descripción de tres obras de construcción de un nivel

En este capítulo se realizará una comparación comercial, económica y técnica entre tres tipos de sistemas constructivos aplicados en obras de construcción parecidas de un solo nivel, los cuales detallaremos a continuación.

### 5.1.1 Construcción de dos aulas en la Institución educativa 504 en Cañete, Lima

Esta obra consistió en la construcción de dos aulas en la I.E N° 504 en la provincia de Cañete, Lima, cuya área techada es de 117.13 m<sup>2</sup>, el sistema constructivo tradicional que se usó en esta obra fue albañilería confinada.

La cimentación consistió en cimientos corridos y zapatas, el tipo de losa de techo usado fue losa aligerada, las paredes fueron tarrajeadas y pintadas con pintura látex, las puertas son de madera cedro y las ventanas de carpintería metálica. La obra se culminó aproximadamente en 45 días.



**Imagen 5.1** Fotos de la construcción de dos aulas y servicios higiénicos en la I.E 504 en Cañete, Lima. (Fuente: Propia)

### 5.1.2 Construcción de dos aulas prefabricadas en colegio Alfonso Ugarte en Lima

Esta obra consistió en la construcción de cinco aulas prefabricadas en el colegio Alfonso Ugarte en el distrito de Cercado de Lima, Lima. El área total construida de cada aula es 62.82 m<sup>2</sup>, en todas estas se usó un sistema constructivo parcialmente industrializado ligero de acero galvanizado de la empresa Eternit, también llamado “Sistema constructivo en seco Eternit Drywall”.

La estructura se basó en un esqueleto metálico de perfiles de acero galvanizado divididos en parantes y rieles para los muros, y tijerales para el techo. La estructura completa fue anclada sobre una losa de 10 cm de concreto mediante pernos de anclaje y luego fue recubierta por placas de superboard externamente en el caso de los muros, mientras que para el techo se usó una cobertura de

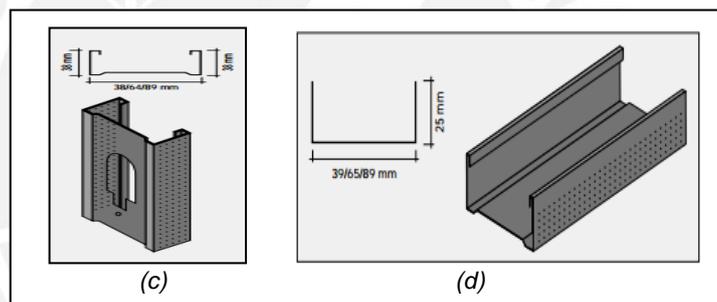
planchas onduladas de fibrocemento. El trabajo de ensamblaje para dos aulas demoró aproximadamente 5 días. El proyecto total duró 15 días.



(a)

(b)

**Imagen 5.2** (a) Plano de planta de dos aulas prefabricadas (b) Vista general de las cinco aulas en el colegio Alfonso Ugarte. (Fuente propia)



(c)

(d)

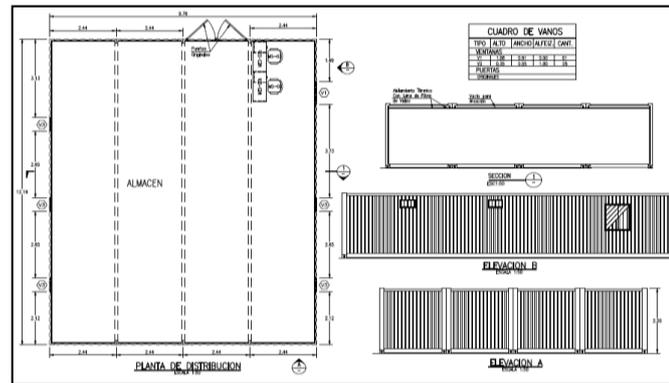
**Imagen 5.3** (a) Dimensiones del perfil de acero galvanizado tipo parante (b) Dimensiones del perfil de acero galvanizado tipo riel. (Fuente: Manual Gyplacc.pdf)

### 5.1.3 Proyecto de módulos tridimensionales para talleres de mantenimiento

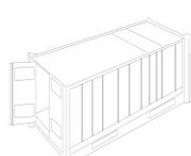
Este proyecto consistió en la adquisición de módulos acondicionados en base a contenedores marítimos de la empresa RANSA para talleres de mantenimiento en el departamento de Cusco. Los módulos fueron fabricados con acero Corten, las dimensiones individuales de cada contenedor son 12.19 m de largo por 2.44m de ancho, como lo muestra la imagen 5.5 (a).

Para la cimentación se construyeron zapatas de 1m<sup>2</sup> y una profundidad de 0.5m. Los módulos se ensamblaron mediante perfiles de caucho tipo T 1/4"x 2"x3" en todas las uniones de los contenedores, además para su habilitación se le agregaron paneles de superboard de 4 mm a los muros y techos que sirvieron como acabado interior y entre la lamina metálica y la lamina del acabado se

instaló un aislante térmico de lana de fibra de vidrio de 90 mm de espesor. Para la cobertura del techo se usó foil de aluminio, laminado con flexilona de polietileno de 300 gr/m<sup>2</sup>. El precio total de los 4 módulos ensamblados fue de 118,746 soles (no incluyó descarga ni manipuleo de los módulos en obra). El transporte, acopio y ensamblaje de módulos duró aproximadamente 8 días.



**Imagen 5.4** Plano de planta de los cuatro módulos tridimensionales del tipo contenedor ensamblados para un almacén (Fuente propia)

STANDARD 40'		CAPACIDAD		
	40' x 8' x 8' x 6'		Volumen	67.7 m <sup>3</sup>
			Peso Máximo de Carga	26,680 kg
			Tara	3,800 kg
			Peso Bruto Máximo	30,480 kg
		DIMENSIONES	INTERNAS	EXTERNAS
		Largo	12,031 mm	12,190 mm
		Ancho	2,352 mm	2,440 mm
		Alto	2,392 mm	2,590 mm
		APERTURA DE TECHO		
		Anchura	2,340 mm	
		Altura	2,280 mm	



(a)

(b)

**Imagen 5.5** (a) Dimensiones de un contenedor Estándar de 40" de la empresa RANSA (b) Vista general de los módulos para talleres de mantenimiento en Cuzco. (Fuente propia)

## 5.2 Métodos de evaluación y comparación

Luego de describir los 3 proyectos en los que se usaron diferentes sistemas constructivos, se muestra en la imagen 5.6 los tipos de evaluación para compararlos, se inició por un estudio comercial mediante una matriz DAFO; luego se evaluó la parte económica mediante un estudio presupuestario por m<sup>2</sup> para cada sistema constructivo aplicado; y para la parte técnica se hizo una comparación ambiental en base al impacto generado por la primera fase del ciclo de vida de una obra de construcción "Extracción de materia prima no

renovable” para cada sistema constructivo usado, y por último se realizó un análisis comparativo de seguridad laboral en obra para cada sistema constructivo en base a matrices de identificación de peligros y evaluación de riesgos IPER.



**Imagen 5.6** Esquema de metodología de evaluación para la comparación de sistemas constructivos (Fuente propia)

### 5.2.1 Evaluación y comparación comercial

Para este análisis comercial se evaluó cada sistema constructivo mediante la matriz FODA, que es una metodología de estudio comercial actual que usan las empresas para determinar la situación competitiva de un producto y las características internas y externas del mismo como fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas. El objetivo de este método de evaluación es encontrar los factores estratégicos críticos de cada sistema constructivo para eliminar sus debilidades y amenazas; y así aprovechar las oportunidades y reforzar sus fortalezas.

- Matriz FODA para un sistema constructivo tradicional de albañilería confinada:

<p><b>DEBILIDADES DEL SISTEMA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mano de obra no capacitada</li> <li>• Desorden y generación de desperdicios en materiales de construcción</li> <li>• Mayores costos por saneamiento, calidad de acabados, retrasos en obra, descoordinación entre ingeniero residente y diseñador estructural, huelgas de los obreros</li> <li>• No existe plan de seguridad, en consecuencia habrán accidentes</li> </ul>	<p><b>AMENAZAS DEL ENTORNO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desacuerdo de los vecinos por la construcción de edificios en zonas residenciales</li> <li>• Probablemente en un futuro, este sistema sea sustituido por no ser sostenible ni flexible ecológicamente</li> </ul>
<p><b>FORTALEZAS DEL SISTEMA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena paga a los obreros</li> <li>• Facilidad de ampliación o modificación del edificio</li> <li>• Gran adaptabilidad arquitectónica</li> <li>• Resistencia estructural</li> <li>• Facilidad de construcción y adquisición de materiales</li> <li>• Variedad de acabados</li> </ul>	<p><b>OPORTUNIDADES DEL ENTORNO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicable a cualquier geografía del Perú</li> <li>• Gran demanda de viviendas en zonas rurales</li> </ul>

