

LA REVOLUCIONARIA EDIFICACIÓN INDUSTRIALIZADA DE SINGAPUR. CONSTRUCCIÓN VOLUMÉTRICA PREFABRICADA PREACABADA (PPVC). PREFABRICATED PREFINISHED VOLUMETRIC CONSTRUCTION (PPVC)



- Taller de trabajo es una metodología de trabajo en la que se integran la teoría y la práctica.
- Se caracteriza por la investigación, el aprendizaje por descubrimiento y el trabajo en equipo que, en su aspecto externo, se distingue por el acopio (en forma sistematizada) de material especializado acorde con el tema tratado teniendo como fin la elaboración de un producto tangible.
- Un taller es también una sesión de entrenamiento. Se enfatiza en la solución de problemas, capacitación, y requiere la participación de los asistentes.

23 de julio de 2020

EDIFICACIÓN INDUSTRIALIZADA/CONSTRUCCIÓN FUERA DE OBRA

- [Industrialización de la construcción / edificación. Prefabricación.](#)

La construcción volumétrica prefabricada preacabada (PPVC) es un método de construcción mediante el cual los módulos tridimensionales independientes se completan con acabados internos, accesorios y accesorios en una instalación de fabricación fuera del sitio, antes de que se entregue e instale en el sitio.

¿Por qué usar PPVC? Productividad mejorada: PPVC puede mejorar la productividad hasta en un 40% en términos de ahorro de mano de obra y tiempo, dependiendo de la complejidad de los proyectos. Mejor entorno de construcción: como la mayor parte de las actividades de instalación y la mano de obra se trasladan fuera del sitio, minimiza la contaminación por polvo y ruido y mejora la seguridad del sitio. Control de calidad mejorado: la fabricación fuera del sitio en un entorno de fábrica controlado puede producir productos finales de mayor calidad.

¿Qué considerar al usar PPVC? Participación temprana del contratista: los desarrolladores / gerentes de proyecto deben obtener aportes del proveedor o fabricante de PPVC, así como del contratista principal en la etapa de diseño. Esto ayuda a desarrollar soluciones técnicas efectivas para el proyecto. Por ejemplo, la elección del material determinará el tamaño y el número de módulos en el



diseño, ya que el peso es una consideración importante para el izado de los módulos.

Administración del sitio / proyecto: la condición de las carreteras que rodean el proyecto debe poder acomodar el peso y el tamaño de la entrega del módulo PPVC. El acceso al sitio y dentro del mismo debe poder acomodar los remolques cargados. Puede que no sea práctico almacenar muchos módulos PPVC grandes en el sitio, y una instalación Just in Time (JIT) evitaría el doble manejo innecesario. La grúa desplegada en el sitio debe ser capaz de manejar el peso de los módulos PPVC y su ubicación debe planificarse adecuadamente para que pueda llegar a todos los bloques para la instalación de módulos.

Mantenimiento, reemplazo y renovación: es una buena práctica para los desarrolladores / constructores proporcionar un manual de usuario del propietario del PPVC al finalizar el proyecto. Para cualquier trabajo de renovación, se recomienda que los propietarios contraten a un contratista de renovación, que utilizará las herramientas adecuadas y seguirá las instrucciones proporcionadas en el manual del usuario del propietario.

Cumplimiento de la normativa.

Requisitos de las agencias respectivas : el diseño, construcción e instalación del sistema PPVC propuesto para la construcción de edificios deberá cumplir con los requisitos de las agencias respectivas como BCA, Autoridad de Transporte Terrestre (LTA), Ministerio de Recursos Humanos (MOM), Agencia Nacional del Medio Ambiente (NEA), PUB, la Agencia Nacional del Agua, la Fuerza de Defensa Civil de Singapur (SCDF), la Autoridad de Reurbanización Urbana (URA), la Junta de Vivienda y Desarrollo (HDB) y la Corporación JTC.

Marco de aceptación de PPVC: para garantizar que los diferentes sistemas de PPVC que se utilizan sean confiables y duraderos, BCA ha establecido un Marco de aceptación de PPVC que consiste en crear agencias reguladoras y expertos de la industria para evaluar el diseño y los materiales utilizados. Los proveedores y fabricantes de PPVC que tengan la intención de suministrar sus sistemas PPVC para ser utilizados en los sitios de desarrollo obligatorios deben solicitar la aceptación.

Tendencias actuales y perspectivas de PPVC

Demanda creciente de consultores y constructores: con el creciente número de proyectos que utilizan PPVC, existe una mayor demanda de consultores y constructores que estén familiarizados con la tecnología PPVC.

Prima de coste: actualmente, la prima de coste del PPVC de hormigón frente a la construcción convencional de hormigón armado se estima en menos del 8%. Con el creciente número de proveedores y la demanda de plomo, se espera que la



prima de coste se reduzca aún más. Esta prima reducida se puede compensar aún más con los otros beneficios de PPVC, que incluyen entregas más tempranas, viajes de transporte reducidos y un lugar de trabajo más seguro.

LA CONSTRUCCIÓN PREFABRICADA Y PREACABADA MÁS ALTA DEL MUNDO QUE SE CONSTRUIRÁ EN SINGAPUR

ADDP Architects ha presentado su proyecto Avenue South Residences en Singapur, la construcción residencial prefabricada y preacabada más alta del mundo. Programado para completarse en 2026, las dos torres de 56 pisos "se encuentran en medio de cinco edificios históricamente preservados en una de las avenidas más verdes de Singapur".

Basado en la sostenibilidad, el acceso al espacio verde y la innovadora construcción volumétrica prefabricada de PPVC o prefabricada, el distrito residencial "consta de dos edificios de gran altura con 56 pisos de altura y compuestos de unidades prefabricadas". Diseñado por ADDP Architects, con sede en Singapur, una práctica arquitectónica multifacética, el proyecto rinde homenaje al patrimonio de la ciudad al tiempo que presenta viviendas modernas futuristas y ecológicamente conscientes.

Con el enfoque más avanzado para la construcción sostenible de PPVC, The Avenue South Residences ha tenido el 80% de cada módulo creado fuera del sitio, solo requiere apilamiento y unión en el campo de la construcción.

Proporcionando un escenario de vivir-trabajar-jugar, Avenue South Residences forma un espacio comunitario inclusivo similar a un oasis rodeado de árboles conservados. De hecho, el nuevo producto residencial innovador preserva la naturaleza verde y los espacios verdes del vecindario. Caracterizadas por líneas simples y afiladas, las torres sostienen los bolsillos de las terrazas del cielo, rompiendo la escala de los rascacielos y creando una conexión visual con la naturaleza.

Por otro lado, con la sostenibilidad como un valor central y "para promover su integración como un espacio verde urbano y proporcionar una experiencia de vida saludable y ecológica, la fachada que da al Corredor Ferroviario en Avenue South Residences exhibe un verde de juego vertical al aire libre pared con plantas trepadoras". Al generar un parque público urbano, el complejo es una puerta de entrada a la red de corredores ferroviarios adyacentes. Además, ADDP Architects integró los edificios preservados existentes en el concepto de Green Connectors, fomentando el uso de modos de transporte sostenibles.

En cuanto a la eficiencia energética del desarrollo, la orientación norte-sur de los rascacielos optimiza la exposición solar y el flujo de aire. Formando un telón de fondo de los bloques conservados de cuatro pisos, las torres se colocan de manera de minimizar su huella verde.

A large construction crane is shown in the upper half of the image, lifting a prefabricated building module. The module is a rectangular box with a flat roof and some internal structure visible. It is suspended by cables from the crane's hook. Below the crane, a modern multi-story building is visible, featuring a mix of dark and light gray panels and large windows. The building has a complex, angular design with multiple levels and balconies. In the background, a parking lot with several cars and some trees are visible under a clear blue sky with a few wispy clouds.

Design for Manufacturing and Assembly (DfMA)

Prefabricated Prefinished
Volumetric Construction

Contents

Chapter 1

Introduction

6

Chapter 2

PPVC Considerations and Key Factors

10

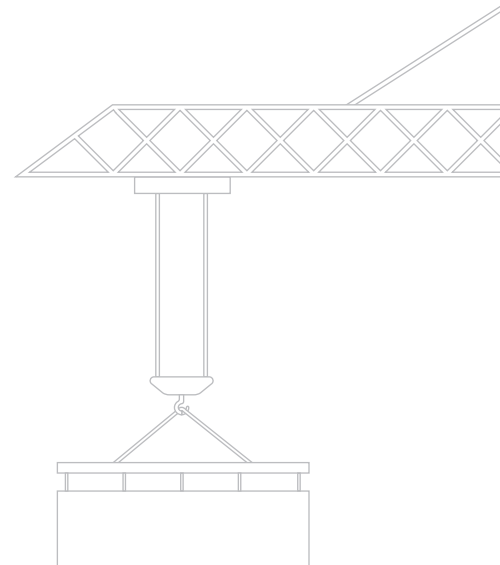
- 2.1 Early Involvement of Contractors
- 2.2 Types of PPVC Modules
- 2.3 Transportation
- 2.4 Configuration of PPVC Modules
- 2.5 Type of Hoisting Machinery
- 2.6 Comparison of Reinforced Concrete (RC) Module and Steel Module

Chapter 3

Design Considerations

18

- 3.1 Architectural Design Considerations
 - 3.1.1 Modularisation
 - 3.1.2 Early Coordination
 - 3.1.3 Dimension on Plan
 - 3.1.4 Dimension on Section
 - 3.1.5 Vertical and Horizontal Alignment
 - 3.1.6 Water-Tightness Between Modules
 - 3.1.7 Consideration of Construction Tolerance
- 3.2 Structural Design Considerations
 - 3.2.1 Structural Modelling
 - 3.2.2 Vertical Modules Connection
 - 3.2.3 Horizontal Modules Connection
 - 3.2.4 Structural Robustness
 - 3.2.5 Modules Connection to Civil Defense Shelter Wall
 - 3.2.6 Structural Design of Modules
 - 3.2.7 Periodic Structural Inspection (PSI)
- 3.3 Mechanical, Electrical and Plumbing (MEP) Design Considerations
 - 3.3.1 Electrical
 - 3.3.2 Lightning Protection
 - 3.3.3 Water
 - 3.3.4 Sanitary
 - 3.3.5 Air-Conditioning & Mechanical Ventilation
 - 3.3.6 Town Gas
- 3.4 Compliance with Fire Safety Requirements
 - 3.4.1 Compliance of Fire Compartmentation
 - 3.4.2 Compliance of Use of Material



Chapter 4

PPVC Module Production

38

- 4.1 Reinforced Concrete (RC) PPVC Production
 - 4.1.1 Mould Process
 - 4.1.2 Structural and MEP Works
 - 4.1.3 Architectural Finishing and MEP Works
- 4.2 Steel PPVC Production
 - 4.2.1 2D And 3D JIG
 - 4.2.2 Fabrication Process

Chapter 5

Protection, Transportation and Lifting

56

- 5.1 Transportation Plan
- 5.2 Packaging, Protection and Labelling
- 5.3 Module Cover (Temporary or Permanent)

Chapter 6

Construction and Project Management

58

- 6.1 Location of the Project and Adjacent Areas
- 6.2 Access and Traffic Management for Trailers with Heavy Cargo
- 6.3 Consideration of Just-In-Time (JIT) Operation
- 6.4 Types of Cranes
- 6.5 Safety

Chapter 7

Installation

62

- 7.1 Access and Egress
- 7.2 Vertical and Horizontal Alignments
- 7.3 Sequencing of the Modules Installation
- 7.4 Safety

Chapter 8

Critical Inspections and Quality Checks

64

- 8.1 Quality Checks
 - 8.1.1 Reinforced Concrete PPVC
 - 8.1.2 Steel PPVC
- 8.2 Structural Works
- 8.3 MEP Works
- 8.4 Architectural Works

Chapter 9

Maintenance, Replacement and Renovation

72

- 9.1 Renovation
 - 9.1.1 Homeowner User Manual

Chapter 10

Regulations

74

- 10.1 List of Regulators
- 10.2 Minimum Level of Off-Site Work for PPVC
- 10.3 Building Innovation Panel (BIP) and PPVC Manufacturer Accreditation Scheme (MAS)
- 10.4 Code of Practice and Good Industry Practice Guidebooks (References)
- 10.5 Design for Safety
 - 10.5.1 Access/Egress
 - 10.5.2 Choice Between Fall Prevention, Fall Restraint and Fall Arrest System
 - 10.5.3 Module Installation and Alignment
 - 10.5.4 Useful Resources

Appendix

Some PPVC Projects References in Singapore (completed and ongoing)

This guide may be used for reference purposes only. The contents of this guide are protected by copyright and other forms of proprietary rights owned by, licensed to or controlled by BCA and shall not be reproduced, republished, uploaded, posted, transmitted or otherwise distributed in any way, without the prior written permission of BCA. Modification of any of the contents or use of the contents for any other purpose will be a violation of BCA's copyright and other intellectual property rights. Any reference herein to any specific commercial products, process, or service by trade name, trademark, manufacturer, or otherwise, does not constitute or imply BCA's endorsement or recommendation.

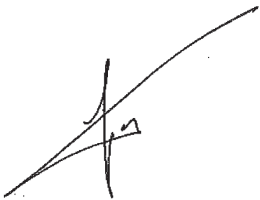
"All content used herein is for non-profit educational purposes. Where possible, all credit has been given to the respective owners or creators of the content."

Foreword

Under the Construction Industry Transformation Map, we are transforming Singapore's built environment sector into one that is technologically advanced and highly productive. BCA has identified the Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) approach as a key strategic thrust to raise the construction productivity. This Prefabricated Prefinished Volumetric Construction (PPVC) guidebook is the first installment of a series of guidebooks on DfMA technologies. This guidebook will share on key aspects of PPVC and associated good practices, hence allowing practitioners to appreciate and reap the full benefits of off-site manufacturing. Besides the possibility for earlier project completion, end users can enjoy high quality works given that most of the works are carried out in a controlled factory environment.