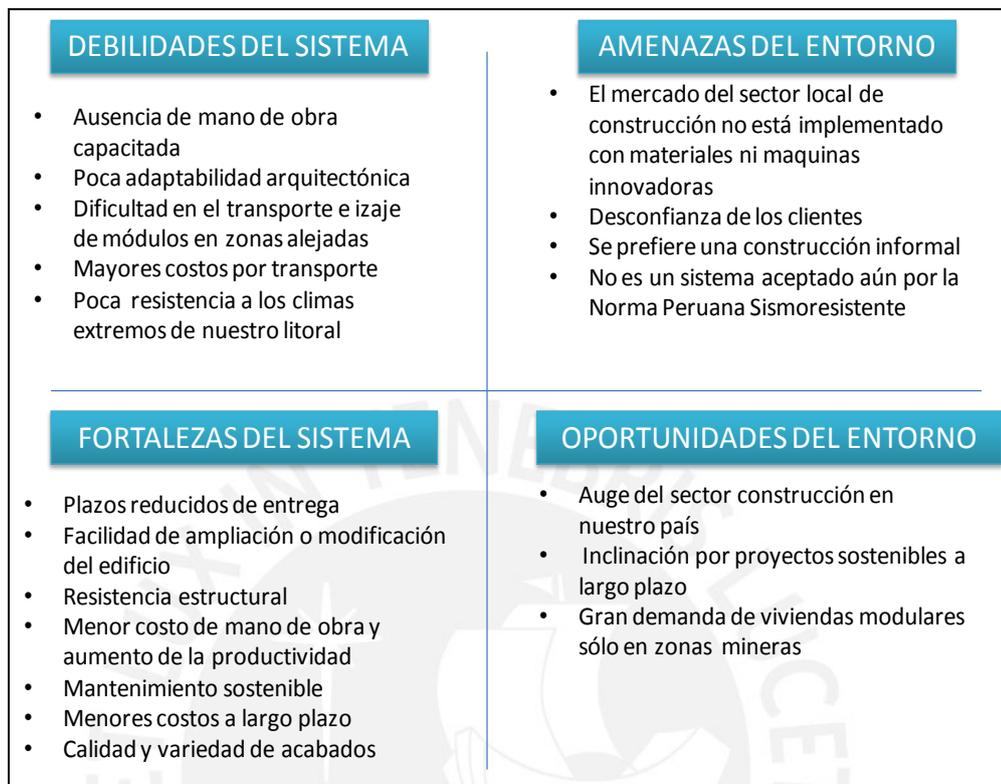
**Imagen 5.7** Matriz FODA para un sistema constructivo tradicional de albañilería confinada (Fuente propia)

- Matriz FODA para un sistema constructivo ligero con acero galvanizado parcialmente industrializado:

<p><b>DEBILIDADES DEL SISTEMA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitación de altura, hasta 3 niveles</li> <li>• Ausencia de mano de obra especializada</li> <li>• Poca resistencia a los climas extremos de nuestro litoral</li> </ul>	<p><b>AMENAZAS DEL ENTORNO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desconfianza de los clientes</li> <li>• Se prefiere una construcción informal</li> </ul>
<p><b>FORTALEZAS DEL SISTEMA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia a la corrosión</li> <li>• Reducción de desperdicios en obra</li> <li>• Resistencia estructural</li> <li>• Gran durabilidad</li> <li>• Eficiencia energética y sostenibilidad</li> <li>• Menores costos constructivos</li> <li>• Excelente comportamiento ante sismos</li> <li>• Reducción de tiempos de construcción</li> </ul>	<p><b>OPORTUNIDADES DEL ENTORNO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auge del sector construcción en nuestro país</li> <li>• Inclinación por proyectos sostenibles a largo plazo</li> <li>• Gran demanda de módulos prefabricados para proyectos menores provisionales como aulas, oficinas, baños, etc.</li> </ul>

**Imagen 5.8** Matriz FODA para un sistema constructivo ligero con acero galvanizado (Fuente propia)

- Matriz FODA para un sistema constructivo tridimensional altamente industrializado de módulos:



**Imagen 5.9** Matriz FODA para un sistema constructivo tridimensional altamente industrializado de módulos (Fuente propia)

### 5.2.2 Evaluación y análisis comparativo Económico

Para esta evaluación se realizó un estudio presupuestario comparativo en base al costo por m<sup>2</sup> de cada partida de los tres proyectos de un solo nivel antes descritos, la evaluación es casi exacta ya que hay similitud en el área construida de estos. En base a los presupuestos de cada obra, se ha dividido los valores de los precios parciales de cada partida entre el área total construida y se ha comparado el costo directo por m<sup>2</sup> de cada uno y también el costo total por m<sup>2</sup> que incluyen los costos indirectos es decir los gastos generales y utilidades.

	Área construida
Construcción de dos aulas en la Institución educativa 504 en Cañete	117.13 m <sup>2</sup>
Construcción de dos aulas prefabricadas en colegio Alfonso Ugarte	125.64 m <sup>2</sup>
Módulos tridimensionales tipo contenedor para talleres de mantenimiento	119 m <sup>2</sup>

**Imagen 5.10** Cuadro de áreas construidas para tres obras de construcción de un solo nivel  
(Fuente propia)

Además se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los gastos generales y utilidades varían según el sistema constructivo, por ejemplo para un sistema constructivo tradicional se consideró los gastos generales como un 10% del costo directo, mientras en un sistema constructivo de módulos tridimensionales de concreto se consideró tan solo un 1% del costo directo.
- El resto de partidas engloba las partidas de arquitectura.
- Se ha considerado que el montaje de módulos equivalen a un 10% del costo de la estructura.
- El presupuesto de la obra de módulos tridimensionales para talleres de mantenimiento no incluye el precio de descarga ni manipuleo de los módulos en obra, movimiento de tierras masivo y local y el mobiliario para cada módulo.

A continuación se muestran los presupuestos de cada obra de construcción que sirvieron para hacer la comparación presupuestaria en base a los costos por m<sup>2</sup>.

- El resumen del presupuesto del proyecto de Construcción de aulas y SSHH en la I.E N° 504 en la provincia de Cañete, Lima es el siguiente:

<b>RESUMEN DE PRESUPUESTO</b>						
OBRA	<b>CONSTRUCCION DE 2 AULAS Y SSHH EN LA IE N°504</b>					
CLIENTE	<b>EMPRESA PARMEDIC SAC</b>					
FECHA	<b>30/11/2011</b>					
DESCRIPCION	ESTRUCTURAS	ARQUITECTURA	IIEE	IISS	TOTAL	
<b>COSTO DIRECTO</b>	S/. 72,967.80	S/. 52,382.95	S/. 5,659.74	S/. 5,465.90	<b>S/. 136,476.4</b>	
<b>GASTOS GENERALES (10%)</b>	S/. 7,296.78	S/. 5,238.30	S/. 565.97	S/. 546.59	<b>S/. 13,647.6</b>	
<b>UTILIDADES (10%)</b>	S/. 7,296.78	S/. 5,238.30	S/. 565.97	S/. 546.59	<b>S/. 13,647.6</b>	
<b>SUBTOTAL</b>	S/. 87,561.35	S/. 62,859.54	S/. 6,791.69	S/. 6,559.08	<b>S/. 163,771.7</b>	
<b>IGV (18%)</b>	S/. 15,761.04	S/. 11,314.72	S/. 1,222.50	S/. 1,180.63	<b>S/. 29,478.9</b>	
<b>TOTAL</b>	S/. 103,322.40	S/. 74,174.26	S/. 8,014.19	S/. 7,739.71	<b>S/. 193,250.56</b>	

*Imagen 5.11* Resumen del presupuesto del proyecto de Construcción de aulas y SSHH en la I.E.P N° 504 en la provincia de Cañete, Lima (Fuente propia)

- El presupuesto para la obra de un aula prefabricada en colegio Alfonso Ugarte en Lima es el siguiente:

<b>PRESUPUESTO</b>					
OBRA	MODULOS DE AULAS PREFABRICADAS ETERNIT	EMPRESA PARMEDIC S.A.C			
ITEM	DESCRIPCION	UND	METRADO	PRECIO	PARCIAL
01	<b>CONCRETO SIMPLE</b>				
01.01	Losa de cimentación e=0.1m	m3	6.28	265.37	1666.52
02	<b>ESTRUCTURAS METALICAS SISTEMA DRYWALL</b>				
02.01	Estructura de drywall paredes norte- sur	m2	39.18	28.11	1101.35
02.02	Estructura de drywall paredes oeste-este	m2	36.78	32.68	1201.97
02.03	Estructura de drywall para el techo ( tijerales)	und	8.00	386.44	3091.52
03	<b>PLACAS SUPERBOARD EN PAREDES</b>				
03.01	Paredes de placa superboard 8mm en exteriores	m2	85.52	24.63	2106.36
03.02	Paredes de placa superboard 8mm en interiores	m2	85.52	24.63	2106.36
04	<b>COBERTURA Y CIELO RASO</b>				
04.01	Cobertura con perfil gran onda	m2	68.41	20.45	1398.98
04.02	Cobertura con cumbrera articulada	m	8.77	28.37	248.80
04.03	Falso cielo raso con placa superboard 6mm en interiores y exteriores	m2	62.82	19.40	1218.71
05	<b>SELLADO DE JUNTAS</b>				
05.01	Sellante Elastomérico en juntas interiores	m	100.00	3.65	365.00
05.02	Sellante Elastomérico en juntas exteriores	m	100.00	4.44	444.00
06	<b>SISTEMA DE VENTILACIÓN</b>				
06.01	Rejilla metálica de ventilación de 0.6mx0.6m	und	2.00	280.74	561.48
07	<b>CARPINTERIA DE MADERA</b>				
07.01	Puerta contraplacada de 1.22mx2.44m incluida cerradura	m2	5.96	183.32	1092.59
08	<b>VIDRIOS CRISTALES Y SIMILARES</b>				
08.01	Ventana de cristal duro de 1.50mx1.50m con espesor e=4mm	und	4.00	273.40	1093.60
09	<b>PINTURA</b>				
09.01	Pintura látex x2 manos en paredes interiores	m2	85.52	5.84	499.44
09.02	Pintura látex x2 manos en paredes exteriores	m2	85.52	5.84	499.44
09.03	Pintura látex x2 manos en cielo raso	m2	62.82	6.30	395.77
10	<b>INSTALACIONES ELÉCTRICAS</b>				
10.01	Salida para tomacorriente bipolar doble	pto	6.00	48.76	292.56
10.02	Salida para centro de luz	pto	6.00	61.65	369.90
10.03	Artefacto fluorescente adosado de 2x40W	und	6.00	70.19	421.14
10.04	Interruptor termomagnético monofásico	pza	1.00	35.36	35.36
	<b>COSTO DIRECTO (S/.)</b>				20210.84
	<b>GASTOS GENERALES (2.5%)</b>				505.27
	<b>UTILIDAD (12.5%)</b>				2526.36
	<b>SUBTOTAL (S/.)</b>				23242.47
	<b>IGV (18%)</b>				4183.64
	<b>TOTAL PRESUPUESTO (S/.)</b>				27426.11

- El presupuesto para la obra de módulos tridimensionales para talleres de mantenimiento es el siguiente:

<b>PRESUPUESTO</b>					
OBRA	MODULOS EN BASE A CONTENEDORES MARÍTIMOS PARA TALLERES DE MANTENIMIENTO				
CLIENTE	STRACON GYM				
ITEM	DESCRIPCION	UND	METRADO	PRECIO	PARCIAL
01	<b>DADOS DE CONCRETO</b>				
01.01	Zapata de concreto 1.0m x1.0m H=0.5m	und	10.00	616	6,160.00
01.02	Solado e=0.05m	und	10.00	28	280.00
02	<b>ESTRUCTURA DEL CONTENEDOR</b>				
02.01	04 módulos de 40 pies tipo B un nivel	und	1.00	118,746.00	118,746.00
02.02	Cobertura con estructura metálica a dos aguas con lona A=119 m2	und	1.00	17,969.00	17,969.00
03	<b>MONTAJE</b>				
03.01	Mano de obra para el montaje	und	1.00	11,874.60	11,874.60
04	<b>GRÚA PARA MONTAJE</b>				
04.01	Grúa de 16 ton	días	8.00	5,937.30	5,937.30
<b>COSTO DIRECTO (S/.)</b>					160,966.90
<b>GASTOS GENERALES (1%)</b>					1,609.67
<b>UTILIDAD (0.1%)</b>					160.97
<b>SUBTOTAL (S/.)</b>					162,737.54
<b>IGV (18%)</b>					29,292.76
<b>TOTAL PRESUPUESTO (S/.)</b>					192,030.29

Entonces la comparación presupuestaria en base a los costos por m2 es:

PARTIDAS	SISTEMA TRADICIONAL		SISTEMA LIGERO CON ACERO GALVANIZADO ( ETERNIT S.A)		SISTEMA MODULAR ALTAMENTE INDUSTRIALIZADO DE CONTENEDORES RANSA	
	Área construida = 117 m2		Área construida = 125 m2		Área construida = 119 m2	
	Costo total	Costo (soles/m2)	Costo total	Costo (soles/m2)	Costo total	Costo (soles/m2)
Movimiento de tierras	S/. 10,195.98	S/. 87.05				
Cimentación	S/. 13,272.73	S/. 113.32	S/. 3,333.04	S/. 26.53	S/. 6,440.00	S/. 54.12
Estructura	S/. 86,122.08	S/. 735.27	S/. 10,789.68	S/. 85.88	S/. 118,746.00	S/. 997.87
Cerramientos y cobertura de techo	S/. 7,729.01	S/. 65.99	S/. 14,158.42	S/. 112.69	S/. 17,969.00	S/. 151.00
Instalaciones eléctricas	S/. 5,659.74	S/. 48.32	S/. 2,237.92	S/. 17.81		
Montaje de módulos					S/. 11,874.60	S/. 99.79
Grúa de 60 ton para montaje de módulos					S/. 5,937.30	S/. 49.89
Resto de partidas	S/. 8,030.96	S/. 68.56	S/. 9,902.63	S/. 78.82		
Total Costo Directo	S/. 131,010.50	S/. 1,118.51	S/. 40,421.69	S/. 321.73	S/. 160,966.90	S/. 1,352.66
Gastos Generales	S/. 19,651.58	S/. 167.78	S/. 1,010.54	S/. 8.04	S/. 1,609.67	S/. 13.53
Utilidades	S/. 6,550.53	S/. 55.93	S/. 4,042.17	S/. 32.17	S/. 160.97	S/. 1.35
Subtotal	S/. 157,212.60	S/. 1,342.21	S/. 45,474.40	S/. 361.94	S/. 162,737.54	S/. 1,367.54
IGV ( 18%)	S/. 28,298.27	S/. 241.60	S/. 8,185.39	S/. 65.15	S/. 29,292.76	S/. 246.16
Total	S/. 185,510.87	S/. 1,583.80	S/. 53,659.79	S/. 427.09	S/. 192,030.29	S/. 1,613.70

Imagen 5.12 Comparación presupuestaria en base a los costos por m2 para un proyecto de un solo piso (Fuente propia)

Si se compara los tres tipos de sistemas constructivos, se demuestra que el proyecto que tiene una mayor inversión inicial es el sistema constructivo altamente industrializado de módulos tipo contenedor de la empresa RANSA (S/.1352.66 por m<sup>2</sup>), el segundo lugar lo ocupa el sistema tradicional (S/.1118.51 por m<sup>2</sup>) por lo que el sistema constructivo más conveniente es el sistema constructivo ligero con acero galvanizado seco de la empresa Eternit (S/. 321.73 por m<sup>2</sup>).

Se puede agregar también que el costo de un proyecto que use un sistema altamente industrializado modular (módulos tridimensionales hechos en fábrica) viene definido por cuatro variantes:

- El número de módulos fabricados por pedido.
- Las medidas de los módulos.
- El equipamiento y la memoria de calidades.
- La distancia de transporte entre el centro de producción y el emplazamiento del edificio.

### 5.2.3 Evaluación y comparación técnica

#### 5.2.3.1 Análisis Comparativo Ambiental

Para esta evaluación se realiza un estudio ambiental comparativo en base al ciclo de vida de una obra de construcción, la cual se divide en 5 fases:

- Extracción y fabricación de materiales
- Transporte de materiales a obra o fábrica
- Construcción ( en fábrica o en obra dependiendo del sistema constructivo)
- Uso y mantenimiento ( anual )
- Demolición

Por razones de falta de datos para las demás fases solo se realizó un análisis de impacto ambiental para la primera fase del ciclo de vida de los proyectos descritos anteriormente, es decir solamente se analizó el impacto ambiental originado por la “**extracción de materia prima no renovable**” del tipo orgánicos, pétreos, y metálicos para la fabricación de materiales de construcción,

mediante el uso de los indicadores ambientales de peso ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ), energía ( $\text{MJ}/\text{Kg}$ ) y emisiones de dióxido de carbono ( $\text{gCO}_2/\text{Kg}$ ) presentados en la **Tabla de Hegger**, cuyos resultados permiten saber las cantidades de peso ( $\text{Kg}$ ), energía ( $\text{MJ}$ ) y emisiones de dióxido de carbono ( $\text{Kg CO}_2$ ) por  $\text{m}^2$ .

Por ejemplo para calcular el peso ( $\text{Kg}$ ), energía ( $\text{MJ}$ ) y emisiones de dióxido de carbono ( $\text{Kg CO}_2$ ) por  $\text{m}^2$  originados por la extracción de concreto para la construcción de la estructura vertical de dos aulas en la Institución educativa 504 en Cañete, primero se revisó el metrado mostrado en el Anexo 1 y se halló la cantidad de hormigón usado para todos los elementos estructurales verticales como cimientos, sobrecimientos, zapatas y columnas; una vez hallada dicha cantidad, se procedió a multiplicarla por los indicadores de la tabla de Hegger y luego dividirla entre el área total construida de la obra ( $117.13 \text{ m}^2$ ), de esta manera se cuantificó el impacto ambiental generado por la extracción del hormigón por  $\text{m}^2$ .

En resumen se realizaron las siguientes operaciones:

*Peso de extracción del concreto para la estructura vertical :*

$$41.34 \text{ m}^3 * 2340 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{1}{117.13 \text{ m}^2} = 825.88 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

*Energía por extracción del concreto para la estructural vertical:*

$$41.34 \text{ m}^3 * 2340 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.66 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}} * \frac{1 \text{ Kg}}{117.13 \text{ m}^2} = 545.1 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$$

*Emisiones por extracción del concreto para la estructura vertical :*

$$41.34 \text{ m}^3 * 2340 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 107 \frac{\text{gCO}_2}{\text{kg}} * \frac{1 \text{ kg}}{117.13 \text{ m}^2 * 1000 \text{ g}} = 88.37 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{m}^2}$$

El mismo procedimiento anterior se realizó para todos los materiales no renovables que forman parte de las principales partidas de cada obra en la que se usó los sistemas constructivos ya descritos anteriormente.