This guide provides simple and practical tips to practitioners on how PPVC is designed, fabricated, inspected, delivered and installed to achieve its functional requirements and workmanship standards. Good practices such as upfront planning and design to incorporate PPVC adoption will also be covered. When constructed, such PPVC buildings would be no different from conventional buildings and can have creative design and interesting facades.

As this is an evolving technology, this guide is not meant to be a definitive publication on how PPVCs must be designed and installed. Practitioners are encouraged to use this guide to innovate and improve further on PPVC design, fabrication and installation. To obtain more comprehensive information and guidance, readers should seek professional advice from designers and suppliers of PPVCs. We gratefully acknowledge the contributions of key technical agencies and practitioners in the production of this guide and trust that the industry will find this publication useful. We welcome any contributions from readers to improve subsequent editions of this guide.



NEO CHOON KEONG

Deputy Chief Executive Officer
Industry Development
Building and Construction Authority

Acknowledgement

This Prefabricated Prefinished Volumetric Construction (PPVC) Guidebook was developed by the Working Committee in close collaboration with key technical agencies and industry representatives comprising Architects, Builders, Consultants, and Specialist Contractors.

A Technical Committee, comprising members from various industry associations and organisations, was formed to review the contents.

We wish to thank all members of the technical agencies as well as the Technical and Working Committee for their valuable contributions.

TECHNICAL COMMITTEE:

Mr Ramamoorthy Rajendran	Building and Construction Authority (Chair)
Er Siew Hoong Kit	Nanyang Technological University (Co-Chair)
Ms Tay Seok Cheng	REDAS (Co-Chair)
Er Chee Kheng Chye	Housing and Development Board
Er Chan Ewe Jin	Institute of Engineers
Mr Kenneth Loo	SCAL
Ar Richard Lai	Singapore Institute of Architects
Ar Yeo Eng Choon	Singapore Institute of Architects
Mr Tan Chin Hock	ACES
Mr Wong Soon Tuan	Dragages Singapore Pte Ltd
Mr Eddie Kua	Tiong Seng Contractors Pte Ltd
Mr John Mo	Moderna Homes Pte Ltd

WORKING COMMITTEE:

Ms Mika Feng	Building and Construction Authority (Lead)
Mr Lee Choon Shung	ADDP Architects LLP (Co-lead)
Er Liew Ve Koon	P&T Consultants Pte Ltd
Mr Johnny Lim	Teambuild Engineering & Construction Pte Ltd
Mr M.Bhuvanavar	Integrated Precast Solutions Pte Ltd
Mr Lee Chong Whey	Moderna Homes Pte Ltd
Mr Sean Tan Huei Chong	Vico Construction Pte Ltd
Ms Toh Xing Juan	Building and Construction Authority
Mr Louis Chong	Building and Construction Authority
Mr Jonathan Kok	Building and Construction Authority
Mr Neo Seng Hai	Building and Construction Authority
Mr Han Wann Kuang	Building and Construction Authority

TECHNICAL AGENCIES:

Ministry of Manpower	Jurong Town Corporation
Singapore Civil Defence Force	Urban Redevelopment Authority
Public Utilities Board	Housing and Development Board
National Environmental Agency	Land Transport Authority



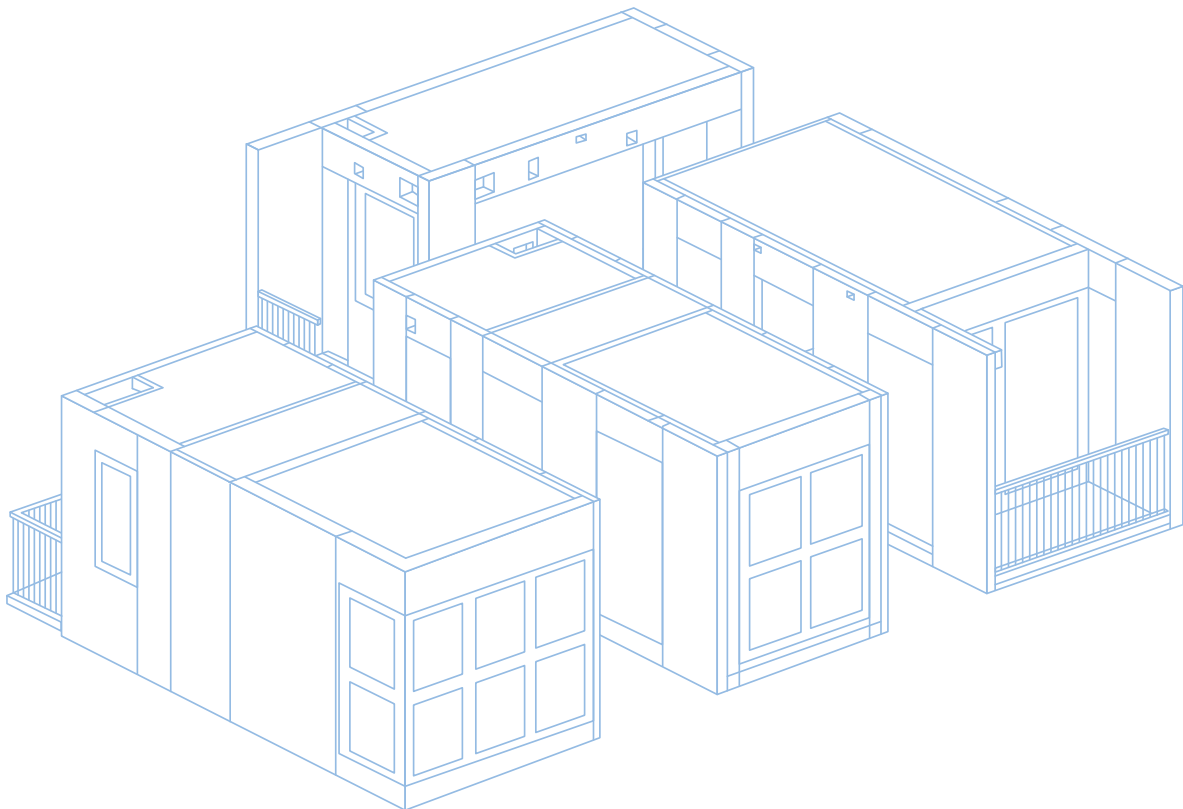
ANG LIAN AIK

Group Director
Construction Productivity and Quality Group

Introduction

To raise construction productivity and fundamentally change the design and construction processes, the industry is encouraged to embrace the concept of Design for Manufacturing and Assembly (DfMA), where construction is designed and detailed for a substantial portion of work to be done off-site in a controlled manufacturing environment.

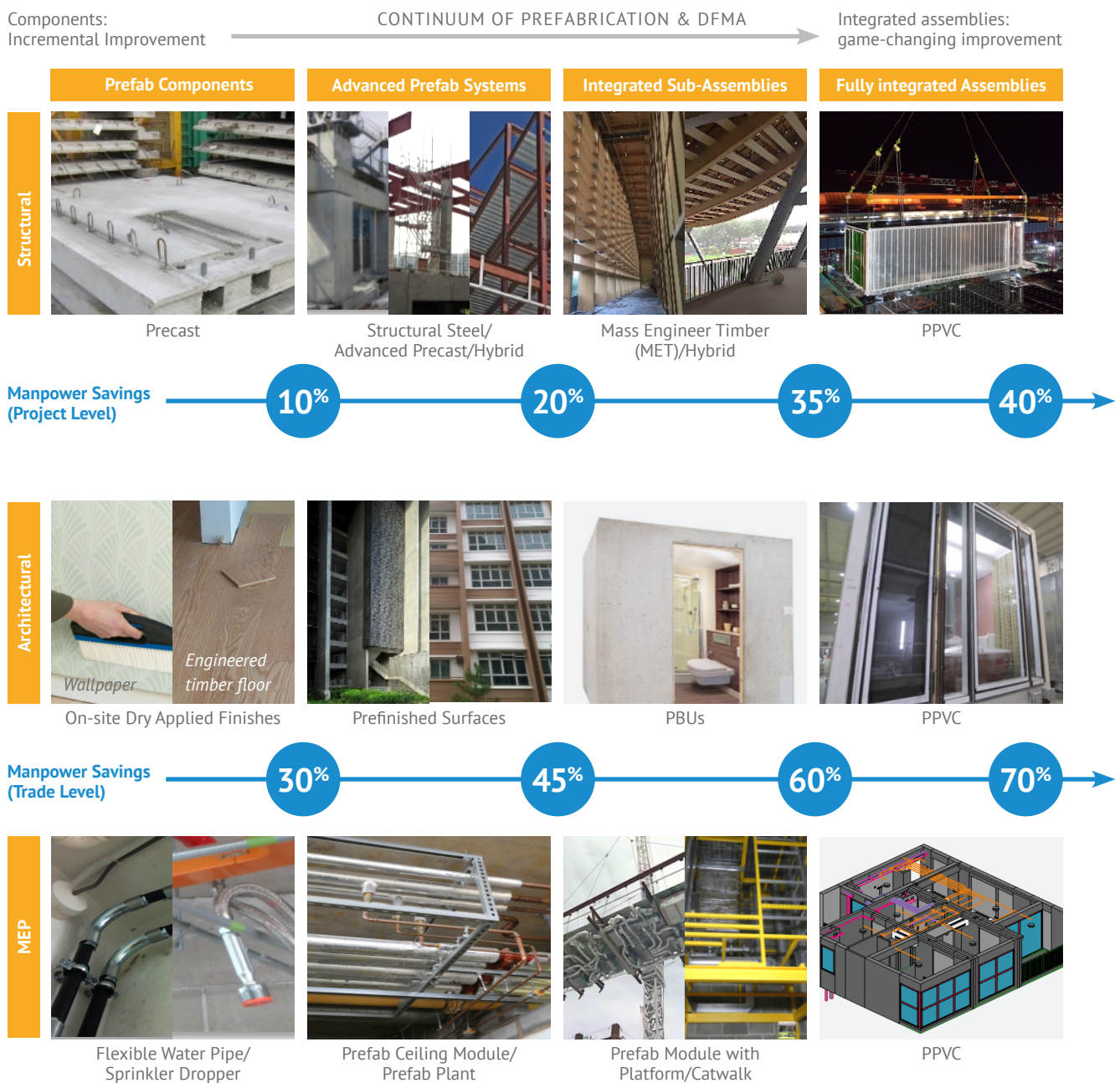
DfMA is a new approach in the construction industry. By planning more works offsite, manpower and time needed to construct buildings are reduced, while ensuring work sites are safe, conducive and have minimal impact on the surrounding living environment. The use of prefabrication methods in construction has been promoted as a way to improve productivity in a traditionally manpower-intensive industry.



Prefabricated Prefinished Volumetric Construction (PPVC) is one of the game-changing technologies that support the DfMA concept to significantly speed up construction. Modular is a general construction term to describe the use of technology that facilitates off-site manufacturing. Complete modules made of multiple units complete with internal finishes, fixtures and fittings are manufactured in factories, and are then transported to site for installation in a Lego-like manner. In the hierarchy of DfMA methodologies, PPVC is one of the most efficient and complete principles in improving productivity.

In this book, the DfMA methodology on PPVC and the benefits reaped will be discussed so that there is better knowledge and capability in the adoption and implementation of PPVC.

Pushing for Higher-end DfMA Technologies



Comparison

CONVENTIONAL CONSTRUCTION



In a traditional manpower-intensive industry, most of the trade works involving structural, architectural, MEP and interior finishing works are constructed and installed on site.

PREFABRICATED PREFINISHED VOLUMETRIC CONSTRUCTION (PPVC)

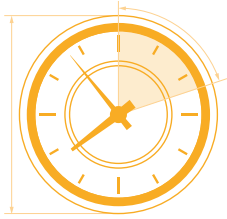


“Prefabricated Prefinished Volumetric Construction (PPVC)” means a construction method whereby free-standing volumetric modules (complete with finishes for walls, floors and ceilings) are:

- a. constructed and assembled; or
- b. manufactured and assembled,

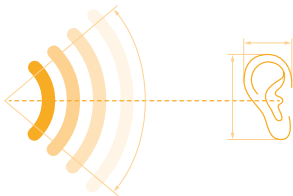
in an accredited fabrication facility, in accordance with any accredited fabrication method, and then installed in a building under building works.

Benefits of PPVC



PRODUCTIVITY IMPROVEMENT

- Fabrication of PPVC can proceed in parallel in the factory while other worksite activities are ongoing to streamline the construction process.
- The on-site construction activities can be significantly reduced through the use of PPVC.
- It can potentially achieve a productivity improvement of more than 40% in terms of manpower on site and more than 20% time savings, depending on the complexity of the projects.



BETTER CONSTRUCTION ENVIRONMENT

- As more activities are done off-site, a reduction of environment pollution can be ensured as dust and noise pollution are potentially minimised.
- Disamenities to the surrounding neighbourhoods during construction can be diminished.
- Prefabrication of the building modules also leads to cleaner worksites by generating less overall construction waste on-site.



REDUCTION OF ON-SITE MANPOWER

- This will enhance worksite safety and direct the manpower to better working conditions. More construction off-site leads to less time on-site and fewer individual man-hours working at height.
- By reducing construction and installation activities and manpower from the site, and placing them off-site in a controlled factory environment, fewer workers will be on site which in turn leads to fewer accidents and less downtime.



BETTER QUALITY CONTROL

- PPVC delivers the majority of the final product from the controlled factory environment leading to increased reliability with higher-quality finishing.
- Sequence of work can be planned more efficiently with better logistics coordination.