FAMILIA	MATERIAL	DENSIDAD	ENERGIA	EMISIONES
orgánicos	tablero contraxapado conífera	430 Kg/m <sup>3</sup>	5,96 MJ/Kg	0 g CO <sub>2</sub> /Kg
	tablero MDF	725 Kg/m <sup>3</sup>	13,5 MJ/Kg	0 g CO <sub>2</sub> /Kg
	escuadria conífera	450 Kg/m <sup>3</sup>	1,3 MJ/Kg	0 g CO <sub>2</sub> /Kg
	semisólido pino FSC	450 Kg/m <sup>3</sup>	1,35 MJ/Kg	0 g CO <sub>2</sub> /Kg
	parquet flotante	430 Kg/m <sup>3</sup>	6,1 MJ/Kg	0 g CO <sub>2</sub> /Kg
pétreos	hormigón	2340 Kg/m <sup>3</sup>	0,66 MJ/Kg	107 g CO <sub>2</sub> /Kg
	hormigón ligero	1500 Kg/m <sup>3</sup>	0,66 MJ/Kg	107 g CO <sub>2</sub> /Kg
	bovedilla cerámica	750 Kg/m <sup>3</sup>	2,22 MJ/Kg	140 g CO <sub>2</sub> /Kg
	arena de río	1600 Kg/m <sup>3</sup>	1,64 MJ/Kg	101 g CO <sub>2</sub> /Kg
	baldosa de grés	2000 Kg/m <sup>3</sup>	3,58 MJ/Kg	571 g CO <sub>2</sub> /Kg
	placa de yeso	850 Kg/m <sup>3</sup>	3,12 MJ/Kg	176,5 g CO <sub>2</sub> /Kg
	mortero hidráulico	2250 Kg/m <sup>3</sup>	0,96 MJ/Kg	173 g CO <sub>2</sub> /Kg
	mortero de cemento	1900 Kg/m <sup>3</sup>	1,13 MJ/Kg	204 g CO <sub>2</sub> /Kg
	revestimiento pétreo	2250 Kg/m <sup>3</sup>	0,96 MJ/Kg	173 g CO <sub>2</sub> /Kg
	ladrillo macizo (12x25x7)	1600 Kg/m <sup>3</sup>	2,5 MJ/Kg	175 g CO <sub>2</sub> /Kg
	ladrillo hueco (12x25x7)	750 Kg/m <sup>3</sup>	2,22 MJ/Kg	140 g CO <sub>2</sub> /Kg
	ladrillo hueco doble	750 Kg/m <sup>3</sup>	2,22 MJ/Kg	140 g CO <sub>2</sub> /Kg
	ladrillo hueco sencillo	750 Kg/m <sup>3</sup>	2,22 MJ/Kg	140 g CO <sub>2</sub> /Kg
	azulejo cerámica esmaltada	2000 Kg/m <sup>3</sup>	3,58 MJ/Kg	571 g CO <sub>2</sub> /Kg
	yeso	1300 Kg/m <sup>3</sup>	1,13 MJ/Kg	136 g CO <sub>2</sub> /Kg
	cartón yeso	1300 Kg/m <sup>3</sup>	1,13 MJ/Kg	136 g CO <sub>2</sub> /Kg
	lana de roca	70 Kg/m <sup>3</sup>	14 MJ/Kg	80 g CO <sub>2</sub> /Kg
vidrio	2490 Kg/m <sup>3</sup>	8 MJ/Kg	569 g CO <sub>2</sub> /Kg	
metálicos	acero 1ª fusión	7850 Kg/m <sup>3</sup>	24 MJ/Kg	1700 g CO <sub>2</sub> /Kg
	acero 2ª fusión (85%)	7850 Kg/m <sup>3</sup>	11 MJ/Kg	930 g CO <sub>2</sub> /Kg
	malla electrosoldada 1ª fusión	7850 Kg/m <sup>3</sup>	24 MJ/Kg	1700 g CO <sub>2</sub> /Kg
	chapa de acero 1ª fusión	7850 Kg/m <sup>3</sup>	24 MJ/Kg	1700 g CO <sub>2</sub> /Kg
	acero galvanizado 1ª fusión	7850 Kg/m <sup>3</sup>	24 MJ/Kg	1700 g CO <sub>2</sub> /Kg
	perfil de acero 1ª fusión	7850 Kg/m <sup>3</sup>	24 MJ/Kg	1700 g CO <sub>2</sub> /Kg
	aluminio 1ª fusión	2700 Kg/m <sup>3</sup>	271 MJ/Kg	22000 g CO <sub>2</sub> /Kg
	aluminio 2ª fusión (50%)	2700 Kg/m <sup>3</sup>	182 MJ/Kg	14.000 g CO <sub>2</sub> /Kg
materiales de síntesis	poliestireno expandido	15 Kg/m <sup>3</sup>	115 MJ/Kg	468 g CO <sub>2</sub> /Kg
	poliestireno extrusionado	25 Kg/m <sup>3</sup>	162 MJ/Kg	840 g CO <sub>2</sub> /Kg
	pintura paramento interior	-	27*11 MJ/m <sup>2</sup>	4 g CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
	imprimación asfáltica	1100 Kg/m <sup>3</sup>	5 MJ/Kg	489 g CO <sub>2</sub> /Kg
	betún elastomérico	1100 Kg/m <sup>3</sup>	5 MJ/Kg	489 g CO <sub>2</sub> /Kg
	geotextil de poliester	910 Kg/m <sup>3</sup>	75 MJ/Kg	1820 g CO <sub>2</sub> /Kg

**Imagen 5.13** Lista de Indicadores de Impacto ambiental,  
Construction Material Manual. ( Hegger, Ed Birkhausser,2007)

Los siguientes cuadros nos muestran las cantidades de peso (Kg), energía (MJ) y emisiones de dióxido de carbono (Kg CO<sub>2</sub>) por m<sup>2</sup> generado por la extracción de material no renovable usado en los tres sistemas constructivos ya descritos anteriormente.

Sistema Constructivo Tradicional	Area de construcción= 117.13m <sup>2</sup>		IMPACTO AMBIENTAL							
			Und	Metrado	Densidad ( Kg/m <sup>3</sup> )	Energía ( MJ/Kg)	Emisiones ( gCO <sub>2</sub> / Kg)	Peso ( kg/m <sup>2</sup> )	Energía (MJ/m <sup>2</sup> )	Emisiones ( kgCO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> )
Partidas	Estructura vertical	Concreto Vertical	m <sup>3</sup>	41.34	2340	0.66	107	825.88	545.08	88.37
		Acero Vertical	kg	2062	7850	24	1700	17.43	422.50	29.62
	Estructura horizontal	Concreto Horizontal	m <sup>3</sup>	19.66	2340	0.66	107	392.76	259.22	42.03
		Acero Horizontal	kg	1605.35	7850	24	1700	13.47	328.94	22.90
	Tabiquería exterior e interior		m <sup>2</sup>	341.26	750	2.22	140	220.8	490.18	30.91
	Carpintería de madera		m <sup>2</sup>	14.57	725	13.5	0	0.90184	12.17	0.00
	Carpintería metálica		m <sup>2</sup>	32	7850	24	1700	42.89	1029.42	72.92
	Pavimento y losa de techo	Concreto	m <sup>3</sup>	34.77	2340	0.66	107	694.63	458.45	74.33
		Acero	kg	2638.32	7850	24	1700	22.18	532.25	37.70
		Ladrillo bovedilla para techo aligerado	und	820	750	2.22	140	63.00	139.86	8.82
Vidrios semidobles incoloros y crudos		p <sup>2</sup>	351.85	2490	8	569	3.48	27.82	1.98	
<b>TOTAL</b>							2297.42	4245.91	409.57	

**Imagen 5.14** Cuadro de pesos, energía y emisiones de CO<sub>2</sub> por extracción y fabricación de materiales no renovables para la construcción de dos aulas en la Institución educativa 504 en Cañete, Lima (Fuente Propia)

		IMPACTO AMBIENTAL							
Sistema Constructivo Parcialmente industrializado en seco de acero galvanizado Eternit	Área de construcción= 125.64 m <sup>2</sup>	Und.	Metrado	Densidad ( Kg/m <sup>3</sup> )	Energía ( MJ/Kg)	Emisiones ( gCO <sub>2</sub> / Kg)	Peso ( kg/m <sup>2</sup> )	Energía (MJ/m <sup>2</sup> )	Emisiones ( kgCO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> )
		Partidas	Losa de cimentación	m <sup>3</sup>	12.56	2340	0.66	107	233.93
Estructura metálica vertical de perfiles de acero galvanizado	m <sup>2</sup>		151.92	7850	24	1700	94.92	2278.07	161.36
Estructura metálica horizontal , tijerales de acero galvanizado	und		8	7850	24	1700	78.50	1884.00	133.45
Falso cielo raso con placa superboard 6mm en interiores y exteriores	m <sup>2</sup>		125.64	850	3.12	176.5	5.10	15.91	0.90
Vidrios cristales y similares	m <sup>2</sup>		39.27	2490	8	569	3.89	31.13	2.21
<b>TOTAL</b>							416.34	4363.51	322.96

*Imagen 5.15 Cuadro de pesos, energía y emisiones de CO<sub>2</sub> por extracción y fabricación de materiales no renovables para la construcción de dos aulas prefabricadas en colegio Alfonso Ugarte. (Fuente propia)*

		IMPACTO AMBIENTAL								
		Und.	Metrado	Densidad ( Kg/m3)	Energía ( MJ/Kg)	Emisiones ( gCO2/ Kg)	Peso ( kg/m2)	Energía (MJ/m2)	Emisiones ( kgCO2/ m2)	
Sistema Constructivo altamente industrializado de módulos de la empresa RANSA	Área de construcción= 119 m2									
	Partidas	Zapatas de cimentación	m3	5	2340	0.66	107	98.32	64.89	10.52
		Estructura de acero del contenedor de 12.19 m x9.76m e=8mm	m2	2.36	7850	24	1700	155.68	3736.336	264.66
		Aislamiento térmico con poliestireno expandido de 1 1/2 "	m2	7.0336	15	115	468	0.89	101.96	0.41
		Vidrios monolíticos incoloros e=4mm	m2	1.94	2490	8	569	0.16	1.30	0.09
		Puertas exteriores metálicas de 0.9 x 2 m	und	2	7850	24	1700	2.37	56.99	4.04
		Pisos de placa de triplay D/Primera Lupuna	m2	119	725	13.5	0	18.13	244.69	0.00
<b>TOTAL</b>								275.55	4206.17	279.72

*Imagen 5.16 Cuadro de pesos, energía y emisiones de CO<sub>2</sub> por extracción y fabricación de materiales no renovables para la obra de módulos tridimensionales para talleres de mantenimiento (Fuente propia)*

### .5.2.3.2 Análisis comparativo en base a la seguridad laboral

La seguridad en obra es muy importante ya que tiene como objetivo la aplicación de medidas necesarias para controlar y prevenir accidentes durante las distintas etapas de construcción, por eso se exige que cada obra de construcción deba tener un plan de riesgos de seguridad laboral y salud que planifique acciones preventivas y evalúe los riesgos teniendo en cuenta las condiciones de trabajo del personal (lugar, instalaciones, equipos, procedimientos, productos).

Para este análisis comparativo se han usado matrices de identificación de peligros y evaluación de riesgos (IPER) para conocer y comparar los niveles de seguridad en cada sistema constructivo aplicado a un proyecto mediante puntajes asignados

		MAGNITUD DEL RIESGO SEGUN SU PROBABILIDAD Y CONSECUENCIAS		
		CONSECUENCIAS		
		Ligeramente Dañino	Dañino	Extremadamente Dañino
PROBABILIDAD	Baja	1	2	3
	Media	2	4	6
	Alta	3	6	9

*Imagen 5.17* Matriz IPER de magnitud de riesgos según su probabilidad y consecuencias

NIVEL DE PROBABILIDAD (NP)	
<b>BAJA (1)</b>	El daño ocurre raras veces
<b>MEDIA (2)</b>	El daño ocurre en algunas ocasiones
<b>ALTA (3)</b>	El daño ocurre siempre o casi siempre

*Imagen 5.18* Tabla IPER de nivel de probabilidad

NIVEL DE CONSECUENCIAS (NC)	
<b>Ligeramente Dañino</b> (1)	Lesión sin incapacidad Molestias e incomodidad
<b>Dañino</b> (2)	Lesión con incapacidad temporal Daño a la salud reversible
<b>Extremadamente Dañino</b> (3)	Lesión con incapacidad permanente Daño a la salud irreversible

*Imagen 5.19* Tabla IPER de nivel de consecuencias

CLASIFICACION DEL RIESGO SEGUN SU MAGNITUD		
MAGNITUD	RIESGOS	CONTROL
1	No es significativo	Tolerable
2	Bajo	Tolerable
3	Moderado	Control de riesgo
4	Medio	Control de riesgo
6	Alto	Control de riesgo
9	Muy alto	Control de riesgo

*Imagen 5.20* Tabla de clasificación de riesgos según su magnitud

Mediante estas matrices IPER, se desarrolló el siguiente cuadro comparativo en base a puntajes de magnitud de riesgos según probabilidad y consecuencias de las partidas más importantes entre diferentes sistemas constructivos aplicados a una obra de construcción.

			Sistema Constructivo tradicional			Sistemas constructivos Industrializados Modulares de Acero y concreto			Sistema Constructivo Industrializado Liger de Acero Galvanizado			
			Consecuencias			Consecuencias			Consecuencias			
			Ligeramente Dañino	Dañino	Extremadamente Dañino	Ligeramente Dañino	Dañino	Extremadamente Dañino	Ligeramente Dañino	Dañino	Extremadamente Dañino	
Movimiento de tierras	Derrumbes	Probabilidad	Baja	1	2	3	1	2	<b>3</b>	1	2	<b>3</b>
			Media	2	4	6	2	4	<b>6</b>	2	4	6
			Alta	3	6	<b>9</b>	3	6	9	3	6	9
	Cortes y golpes	Probabilidad	Baja	1	2	3	<b>1</b>	2	3	1	2	3
			Media	2	4	6	2	<b>4</b>	6	2	<b>4</b>	6
			Alta	3	<b>6</b>	9	3	6	9	3	6	9
	Inhalación de sustancias tóxicas	Probabilidad	Baja	1	<b>2</b>	<b>3</b>	1	<b>2</b>	3	1	<b>2</b>	3
			Media	2	4	6	2	4	6	2	4	6
			Alta	3	6	9	3	6	9	3	6	9
	Contacto con energía eléctrica	Probabilidad	Baja	1	2	3	1	<b>2</b>	3	1	<b>2</b>	3
			Media	2	4	6	2	<b>4</b>	6	2	<b>4</b>	6
			Alta	3	<b>6</b>	9	3	6	9	3	6	9

Estructura y cubierta	Ruido	Probabilidad	Baja	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
			Media	2	4	6	2	4	6	2	4	6	
			Alta	3	6	9	3	6	9	3	6	9	
	Cortes y golpes	Probabilidad	Baja	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
			Media	2	4	6	2	4	6	2	4	6	
			Alta	3	6	9	3	6	9	3	6	9	
	Sobreesfuerzos	Probabilidad	Baja	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
			Media	2	4	6	2	4	6	2	4	6	
			Alta	3	6	9	3	6	9	3	6	9	
	Caída de objetos	Probabilidad	Baja	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
			Media	2	4	6	2	4	6	2	4	6	
			Alta	3	6	9	3	6	9	3	6	9	
	Caídas a desnivel	Probabilidad	Baja	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
			Media	2	4	6	2	4	6	2	4	6	
			Alta	3	6	9	3	6	9	3	6	9	
	Instalaciones eléctricas y sanitarias	Contacto con energía eléctrica	Probabilidad	Baja	1	2	3	1	2	3	1	2	3
				Media	2	4	6	2	4	6	2	4	6
				Alta	3	6	9	3	6	9	3	6	9
Cortes y golpes		Probabilidad	Baja	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
			Media	2	4	6	2	4	6	2	4	6	
			Alta	3	6	9	3	6	9	3	6	9	
PUNTAJE TOTAL				<b>52</b>			<b>22</b>			<b>36</b>			

*Imagen 5.21* Tabla comparativa de puntajes de magnitud de riesgos según probabilidad y consecuencias de las partidas más importantes entre diferentes sistemas constructivos aplicados a una obra de construcción

Según la tabla comparativa mostrada en base a puntajes de magnitud de riesgos para las principales partidas en diferentes sistemas constructivos aplicados en un proyecto, los sistemas constructivos industrializados modulares de concreto y acero suman el menor puntaje con 22 puntos de magnitud de riesgo en una obra, el segundo sistema constructivo más seguro es el sistema constructivo Industrializado ligero de acero galvanizado con 36 puntos , por lo que se confirma que un sistema constructivo tradicional es el más riesgoso con un puntaje de 52 puntos.

Por ejemplo para la partida de movimiento de tierras, en un sistema constructivo tradicional es altamente probable y dañino que ocurran derrumbes y deslizamientos por la inexperiencia de los obreros en excavación de las cimentaciones (puntaje 9), además del gran riesgo de estos con el contacto con instalaciones eléctricas (puntaje 6) e inhalación de sustancias tóxicas (puntaje 2), en el caso de un sistema constructivo industrializado ligero de acero galvanizado las partidas de movimientos de tierra se resumen en la excavación para una losa de cimentación por lo que las probabilidades y daños por derrumbes ( puntaje 3) , cortes y golpes (puntaje 4) , contacto con instalaciones eléctricas ( puntaje 4) e inhalación de sustancias tóxicas (puntaje 2) disminuyen, finalmente para el caso de sistemas constructivos industrializados modulares de acero y concreto los trabajos de excavación para los cimientos corridos y vigas de cimentación se realizan con maquinaria y mano de obra especializada, bajo un estricto control y requisitos de seguridad que reducen notablemente los accidentes en obra como derrumbes y deslizamientos (puntaje 3), cortes y golpes ( puntaje 1), inhalación de sustancias tóxicas ( puntaje 2) y contacto con energía eléctrica ( puntaje 2).

De la misma forma se les ha asignado un puntaje de magnitud de riesgo a las demás partidas en base a mi experiencia en obra y en consulta con ingenieros que trabajan en empresas extranjeras donde se aplican los sistemas constructivos modulares altamente industrializados.