PPVC can be considered for multi-room accommodations such as:

- Residences
- Institutions
- Hotels and hostels
- Nursing homes
- Dormitories

PPVC Considerations and Key Factors

2.1 Early Involvement of Contractors

- Given that each PPVC Fabricator has their own proprietary system for the manufacture of PPVC modules, it is highly encouraged to engage the PPVC Fabricator as well as the Main Contractor early upfront during the design stage to allow their inputs into the design for a better and more effective technical solution.
- The Design and Build (D&B) and Design Development and Build (DDB) procurement models can be adopted for PPVC projects as they allow greater inputs into the design upfront by the Main Contractor and their PPVC Fabricators. This will vastly increase the buildability and constructability of the PPVC design, leading to greater productivity in construction.

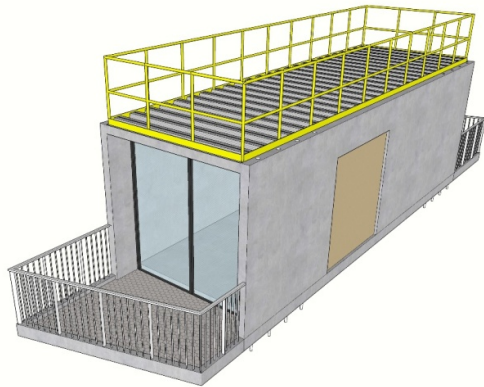
2.2 Types of PPVC Modules

The choice of material will dictate the size and number of modules in the design as weight is a major consideration for the hoisting of the modules.

Other major factors will involve logistics of transportation, site layout and holding area, crane or hoisting position.

Material		
	1	2
Characteristic of module	Concrete	Steel
Weight	Heavy	Light

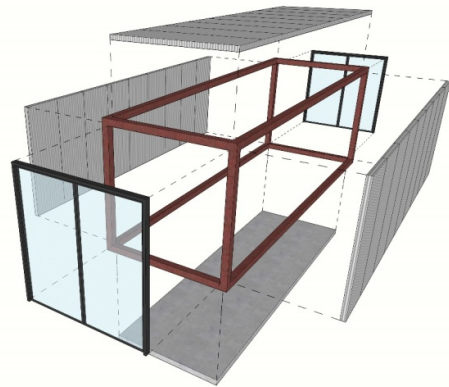
Limit by crane reach and capacity due to weight



1

REINFORCED CONCRETE PPVC MODULE

Wall: Concrete
Floor: Concrete



2

STEEL PPVC MODULE

Wall: Steel frame with lightweight walls
Floor: Concrete or Lightweight Flooring System

2.3 Transportation

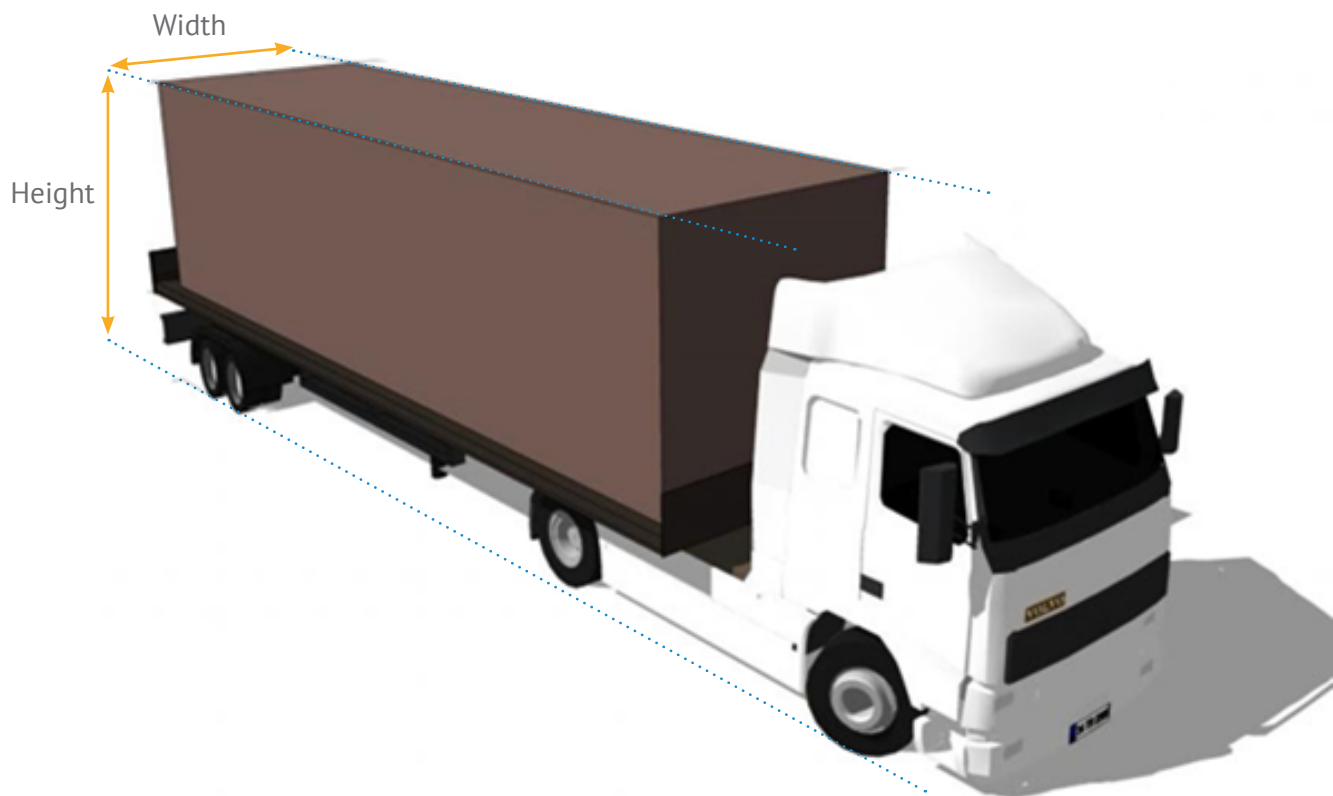
Logistics for modules transportation from factory to site will determine the maximum size and volume of each module design, which in turn affects the number of modules to complete the layout design.

The size of a single module should be limited to the dimensions allowed to be transported on public road without requiring special measures such as police escort. Height consideration has to be factored in if the route involves passing through overhead bridges.

In compliance to LTA's traffic regulatory requirements, Police Escort will not be required, when the parameters are controlled.

Height	< 4.5 metres (inclusive of truck height)
Width	≤ 3.4 metres
Laden Weight	< 80 tons

Existing road configuration around the site has to be analyzed for the maneuvering and holding of the modules. The deliveries have to be planned and coordinated to avoid congestion outside the site especially for urban built-up areas.



*Figure: Transportation truck.
(Note: Dimensions are for reference only.)*

2.4 Configuration of PPVC Modules

The modules are configured according to the design layout. The geometry of the modules can be simplified to design for ease of production.

The number of modules will vary, depending on the residential unit typology (Studio, 1 to 5 rooms). Total number of modules can typically range from 1 to 8 numbers per unit.

Demarcation of a typical unit module with reference to plan below is as follows:

- **Module A:** LRDIN (Living and Dining Room)
- **Module B:** B2-IBB (Bedroom 2 with In-built Bathroom)
- **Module C:** MB-IBB (Master Bedroom with In-built Bathroom)
- **Module D:** KIT (Kitchen)

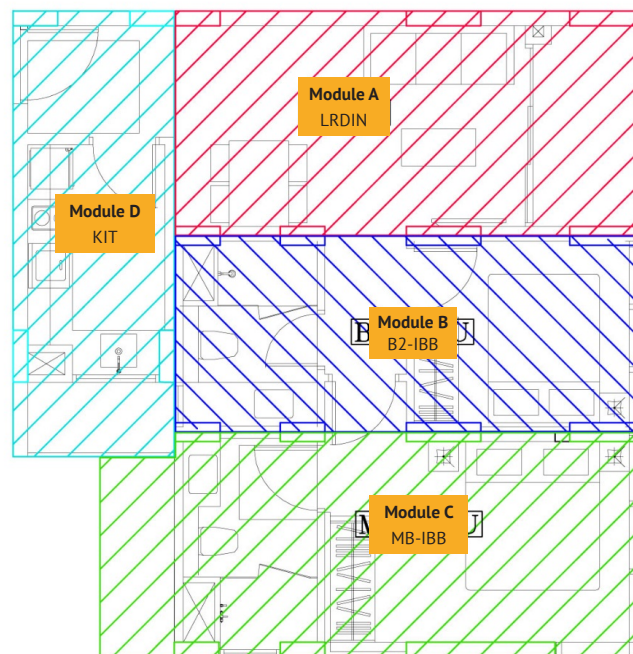
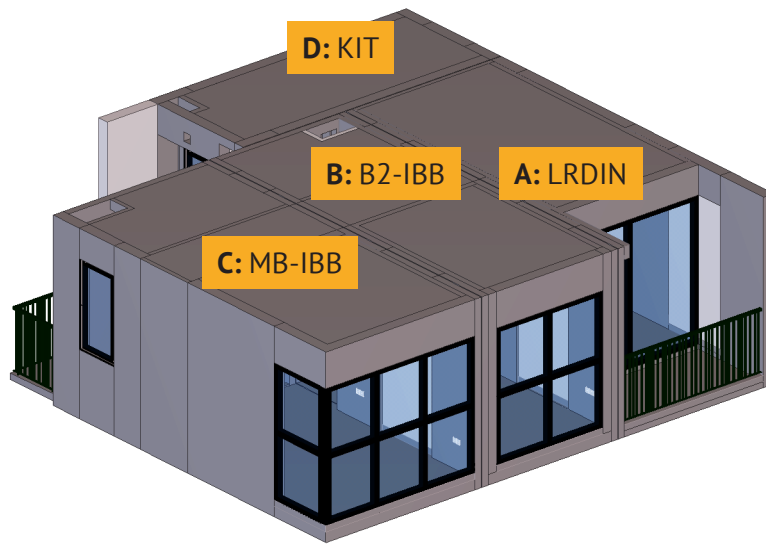
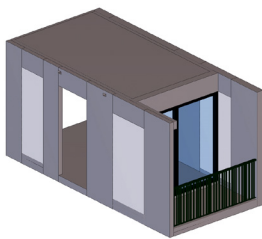


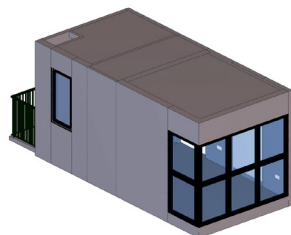
Figure: Example of A Typical 2-Bedroom Unit Modules (Plan View)



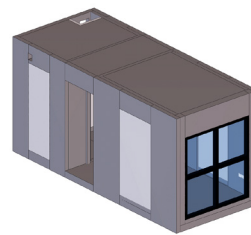
*Figure : Example of A Typical 2-Bedroom Unit
Modules (3D View)*



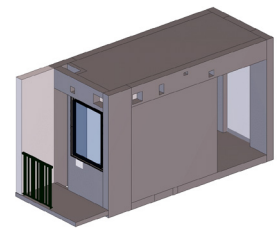
**MODULE A:
LRDIN**
Living and
Dining Room



**MODULE B:
B2-IBB**
Bedroom 2
with In-built
Bathroom



**MODULE C:
MB-IBB**
Master
Bedroom
with In-built
Bathroom



**MODULE D:
KIT**
Kitchen

Modules can be configured to meet the functional requirements of the building. A typical bedroom of a nursing home can constitute a total of 4 standard modules, to achieve the functional requirements.

Demarcation of a typical unit module with reference to plan below is as follows:

- **Module A:** 1MA
- **Module B:** 1MB
- **Module C:** 1MC
- **Module D:** 1MD

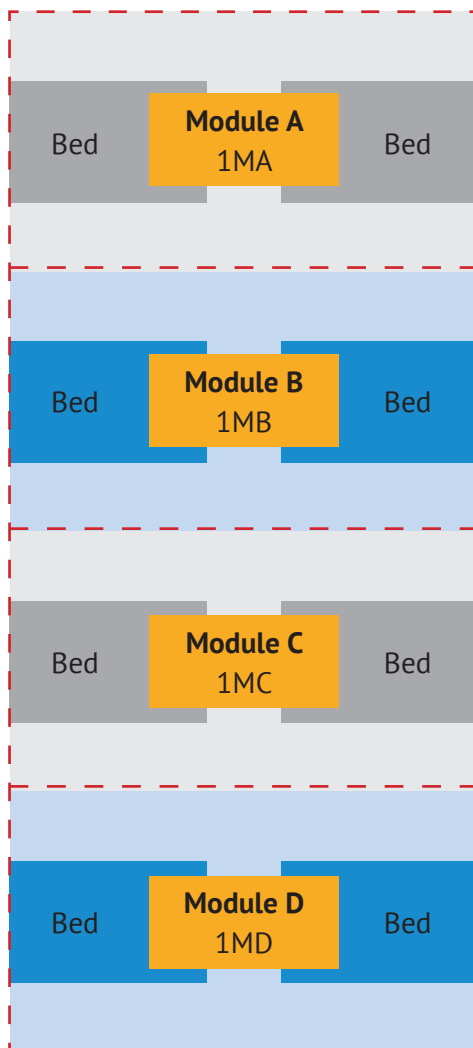


Figure: Example of Typical Bedroom at Woodlands Nursing Home (Plan View)
Plan Courtesy of Dragages (Singapore) Pte Ltd

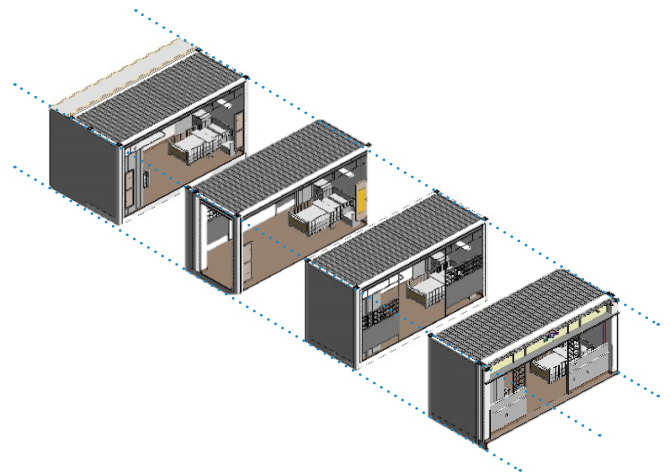


Figure: Example of Woodlands Nursing Home PPVC modules (3D View), combined to form a bedroom
3D Courtesy of Dragages (Singapore) Pte Ltd

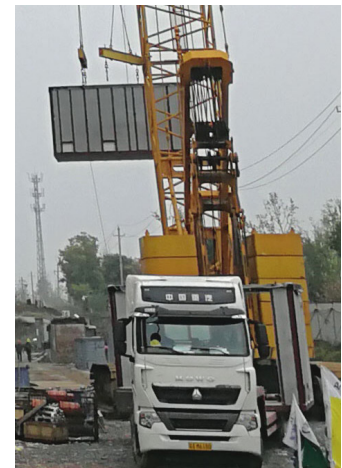


Figure: Photo of a completed Typical Bedroom at Woodlands Nursing Home (with seamless wall and floor joints)
Photographs Courtesy of Dragages (Singapore) Pte Ltd

2.5 Type of Hoisting Machinery

Sizing and arrangement of cranes on a site will be dictated by the total lift weight of the module and the reach of the crane.

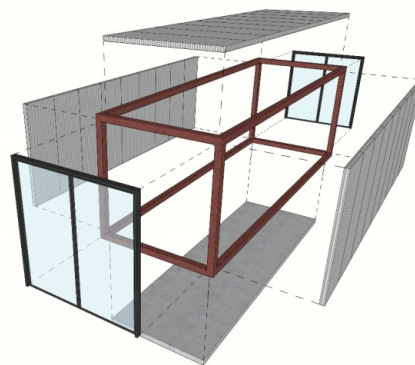
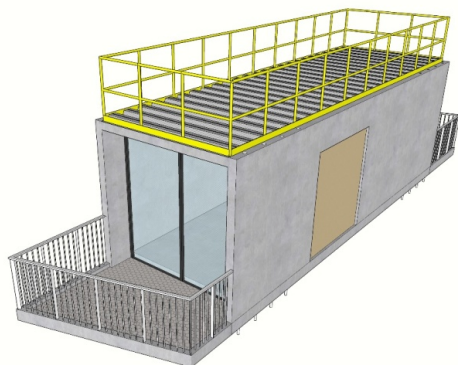
Below are some generic information on the type of cranes available.



Characteristic of Crane	Tower crane	Mobile crane	Crawler crane
Crane Capacity	50 tons	700 tons	500 tons
Lifting Capacity	25 tons – 40 tons	25 tons – 40 tons	25 tons – 40 tons
Height of Equipment	120m	40m	80m
Radius of work	40m	40m	40m

Note: Actual crane requirement and capacity shall vary according to the site condition and to be obtained from the crane specialist accordingly.

2.6 Comparison of Reinforced Concrete (RC) Module and Steel Module



	Reinforced Concrete Module	Steel Module
Weight	20 to 35 tons	15 to 20 tons
Handling and Transportation	• Protection for completed modules • Permanent / temporary roof decking • May require temporary stiffening • Require lifting frame	• Protection for completed modules • Permanent / temporary roof decking • May require temporary stiffening • Require lifting frame
Installation Method	Stacking method	Stacking method
Hoisting Machinery	Hoisting by crane	Hoisting by crane
Familiarity to Renovators in Maintenance, Replacement / Renovation Works	Similar to conventional construction	To include information of supplier manual
Fire Compartmentation / Rating	Similar to conventional construction	Compartmentation and use of materials shall comply with the applicable Code
Provision for Barrier-Free Accessibility Requirements	Similar to conventional construction	Similar to conventional construction

Note: For reference only.

Design Considerations

3.1 Architectural Design Considerations

3.1.1 Modularisation

- At the unit layout planning and design stage, the PPVC modularisation must be undertaken in tandem with the unit layout design as early as possible. Early PPVC vendor's and engineer's involvement will be beneficial to the project. The modularisation is largely affected by the configuration, sizes, dimensions, weights of PPVC modules and ease of transportation.
- The weight of module in turn depends on the choice of PPVC material type, level of finishing, etc. The transportability of modules would be influenced by the planned delivery routes (i.e. from off-site prefabrication plants to the construction site) and types of trailers available in the industry.

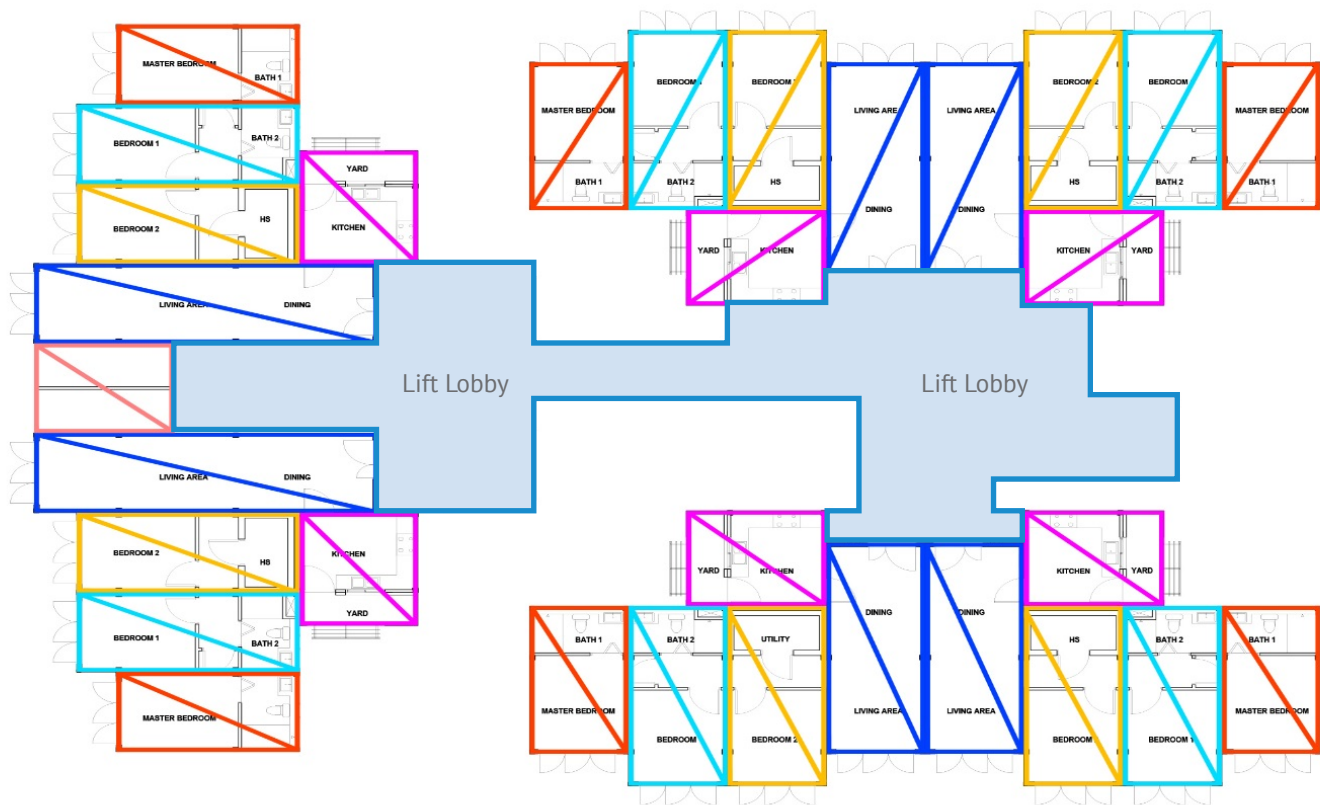


Figure: Example of PPVC modularisation during planning stage (Residential Block Plan)

3.1.2 Early Coordination

- Early coordination among Developer, Architect, Structural Engineer and MEP Engineer, Builder and PPVC specialist are essential as this will allow the team to look into the key design aspects upfront including layout design, floor and ceiling height, etc.
- With proper upfront planning to integrate PPVC into the design layout, unique designs and different building features such as curved facade and non rectangular layout can be achieved.
- To consider the removable of non-structural partitioning wall in design for future renovation.

3.1.3 Dimension on Plan

- To ensure the layout plan design comply with regulatory requirements.
- To ensure the size of modules allow transportation from factory to site.

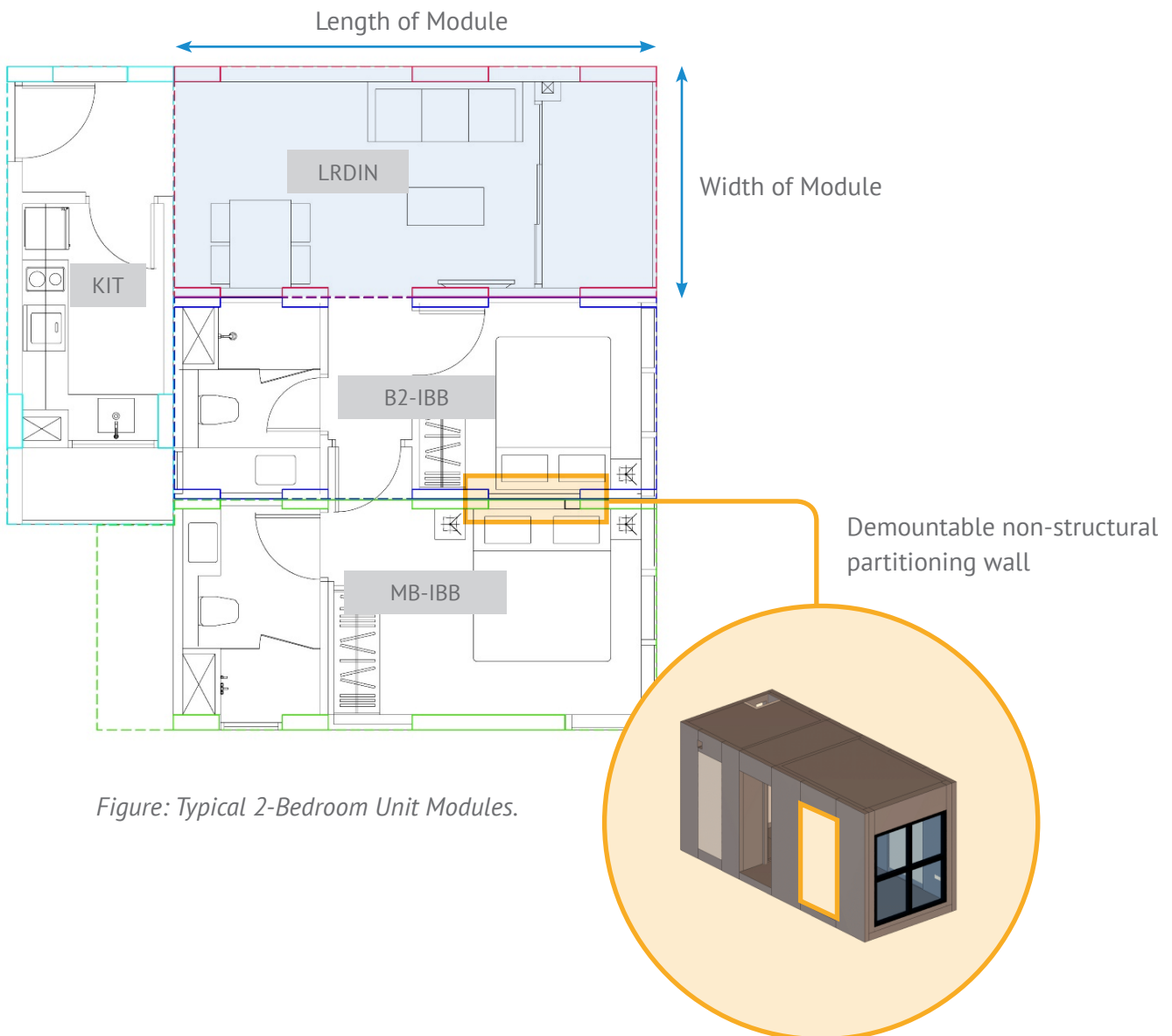


Figure: Typical 2-Bedroom Unit Modules.

3.1.4 Dimension on Section

- To ensure the floor-to-floor height comply with regulatory requirements.
- To ensure the size of modules allow transportation from factory to site.
- To comply with regulatory requirements of ceiling height.
- To consider the usage of single or double slabs.
- To maximise the useable room space and ceiling height.