## CAPITULO 6

### RESULTADOS

#### 6.1 Aspectos comerciales

Si se compara los tres tipos de sistema constructivos y se tiene en cuenta al cliente y al entorno, se concluye que se prefiere un sistema constructivo tradicional (albañilería confinada) por la desconfianza de los clientes en nuevos sistemas constructivos innovadores, además porque el mercado peruano no se encuentra implementado con una adecuada tecnología de materiales y maquinaria que permita la aplicación de estos sistemas; por otro lado cabe resaltar que a diferencia de un sistema tradicional, cualquiera de los dos sistemas industrializados alternativos tienen como principales fortalezas un menor costo a largo plazo y una gran sostenibilidad en el aspecto ambiental, lo que las convierte en las alternativas constructivas fiables que protegen el medio ambiente.

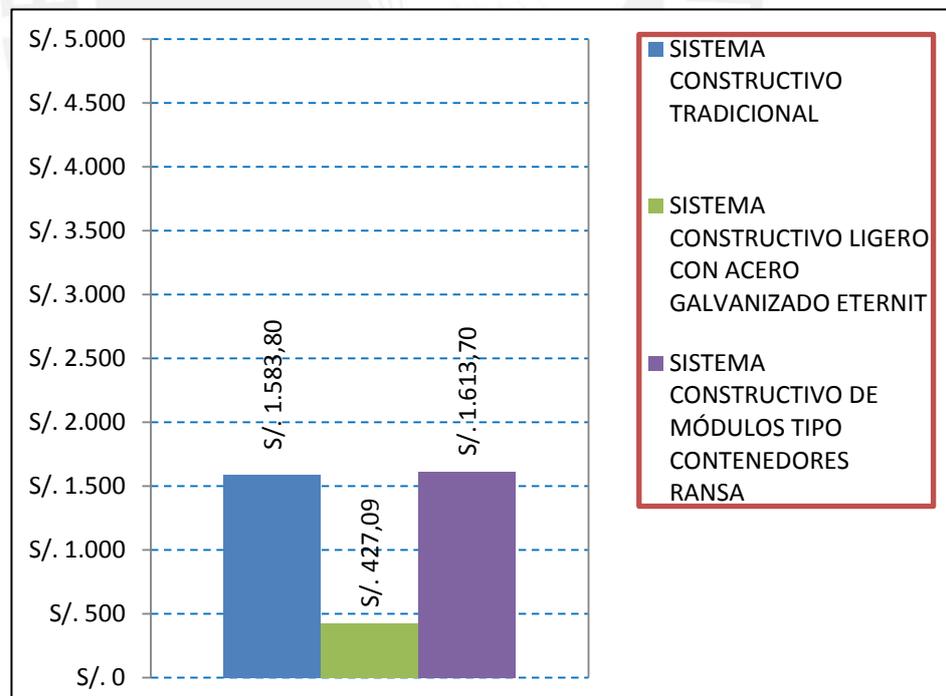
Si se examina internamente los tres tipos de sistema (debilidades y fortalezas), se concluye que a pesar de las grandes fortalezas de los dos sistemas industrializados alternativos, sólo podrá ser rentable construir edificios modulares y ligeros cuando exista una mayor repetitividad de proyectos, y que las empresas constructoras peruanas se arriesguen a una mayor inversión inicial en su fabricación, lo que a largo plazo retribuirá su costo inicial mediante las ventajas que ofrece cada uno de estos, como son la durabilidad, resistencia estructural, menor costo de mano de obra, reducción de tiempo de actividades, etc.

Por lo tanto las posibilidades de competitividad de un sistema altamente industrializado modular en el mercado peruano en comparación con un sistema tradicional, son factibles mientras exista una producción exhaustiva de los elementos de este sistema para lo cual debe haber apoyo por parte del ministerio de vivienda y construcción para que incentive la aplicación de este sistema y sea normalizado no sólo como sistema provisional en minas sino también como un sistema constructivo fijo para la construcción de estructuras importantes en zonas urbanas, como viviendas unifamiliares, aulas de colegios, edificios universitarios, postas médicas, almacenes, laboratorios etc. En el caso

de un sistema constructivo parcialmente industrializado ligero con acero galvanizado, las posibilidades de competitividad son altas pues el precio de adquisición de este sistema constructivo es menor al de un sistema tradicional lo que lo convierte en una alternativa muy interesante.

## 6.2 Aspectos económicos

Según el análisis comparativo presupuestario entre sistemas constructivos para proyectos de un solo nivel, el costo total (incluyendo costos indirectos) por  $m^2$  S/. 1613.70 del uso de un sistema constructivo de módulos tridimensionales del tipo contenedor de la empresa Ransa es parecido al costo total por  $m^2$  de la aplicación de un sistema constructivo convencional S/.1583.80 por lo tanto se demuestra que a pesar de su gran costo inicial, este sistema es rentable a largo plazo. Mientras que un sistema constructivo ligero de acero galvanizado tendrá el menor costo total S/. 427 convirtiéndose así en la mejor opción económica. El siguiente cuadro comparativo detalla mejor las diferencias en costos totales por  $m^2$  que incluyen costos indirectos de cada sistema constructivo:



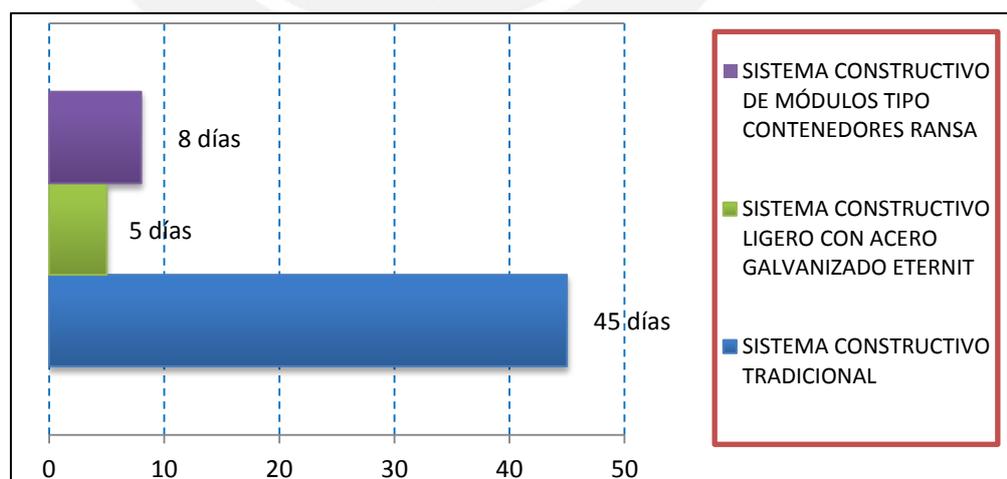
**Imagen 6.1** Cuadro Comparativo Presupuestario en base al costo total por  $m^2$  para tres sistemas constructivos aplicados en obras con áreas construidas similares (Fuente propia)

Basándonos en este estudio se puede afirmar también que acorde a la situación actual de sobrepoblación urbana en el Perú, construir con un sistema industrializado ligero de acero galvanizado y de módulos tridimensionales es totalmente viable para proyectos de viviendas multifamiliares en zonas rurales y urbanas, siempre y cuando se cumpla la condición de la reducción de precio de venta por m<sup>2</sup>, así como una mayor producción industrial de estos.

Otro aspecto económico, es la importante reducción de la cimentación en los sistemas constructivos industrializados lo cual reduce costos in situ, en el caso de los módulos tipo contenedor de la empresa Ransa no se necesitan vigas de cimentación, tan solo zapatas o dados de concreto que son vaciados y sirven de base en las uniones entre módulos, mientras que en un sistema constructivo ligero de acero galvanizado solamente se necesita una losa de cimentación de espesor muy pequeño que económicamente es más barata que las alternativas anteriores.

El plazo de cada proyecto varía según el sistema constructivo usado, en el caso de una obra convencional siempre surgen retrasos por huelgas de los obreros, problemas con los sindicatos, escaso control en obra que genera demoras por pérdidas de material, actividades erróneas, etc. Mientras más industrializado sea el proceso constructivo, menor será la duración del proyecto y habrá un mejor planeamiento de las actividades diarias a realizarse.