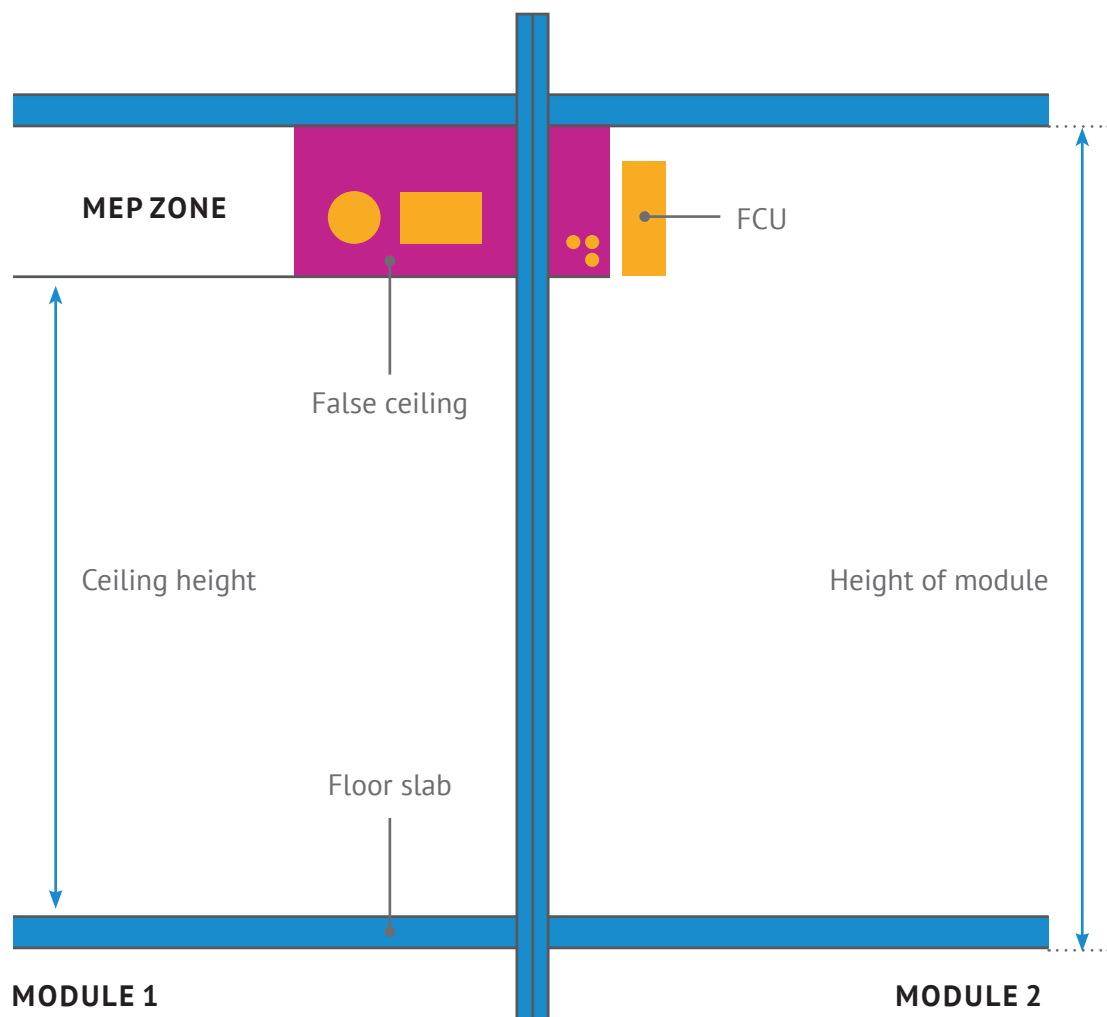


Figure: Typical Sectional Detail of Modules

Note: For reference only.

3.1.5 Vertical and Horizontal Alignment

- To consider the possible misalignment of floor, wall, ceiling at joints between modules.
- To consider the interfacing details between PPVC modules and in-situ construction such as core walls, staircases, corridors, and other portions of buildings.

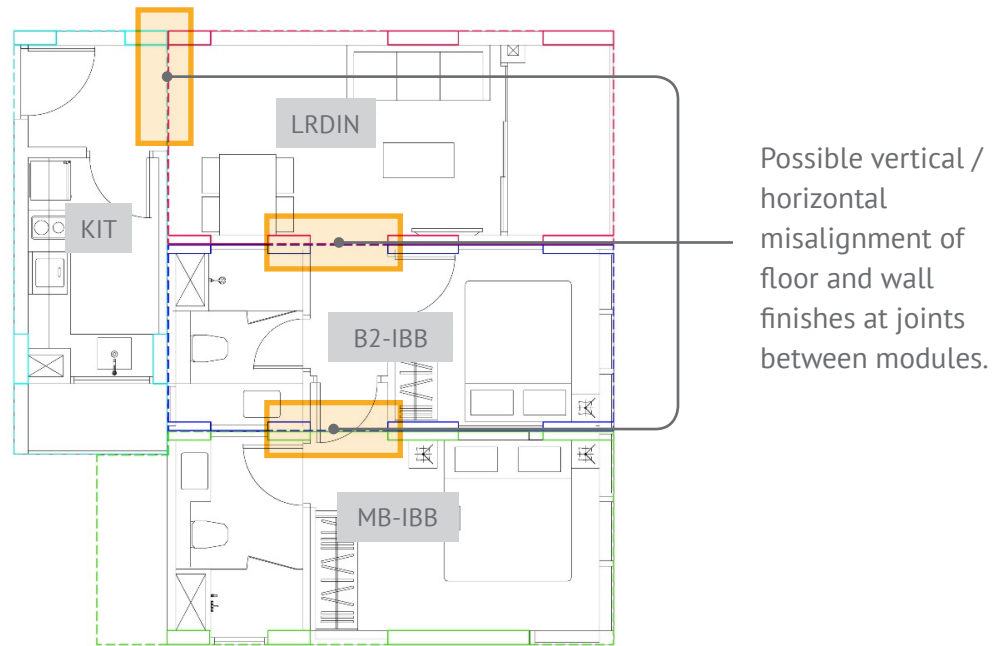


Figure: Typical 2-bedroom Unit Plan

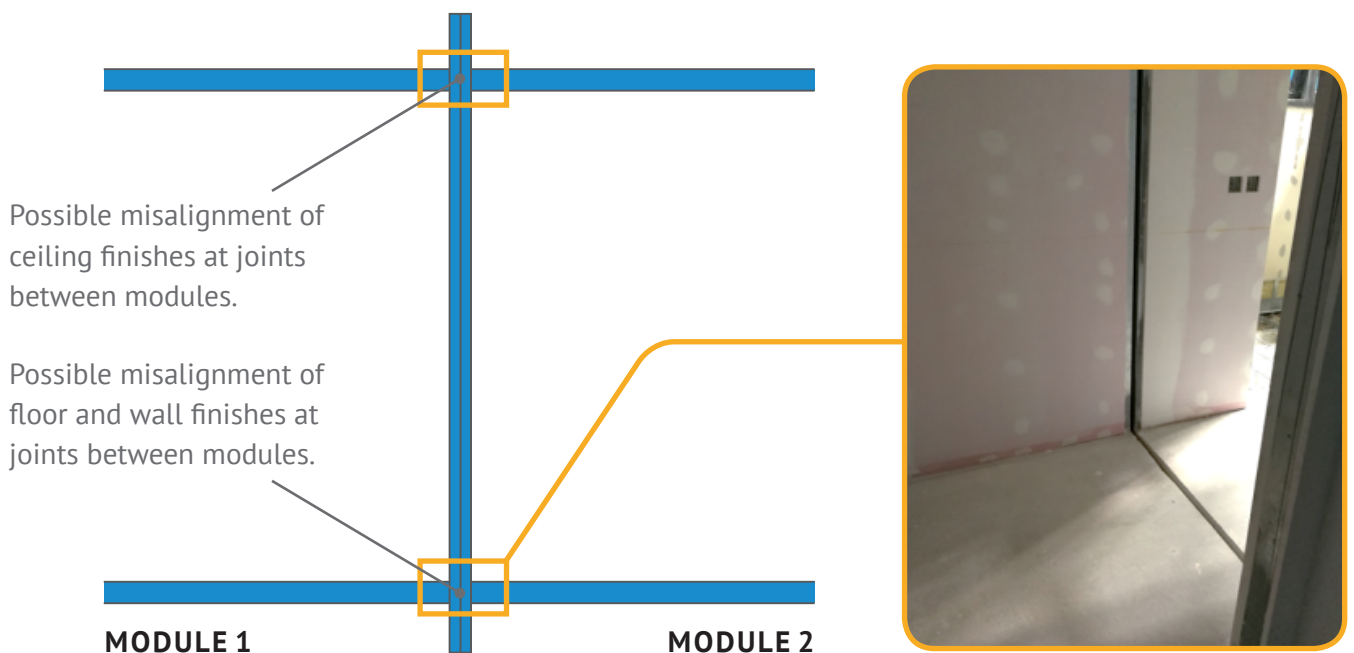


Figure: Typical Sectional Detail of Modules

3.1.6 Water-Tightness Between Modules

- To consider the water-tightness details on vertical and horizontal joints of modules

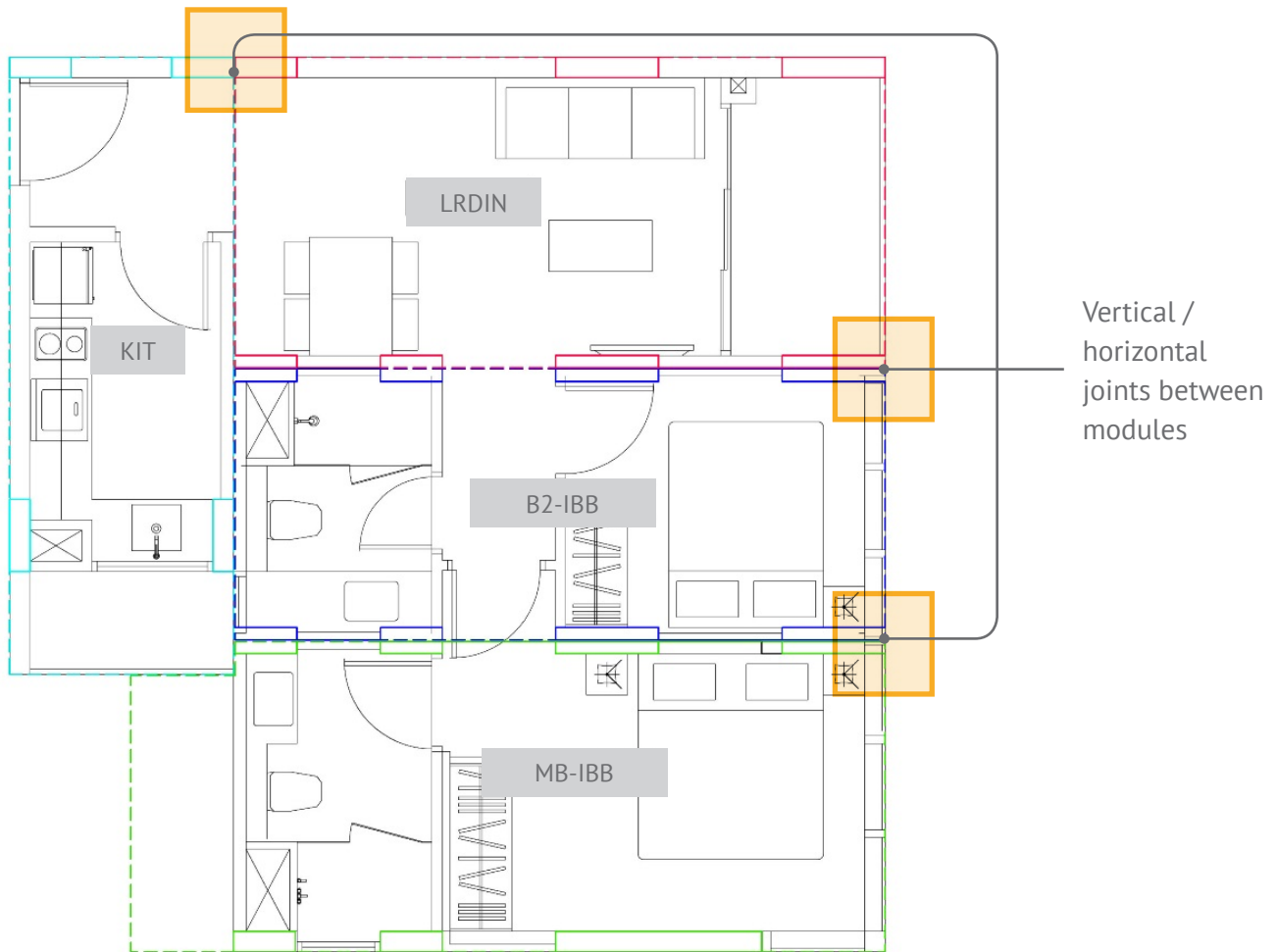


Figure: Typical 2-bedroom Unit Plan

3.1.7 Consideration of Construction Tolerance

- To consider and allow construction tolerance on vertical and horizontal joints of modules and in-situ part.

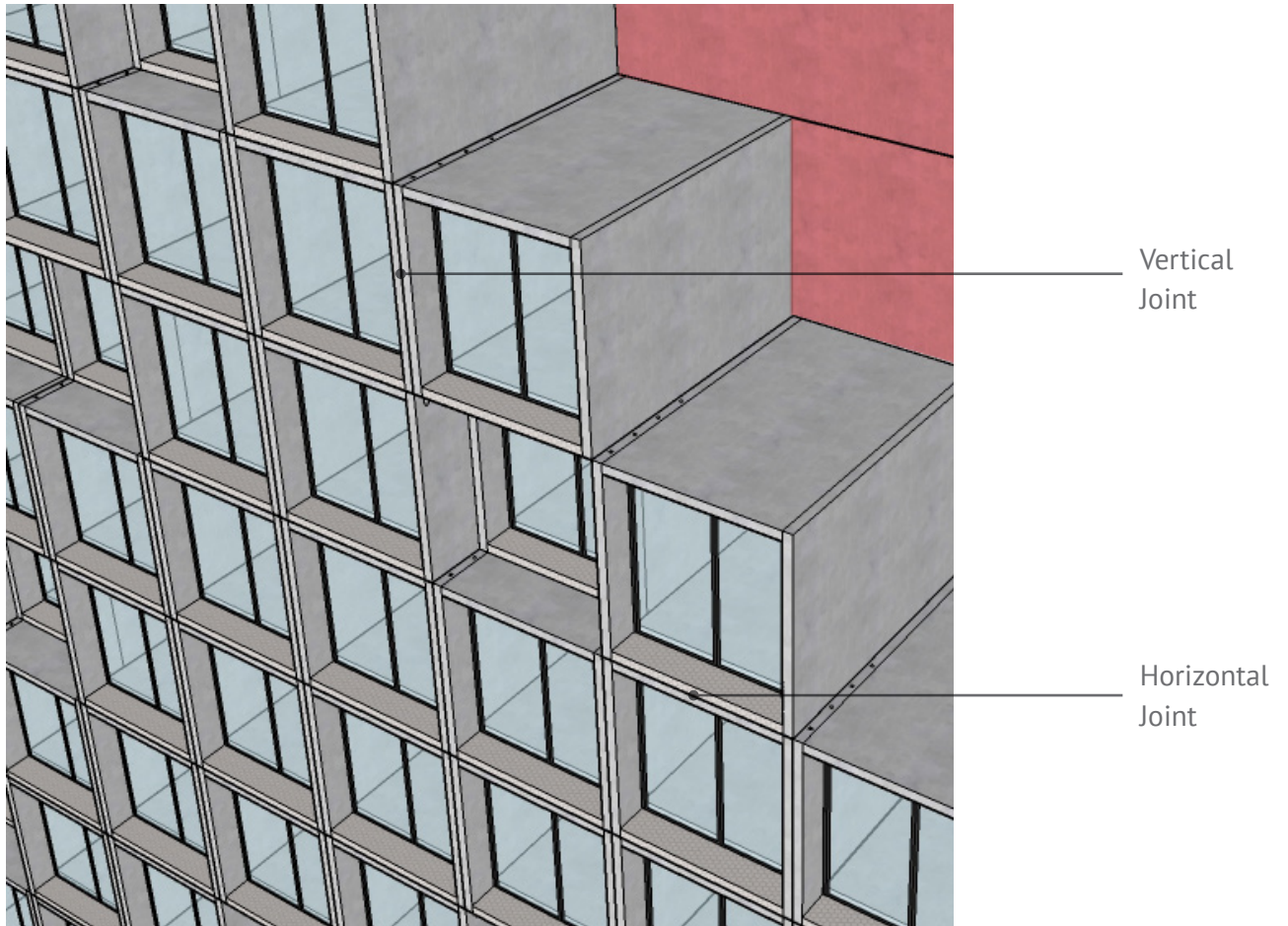


Figure: Vertical and Horizontal Joint

3.2 Structural Design Considerations

3.2.1 Structural Modelling

3D modeling of building structures shall be carried out using suitable computer analysis software. In situations where module columns or walls are abutting each other, such configuration should be considered in the 3D modeling.

In addition to the permanent design action conditions, extra modeling should be carried out to the PPVC modules with the designated number of lifting points included as temporary conditions (i.e. during hoisting operation)

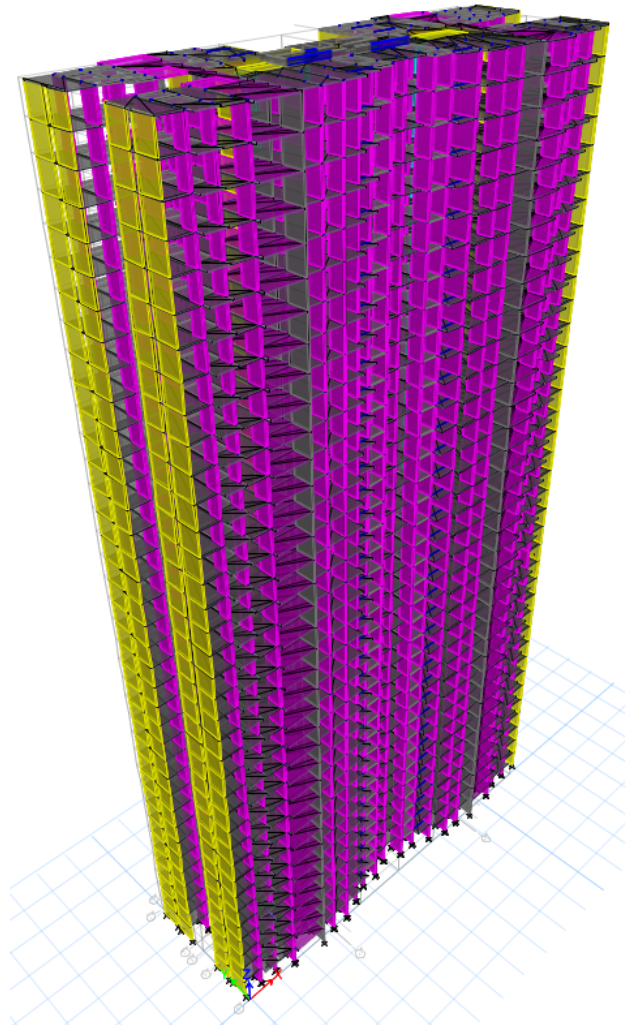


Figure: Structural Modeling For High Rise Building With PPVC

3.2.2 Vertical Modules Connection

The vertical modules connection is crucial for the structural behaviour especially for high rise buildings. They have a direct effect on the building stiffness and its corresponding response under the wind, seismic (if applicable) and lateral design action conditions. Hence, the detailing of the PPVC vertical connection must satisfy the design intent.

Vertical joints are to be designed for eccentricity or imperfection in accordance with the Building Code Requirement.

3.2.3 Horizontal Modules Connection

The horizontal modules connection forming the floor diaphragm, are equally important, contributing to the overall building stiffness. In particular, the peripheral ties and internal ties shall be provided as per the Building Code Requirements. The PPVC modules and layout shall be laterally connected and designed such that the horizontal forces (e.g. wind load) can effectively be transferred to the building's lateral load resisting system.

Due to the repetitions, and as far as practicable, the horizontal joints should be designed in a manner that the implementation at site would be speedy and simple. A classic example for steel PPVC module joints is the bolting system, whereas in concrete PPVC on-site grouting of joints is common.

3.2.4 Structural Robustness

The design of PPVC building shall give due consideration to the scenario of sustaining an extent of localised failure without disproportionate collapse. The inter-connected volumetric system must be capable of redistributing the internal forces to the nearest load bearing elements such that progressive collapse is totally prevented.

Provisions for structural robustness may involve providing effective horizontal and vertical ties, notional removal of one column / nominal section of wall or designing such elements as a “key element” or systematic risk assessment in accordance with the building's Categorisation of Consequences Classes as per relevant EN 1991-1-7 provisions.

3.2.5 Modules Connection To Civil Defence Shelter Wall

It is mandatory for residential building projects to incorporate either Household Shelters (HS), Storey Shelters (SS) or Staircase Storey Shelters (SSS) as Civil Defence (CD) Shelter. In situation where PPVC modules are abutting the CD shelter, effective connection for load transfer between the abutting PPVC modules and CD shelter walls at each storey level is to be provided. The connection details should take into account the construction sequence of shelter walls, launching of precast staircase flights (for SSS), casting of shelter floor slab and installation of abutting PPVC module(s), hollow cores formed in the precast hollow core shelter walls, as well as the installation of steel reinforcement cages inside the hollow cores at site.

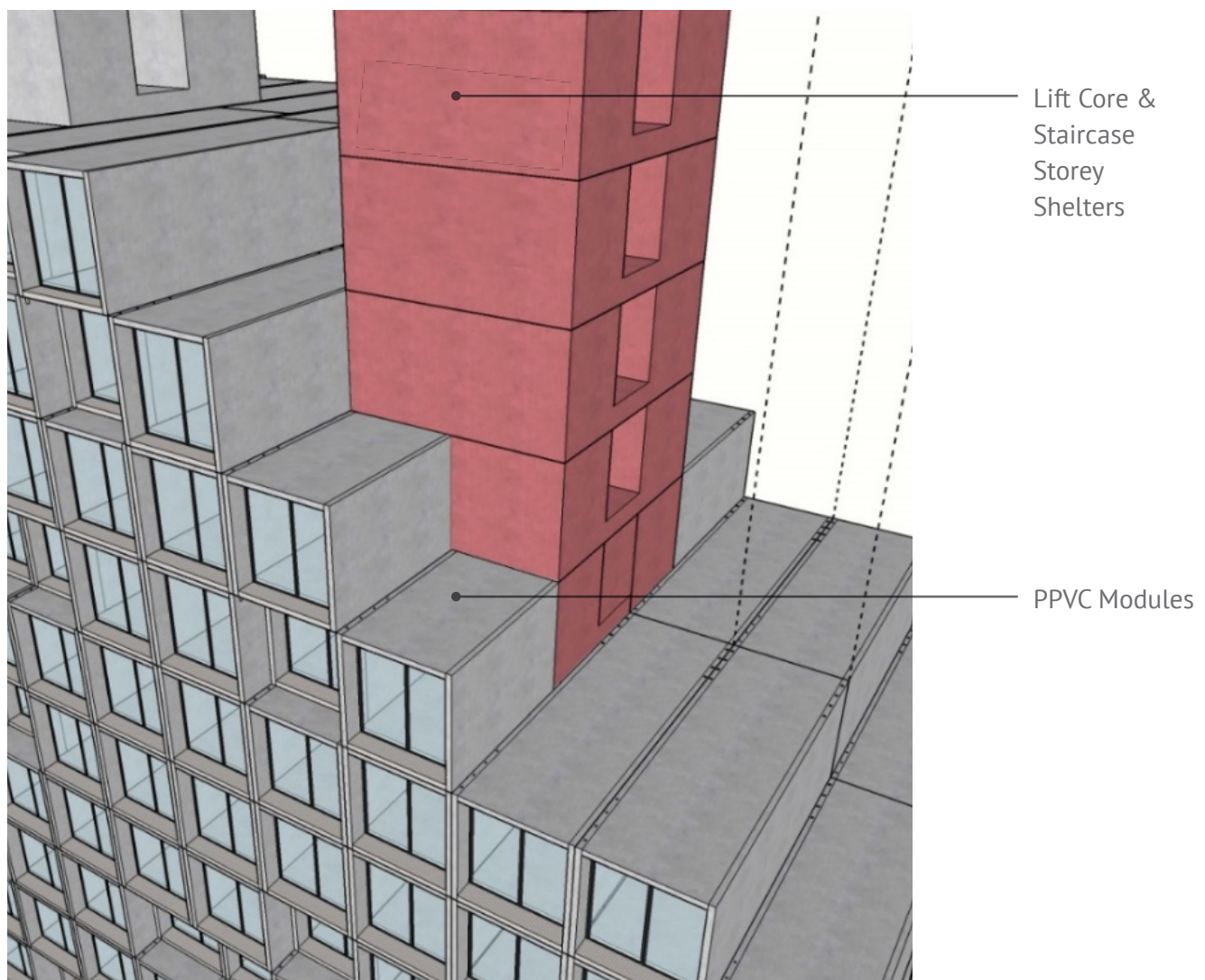


Figure: Modules Connection to Civil Defense Shelter.

Note: To Refer to Relevant Technical Requirements

3.2.6 Structural Design of Modules

In addition to the normal elemental design under the permanent design actions, it is necessary to carry out structural analysis of transient design situation (e.g. during handling in the prefabrication plant) to the PPVC modules considering the designated lifting points during hoisting and erection. Serviceability limit checks should be performed to prevent cracks to the concrete slab, walls or steel frame distortion during handling and transporting.

The lifting points must be strategically positioned such that sufficient bond anchorage can be developed to hoist the entire module safely and that the load distribution to all lifting points is reasonably uniform. It is a good practice to hoist PPVC module with the aid of steel collar frame so that the module would not be subject to inclined forces from the lifting wires.

Broadly there are two types of framing system for concrete PPVC modules, namely:

- a. Beam-Column system, in which the beam profiles may be visible without false ceiling.
- b. Slab-Shear wall system, in which no beam is required for the module framing

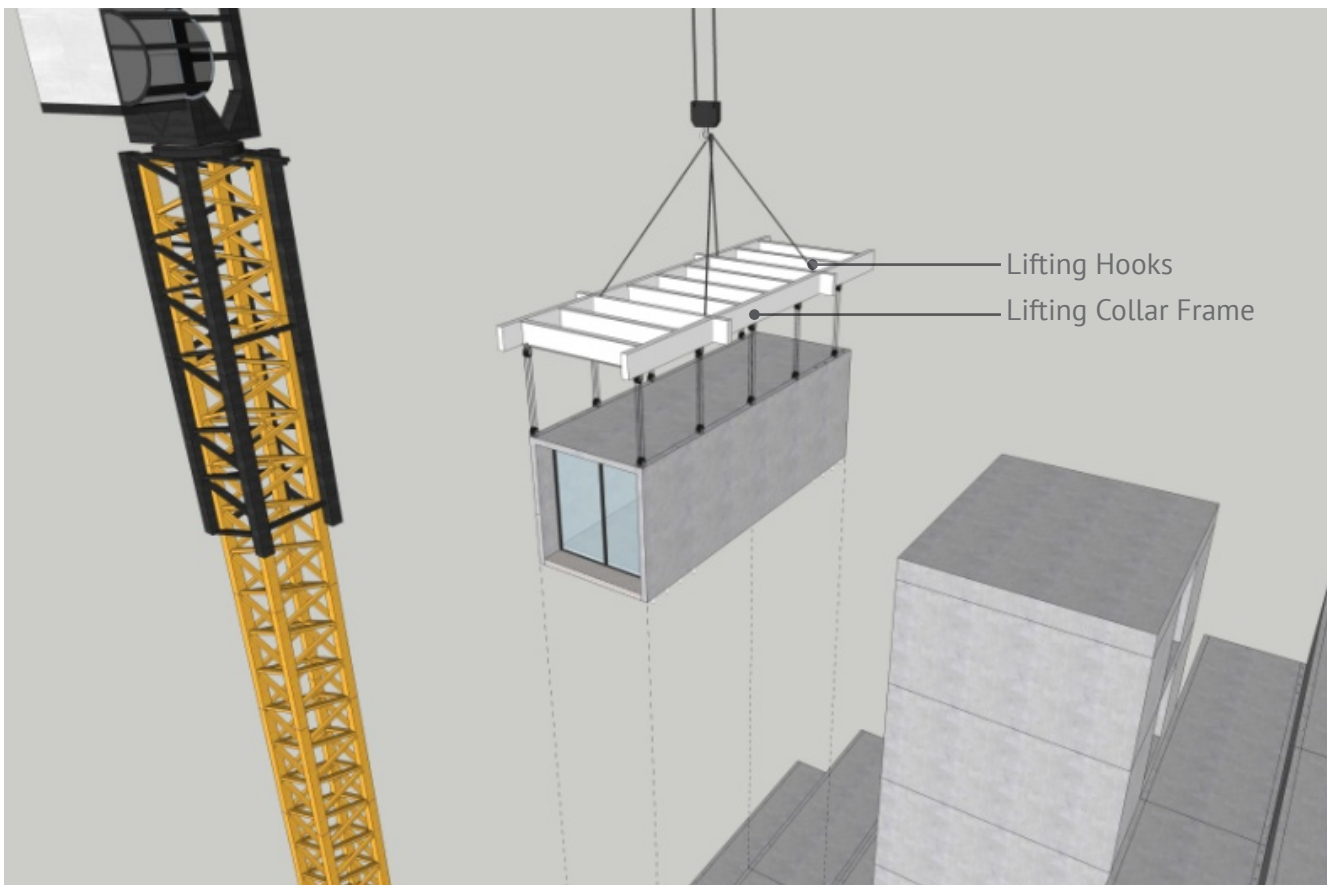


Figure : Modules with Lifting Collar Frame and Hooks

3.2.7 Periodic Structural Inspection (PSI)

Periodic Structural Inspection (PSI) is a requirement for all buildings, be it steel or concrete. However, for Steel PPVC modules, there is an additional access panels with inspection points required to conduct the inspection on critical structures such as steel beams and column joints. These inspection points and the proposed inspection methodologies shall be identified at the onset and be included in the structural plans for fabrication and for authority submission.