El siguiente cuadro comparativo detalla las diferencias de la duración de cada proyecto según el sistema constructivo aplicado:



**Imagen 6.2** Cuadro Comparativo de plazos de obra para tres sistemas constructivos aplicados en obras con áreas construidas similares (Fuente propia)

En este cuadro comparativo se muestra que la aplicación de un sistema constructivo altamente industrializado de módulos del tipo contenedor y un sistema constructivo parcialmente industrializado ligero de acero galvanizado de la empresa Eternit demoran 6 a 9 veces menos que el uso de un sistema constructivo tradicional

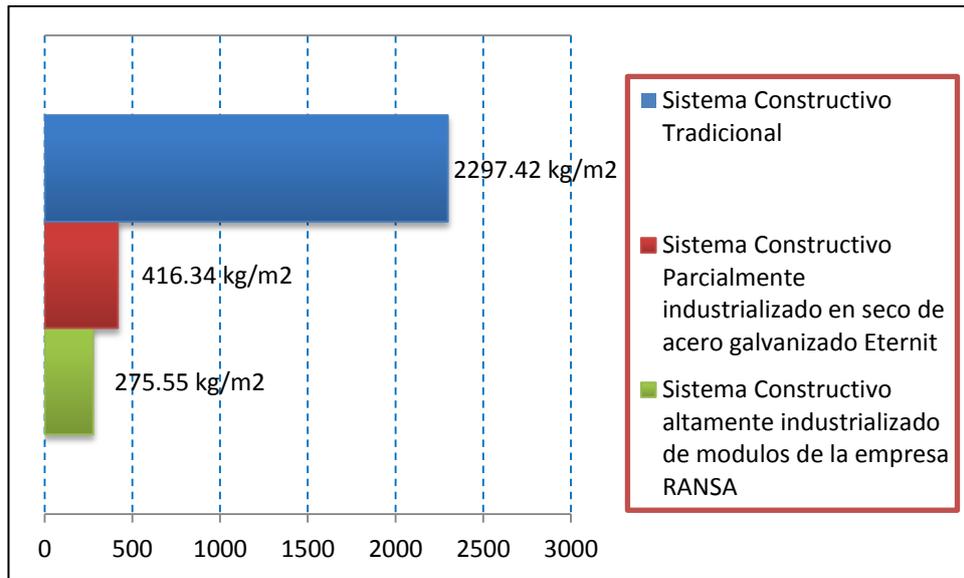
### 6.3 Aspectos ambientales

Según el análisis comparativo realizado para la primera fase del ciclo de vida de una construcción: **“Fabricación y extracción de materiales para la construcción”**, se concluye que un sistema constructivo tradicional concentra el mayor peso de extracción y fabricación de materiales para la construcción donde predominan la extracción de los materiales pétreos para la construcción de estructura vertical, del mismo modo el sistema constructivo tradicional es el que genera mayores emisiones  $409.57 \text{ kg CO}_2 / \text{m}^2$  seguido de un sistema constructivo parcialmente industrializado ligero galvanizado de la empresa eternit con  $323 \text{ kg CO}_2 / \text{m}^2$  y el sistema constructivo que menos emisiones de  $\text{CO}_2$  emite es el sistema constructivo de módulos tridimensionales del tipo contenedor con  $280 \text{ kg CO}_2$ , la razón es que en estos sistemas constructivos predomina el acero corten en la estructura (90% de las emisiones totales).

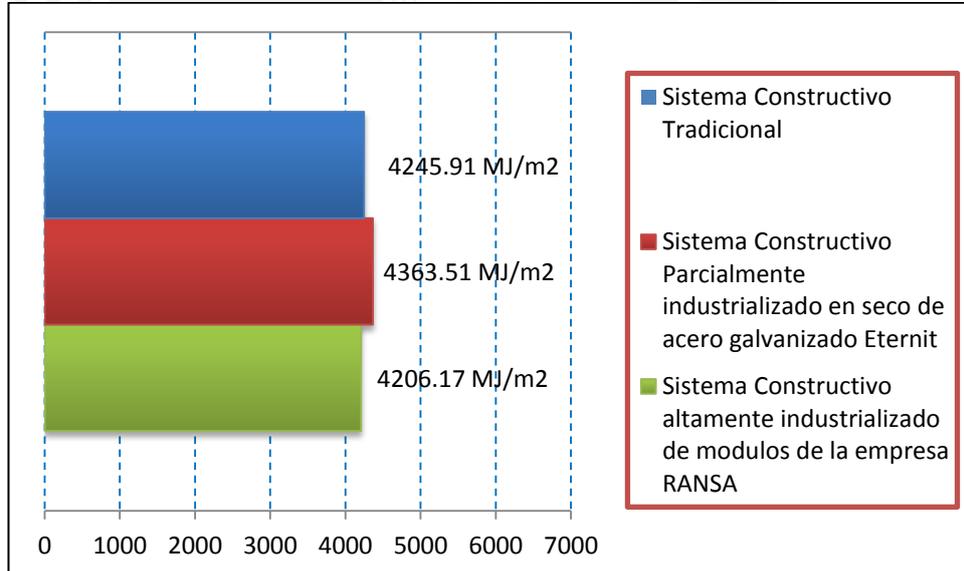
	Fase: “Extracción y fabricación de materiales para la construcción”		
	Peso ( $\text{kg/m}^2$ )	Energía ( $\text{Mj/m}^2$ )	Emisiones ( $\text{Kg CO}_2/\text{m}^2$ )
<b>SISTEMA CONSTRUCTIVO TRADICIONAL</b>	2297.42	4,245.91	409.57
<b>SISTEMA CONSTRUCTIVO PARCIALMENTE INDUSTRIALIZADO EN SECO DE ACERO GALVANIZADO “ETERNIT”</b>	416.34	4,363.51	323
<b>SISTEMA CONSTRUCTIVO DE MODULOS TRIDIMENSIONALES TIPO CONTENEDOR “RANSA”</b>	275.55	4,206.70	279.72

**Imagen 6.3** Cuadro resumen del peso, energía y emisiones totales generadas por cada sistema constructivo en la primera fase “Extracción y fabricación de materiales para la construcción”.

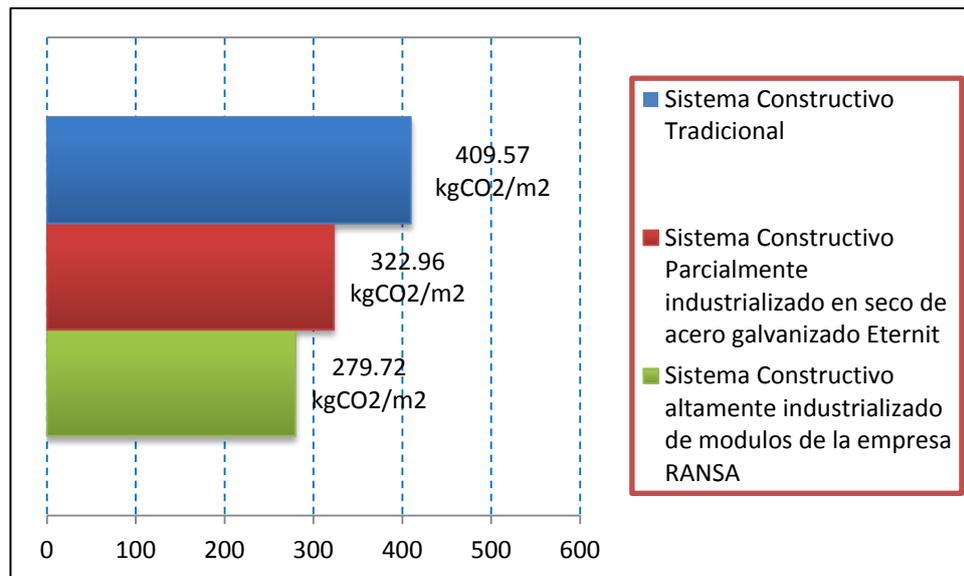
(Fuente: Propia)



**Imagen 6.4** Cuadro comparativo de barras según el peso total de los materiales usados en cada sistema constructivo en la primera fase del ciclo de vida “Extracción y fabricación de materiales no renovables para la construcción”. (Fuente: Propia)



**Imagen 6.5** Cuadro comparativo de barras según la energía total generada por la fabricación y extracción de materiales no renovables para cada sistema constructivo. (Fuente: Propia)



**Imagen 6.6** Cuadro comparativo según las emisiones totales generadas por la fabricación y extracción de materiales para cada sistema constructivo alternativo. (Fuente: Propia)

Normalmente para construcciones convencionales de un solo nivel los indicadores de peso se encuentran entre valores de 1500 y 2500 kg/m<sup>2</sup>, los indicadores de energía se encuentran cercanos a 4000MJ/m<sup>2</sup> y los indicadores de emisiones de CO<sub>2</sub> se encuentran en valores cercanos a los 400 KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

#### 6.4 Aspectos de seguridad laboral

Según el análisis comparativo realizado en el capítulo anterior, los sistemas constructivos industrializados modulares de concreto y acero suman el menor puntaje con 22 puntos de magnitud de riesgo en una obra, el segundo sistema constructivo más seguro es el sistema constructivo Industrializado ligero de acero galvanizado con 36 puntos, por lo que se confirma que un sistema constructivo tradicional es el más riesgoso con un puntaje de 52 puntos (se recuerda que el puntaje indica severidad de la actividad).

Los aspectos de riesgo más relevantes en un sistema constructivo tradicional son las caídas desde niveles superiores, los cuales pueden ser evitados mediante el uso de un arnés con doble enganche y línea de vida ; los derrumbes

de muros de contención vecinos que por lo general son la causa de la muerte de los obreros, y que pueden ser evitados mediante la construcción de muros pantalla; y los sobreesfuerzos en los obreros por el trabajo manual excesivo como el carguío de materiales pesados, demolición manual de losas de concreto, etc., los cuales deben ser sustituidos por maquinaria especializada para estas actividades como grúas, taladros mecánicos, etc.

En el caso de un sistema constructivo industrializado modular, los riesgos laborales se reducen notablemente, ya que existe un supervisor de seguridad en fábrica y en la obra, entonces la probabilidad de que ocurran accidentes es muy baja, tan solo se resumen en el izado de los módulos y los trabajos a grandes alturas por parte de los obreros, sin embargo para evitar estos accidentes se controla que los obreros usen obligatoriamente un EPI (equipo de protección individual), así como una línea de vida en la cual ira enganchado el arnés.