To minimise the inconvenience to the building occupiers when the Structural Inspector conducts the inspection in future, these inspection points shall be strategically planned and located at areas that are discreet such as balconies, ac ledges, kitchens or common corridors.

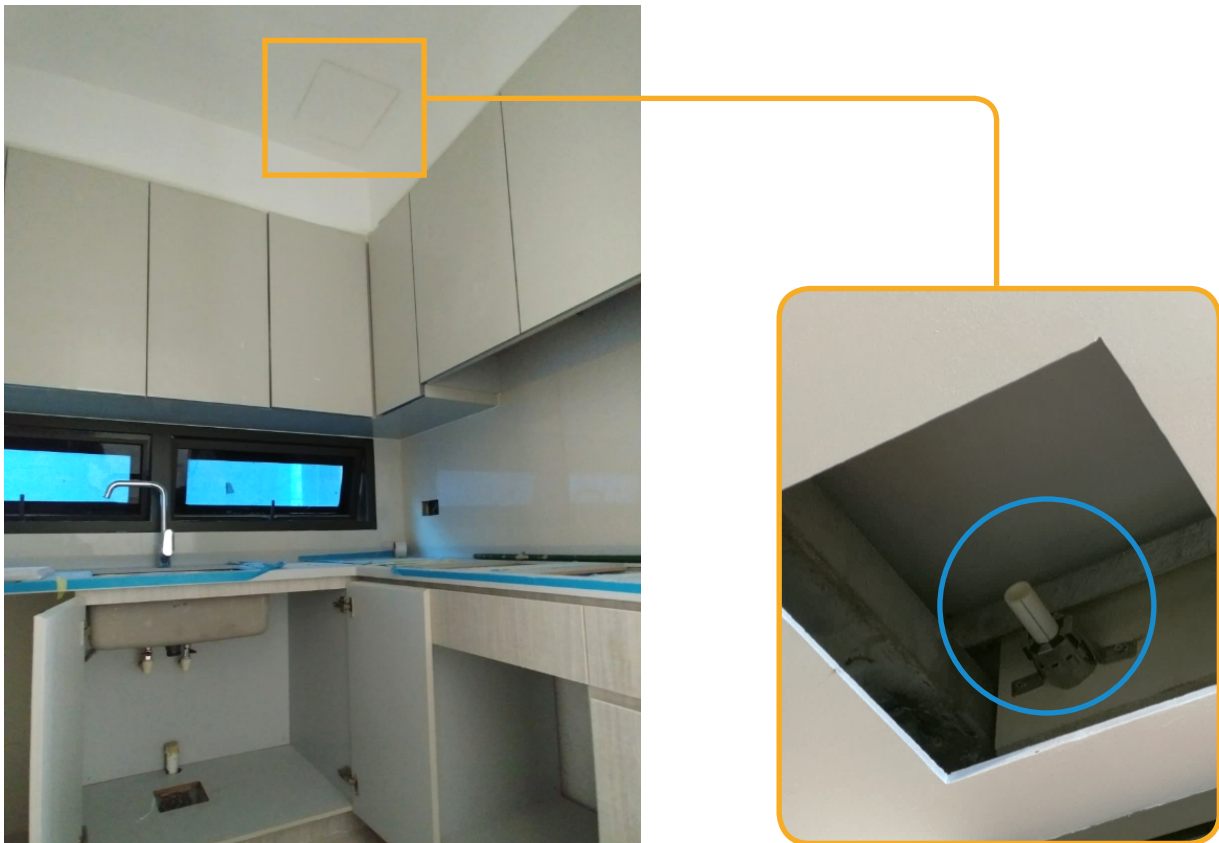
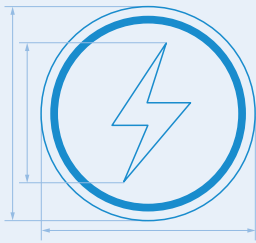


Figure: Example of PSI Point Provision

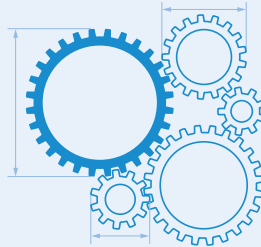
Photographs Courtesy of Surbana Jurong Pte Ltd and Moderna Homes Pte Ltd

3.3 Mechanical, Electrical and Plumbing (MEP) Design Considerations



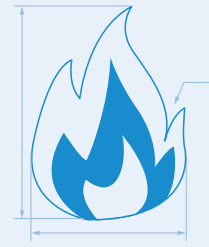
TYPICAL MEP SERVICES

Electrical, lightning protection, water supply, sanitary, ACMV, gas, and any other system are part of PPVC.



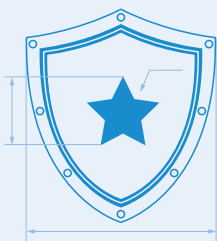
MEP COORDINATION

Early coordination of services will be advantageous. Constraints for installation and maintenance should be addressed early to avoid impact on pre-finished works in the later stage. Upfront design coordination in conjunction with structural prefabrication component is important.



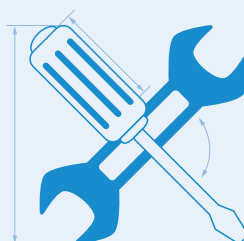
IMPACT TO STRUCTURE AND FIRE SAFETY

Necessary openings, recesses and concealed components shall be included in consideration for structural strength, fire safety measures and other relevant design.



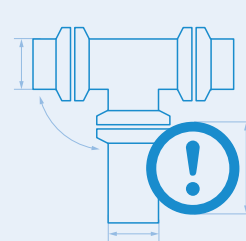
INTEGRITY OF MEP SERVICES

Continuity and system integrity of all MEP services shall be taken care of. Due to the modularisation nature of PPVC, connection of MEP system components between modules may be required. Connection methodology shall not compromise integrity and performance of the system.



ACCESSIBILITY FOR INSTALLATION AND MAINTENANCE

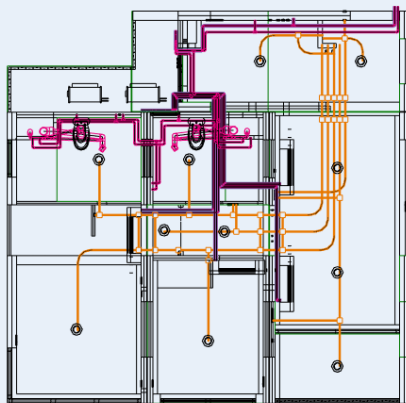
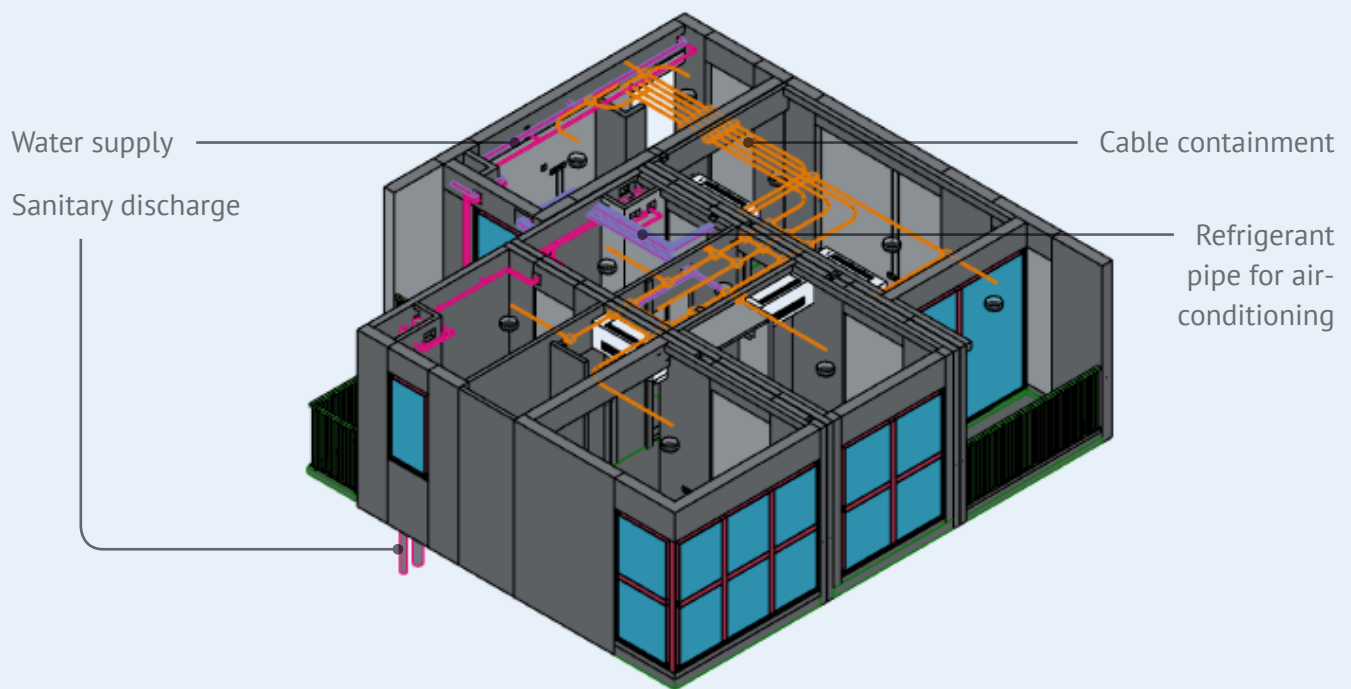
Means of installation shall enable ease of maintenance or future replacement when necessary. Space for installation, maintenance and future replacement shall be allocated. Pipework enclosures (e.g. ducts, castings, etc.) shall be of a suitable size. Sufficient and suitable ready access shall be provided for maintenance, inspection, testing and repairing / replacing of the enclosed pipework.



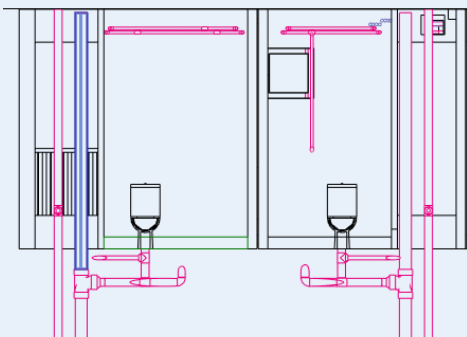
DESIGN AND CONSTRUCTION ERRORS

Tolerance of gradient of pipe-works connections shall be considered. Angle and leveling of fittings may be affected after the module is positioned in-place. Design and planning shall consider tolerance of these level differences.

MEP Design Considerations



PLAN



SECTION



Figure: Sample of Concealed Services in the Ceiling Space

3.3.1 Electrical

- Connection of components including conduit, cable trunking and cable trays.
- Joint of cable infrastructure between modules to ensure proper protection for cable.
- Joint of cable shall ensure complete continuity with acceptable connection methodology, if joint of cable is unavoidable.
- Concealed cable infrastructure not to compromise fire safety.