Finalmente para un sistema constructivo industrializado ligero de acero galvanizado, los riesgos laborales se resumen en excesivos trabajos manuales y el uso de maquinaria que provoque cortes, golpes, contactos eléctricos y sobreesfuerzo en los obreros. Estos accidentes deben ser prevenidos mediante el uso de andamios exteriores en todo el perímetro (con barandillas y ménsulas) para la instalación de los tijerales en el techo y la cubierta de drywall, además del uso obligatorio de un EPI (Equipo de protección individual) en caso sea una construcción de varios niveles.

## **CAPITULO 7**

### **CONCLUSIONES**

#### **7.1 Conclusiones finales**

Las conclusiones finales de esta tesis son que los métodos constructivos industrializados modulares, conforman sin duda una mejor opción que los sistemas constructivos convencionales en los aspectos de medio ambiente, calidad de materiales, plazo de obra, seguridad laboral, costo total (para proyectos de gran volumen y repetitivos), y estructural (módulos con refuerzo adicional).

En el **aspecto económico** se ha demostrado en esta tesis, que el costo unitario de un sistema constructivo industrializado de módulos es muy elevado para proyectos de viviendas unifamiliares, y que la mejor opción es un sistema constructivo industrializado ligero de acero galvanizado por su buen funcionamiento estructural, propiedad de sus materiales, protección del medio ambiente y su bajo costo.

Cabe resaltar que el **aspecto estructural** es uno de los factores que limita el uso de los módulos en zonas con gran actividad sísmica, sin embargo si se les agregan refuerzos adicionales integrados en fábrica o in situ, podrían emplearse sin ningún problema, entonces lo más conveniente según las características sísmicas del Perú, es la construcción de módulos para viviendas no esenciales de hasta 4 pisos y su utilización se debe enfocar en reducir el déficit de vivienda en las zonas más pobres de este país, para el caso de edificios de más de 4 pisos lo ideal es anclar los módulos a partir de un piso superior de un edificio construido con algún sistema estructural aceptado por la norma sismorresistente del Perú, otra opción es la de construir un elemento rígido vertical exterior que no permita el desplazamiento lateral de los módulos producido por fuerzas sísmicas o también se puede instalar refuerzos de concreto en el perímetro de los módulos para rigidizar más la estructura, todas estas alternativas se deben modeladas con programas estructurales para saber si la estructura reforzada podrá resistir las cargas actuantes.

En el **aspecto comercial**, un sistema constructivo industrializado modular entrará en competencia al mercado cuando se reduzca el precio de venta de los módulos, pero esto sólo será rentable cuando los proyectos sean de gran volumen y repetitivos de esta manera la empresa puede asegurar que su inversión inicial no fue en vano.

En el aspecto de **ambiental** se ha demostrado que a diferencia de un sistema constructivo tradicional, en un sistema constructivo industrializado modular del tipo contenedor se reducen las emisiones de  $\text{kgCO}_2$  hasta en un 70% en la primera etapa del ciclo de vida de una construcción "Fabricación y extracción de materiales para la construcción".

Finalmente en el aspecto de **seguridad laboral** se ha comprobado que cuando se aplica un sistema constructivo industrializado modular el riesgo para los

obreros se reduce notoriamente en comparación con el uso de un sistema constructivo convencional, y sólo se resume en el riesgo del izado de los módulos y los trabajos de ensamblaje de módulos en altura.

## 7.2 Oportunidades futuras

Las principales oportunidades futuras que abren paso a la innovación tecnológica en el sector construcción en el Perú, se lograrán gracias a la apertura del mercado y el creciente desarrollo de la tecnología y comunicaciones con otros países más desarrollados que este, por otro lado la investigación realizada en las universidades y entidades formadoras de trabajadores del sector construcción como SENCICO, también influyen en este propósito. Por lo tanto el estado a través del ministerio de construcción y vivienda debe apoyar al empresario emprendedor para apuntar a nuevas oportunidades de negocio, donde predomine la innovación de sistemas constructivos, maquinaria, procesos constructivos, control de calidad de los procesos, etc., de este modo se aumenta la competitividad con otras empresas líderes en este rubro.

Se puede afirmar entonces que aunque la inversión inicial es muy alta, la decisión de industrializar un sistema constructivo es conveniente por los beneficios de sostenibilidad, flexibilidad, calidad y rentabilidad que proviene de fábrica, si bien en Perú las empresas constructoras líderes usan sistemas constructivos parcialmente industrializados prefabricados y en situ (losas prefabricadas, encofrados especiales, muros de bloques de concreto, etc.) se debe apuntar hacia una prefabricación abierta altamente industrializada por las ventajas ya expuestas.

## 7.3 Recomendaciones finales

El problema actual en el Perú es la racionalización de proyectos de construcción, en el cual la prefabricación altamente industrial es uno de los modos de lograrla, pero esto no va a ser posible si sólo dejamos la iniciativa a la inversión privada, si bien hay programas promovidos por el gobierno nacional como “MI

VIVIENDA”, aún existe déficit de viviendas en el Perú, por lo que el ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento debe adoptar las medidas necesarias para permitir el paso rápido de una construcción artesanal a una industrializada. Sin el apoyo estatal es muy difícil que una empresa constructora se decida a realizar grandes inversiones que logren la industrialización, sin contar con un volumen de obra suficiente que les asegure la rentabilidad de estas inversiones, es por eso que se propone la ejecución de programas de construcción altamente industrializados administrados directamente por el estado u organismos autónomos, además de la contratación directa por parte del estado de proyectos de viviendas a aquellas empresas que usen procedimientos altamente industrializados y a la vez le faciliten ayuda económica a las que pretendan industrializar sus instalaciones. Por otro lado también se debe estimular la producción de elementos nuevos o fabricados en serie que cumplan las normas estructurales y de seguridad peruana.

## BIBLIOGRAFÍA

- ROLANDO A. SAMUEL RUSSELL (1990) “Industrialización en las edificaciones para viviendas”. Editorial científico técnica, La Habana Cuba.
- VIRGILIO GHIO CASTILLO. “Guía para la innovación tecnológica en la construcción” (1997). Ediciones Universidad Católica de Chile.
- HUNTING W.C y R.E MICKADEIT. “Building Construction: Materials and Types of construction (1981). New York
- CARLOS FERNANDEZ CASADO, FRANCISCO BASSO BIRULES,BOHDAN LEWICKI, SVEND KRISTENSEN, FERNANDO AGUIRRE DE YRAOLA. “Prefabricación e industrialización en la construcción de edificios”( 1968). Editores técnicos asociados s. a, Barcelona España.
- TIHAMER KONCZ.” Construcción industrializada”. (1977) Hermann Blume ediciones. Madrid España.
- HENRIK NISSEN. “Construcción industrializada y Diseño Modular”( 1976). Hermann Blume ediciones. Madrid España.
- ALFONSO DEL AGUILA. “Hacia una nueva vivienda social flexible mediante la investigación de procesos productivos industriales innovadores” Ed. Mairea. Madrid,2006.

- ALFONSO DEL AGUILA. “La industrialización de la edificación de viviendas”. Tomo 1 (Sistemas) y Tomo 2 (Componentes). Ed. Mairea. Madrid,2006.
- DIEGO GOMEZ MUÑOZ. Tesis de especialización “Estudio Comparativo entre distintas metodologías de industrialización de la construcción de viviendas”. Departamento: Ingeniería de la Construcción (UPC) BARCELONA, junio 2008
- Artículo “Construcciones Modulares: Diversificación e internacionalización”. (Octubre 2011) <http://www.modultec.es/>
- ROBERT J. KOBERT AIA, “Modular Building and the USGBC’s LEED™ Version 3.0 2009 Building Rating System. LEED AP THE MODULAR BUILDING INSTITUTE
- JOSEP IGNASI LLORENS DURAN. “Cimentaciones prefabricadas para módulos de vivienda 3d” .Congreso de ACHE .Barcelona: INCASOL, 2008
- A.A.V.V. “La construcción modular, una alternativa innovadora a la crisis de la vivienda”. Conferencia (17 de febrero de 2009). Demarcación de Mataró del Colegio de Aparejadores de Cataluña, Mataró.
- GERARDO WADEL. Tesis: “La Sostenibilidad en la arquitectura industrializada, la construcción modular ligera aplicada a la vivienda”. (2010) Universidad Politécnica de Cataluña.
- WASTE & RESOURCES ACTION PROGRAMME, WAS 003-003: Offsite Construction Case Study Waste reduction potential of offsite manufactured pods (doc. Electronic). Oxon, Reino Unido 2007
- Catálogo COMPAC HABIT. [www.compacthabit.com](http://www.compacthabit.com) , Cardona España
- J. MONJO CARRIÒ, Artículo: “La evolución de los sistemas constructivos en la edificación. Procedimientos para su industrialización” (2005) España.
- E.NEUFERT. “Industrialización de las construcciones”. Editorial Gustavo Gili. Barcelona.
- MONICA CORCUERA SAKAMOTO “Estudio de Investigación para el desarrollo de Viviendas Sociales de bajo costo en Lima –Perú” (2009). Universidad Politécnica de Catalunya.
- PABLO ORIHUELA ASTUPINARO. Artículo: “Barreras que impiden la estandarización en la vivienda residencial con énfasis en la vivienda social”.