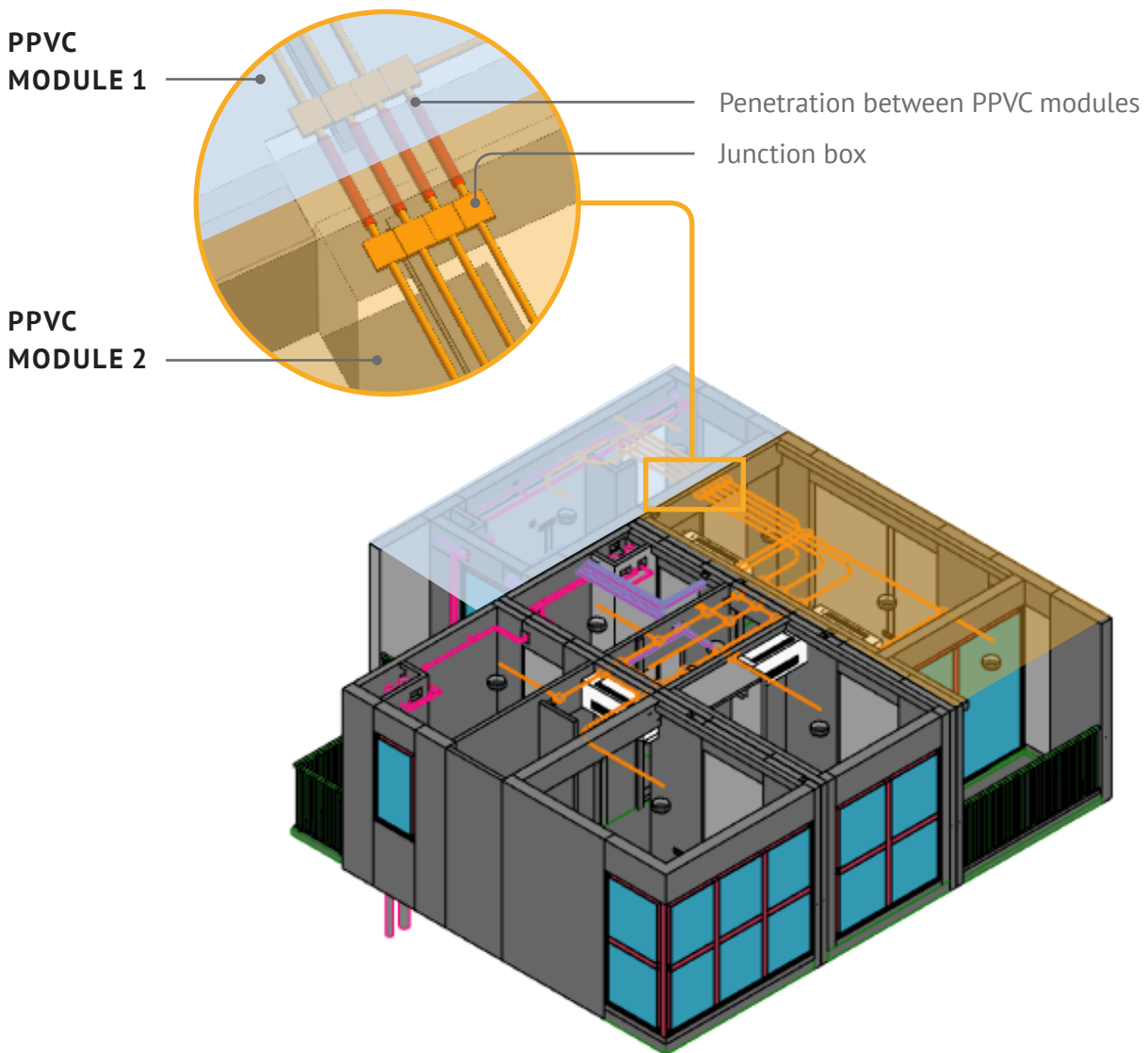


Figure: Electrical Services

3.3.2 Lightning Protection

- Connection of lightning conductor.
- Connection joint shall ensure proper conductivity with acceptable methodology.
- If structure rebar and/or structural steel section is used as conductor, proper measures to be taken to prevent erosion of conductor.

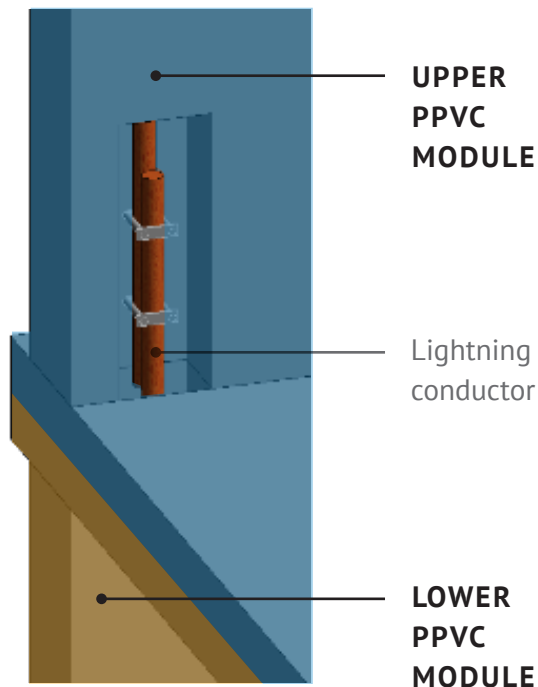


Figure: Lightning conductor connection between modules

3.3.3 Water

- Water fittings that are to be concealed shall be water-tight and suitable for the default conditions (e.g. pressure, temperature and etc), which is likely to be encountered by the water fittings.
- Concealed components embedded in structural elements shall be taken into consideration for structural strength design.

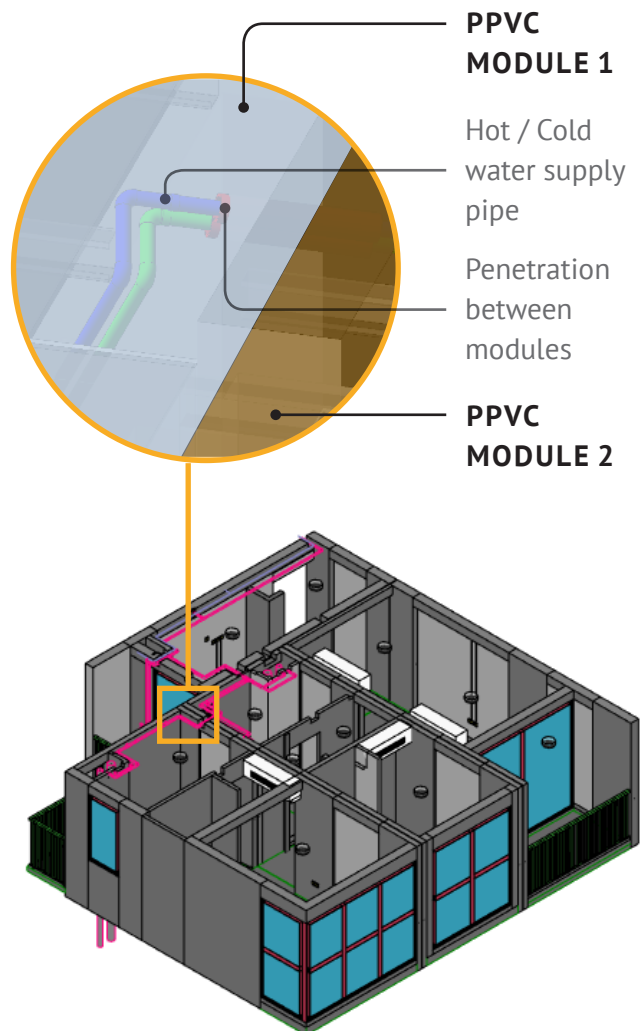


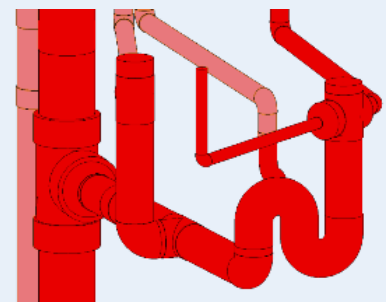
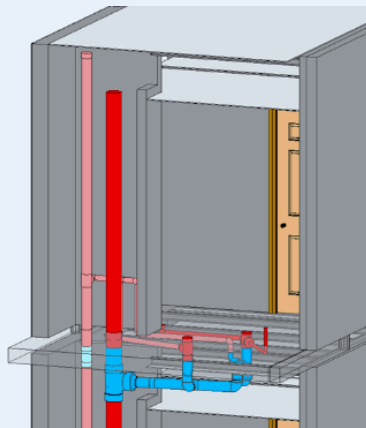
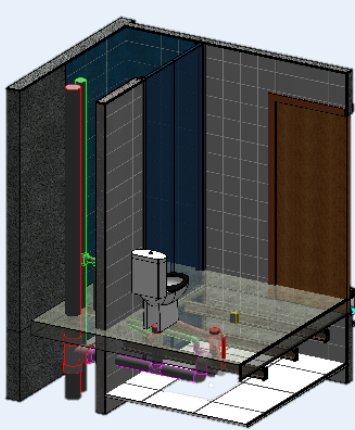
Figure: Water supply routing and connection between modules

3.3.4 Sanitary

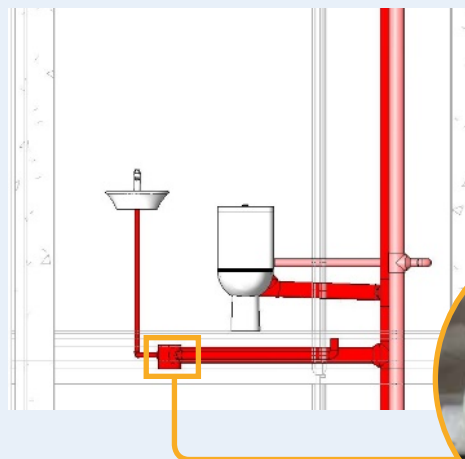
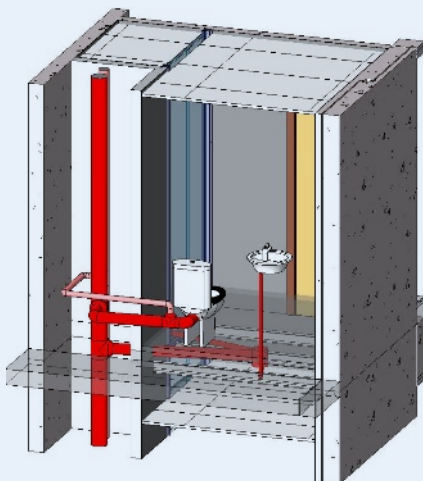
- All sanitary discharge pipes and ventilating pipes shall be laid in accordance with PUB and Code of Practice requirements.
- All gravity discharge pipes shall have suitable gradient to maintain self-cleansing velocity to ensure smooth flow.
- All joints of pipes shall be tested to ensure water-tightness and air-tightness.
- Shallow floor trap shall be of the suitable type and comply with the performance standards prescribed by PUB. For shallow floor trap requirements, please refer to Code of Practice on Sewerage and Sanitary Work.
- Shallow floor trap shall not be used if there are connections from kitchen sink or dishwasher.
- To consider potential slab thickening factor for use of shallow floor trap (subject to regulatory compliance and approval), including impact on weight, transportation and storage requirements.
- Proper protection to all protruding and exposed pipeworks from mechanical damage during transportation, storage and shifting of modules.
- To protect pre-installed pipeworks from heat, ultra-violet radiation and other possible detrimental factors.
- Concealed components embedded in structural elements shall be taken into consideration for structural strength design.
- To ensure suitable access and working space provided for pipe connection between modules.
- Method for future repairing works for clogging or leakage shall be taken into consideration in the design.
- To consider mounting type of WC (floor-mounted or wall-mounted).

Sanitary

CONVENTIONAL FLOOR TRAP



SHALLOW FLOOR TRAP



3.3.5 Air-Conditioning and Mechanical Ventilation

- Connection of air-conditioning components including refrigerant pipe, condensate drain pipe, respective insulation layer, and wiring.
- Joints of refrigerant pipe, if required, shall be able to withstand operating pressure and not be eroded easily.
- Maintenance and repairing measures shall be taken into consideration.
- Connection of mechanical ventilation components including mechanical fan, air-duct and wiring.
- Inspection and replacement access for equipment such as mechanical fan shall be reserved.

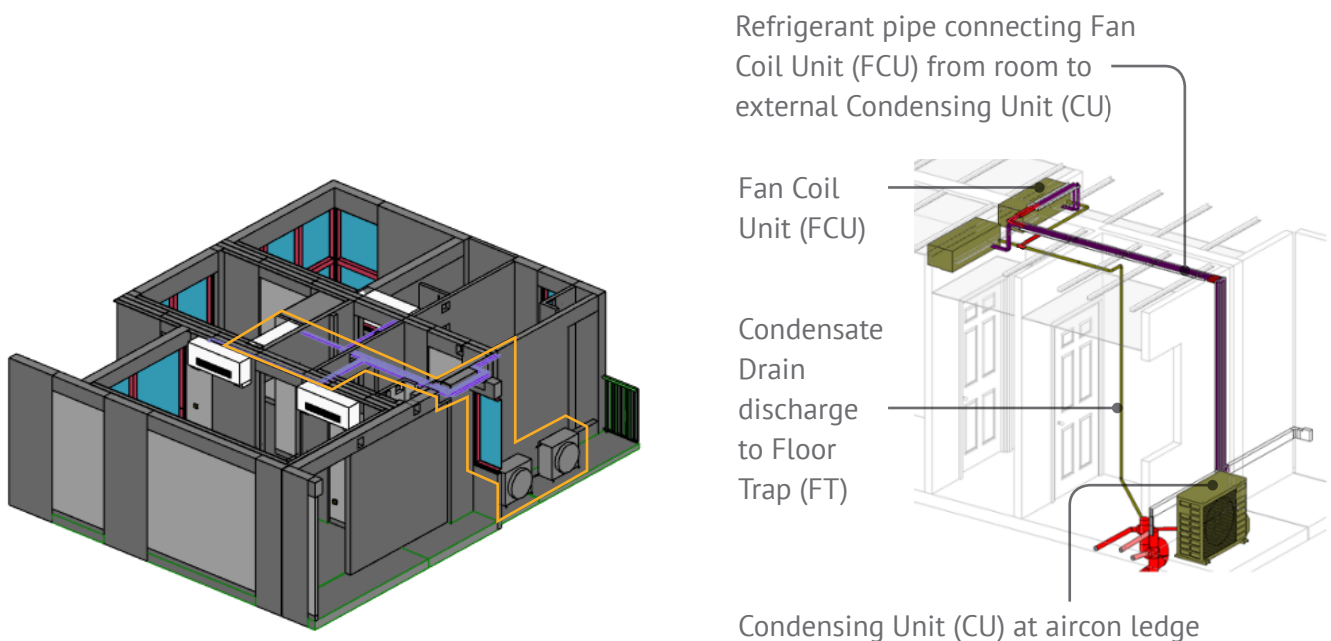


Figure: Air-conditioning and MV Routing

3.3.6 Town Gas

- Connection of town gas supply shall be able to withstand town gas supply pressure and free from leakage.
- Joints shall be treated as necessary to prevent corrosion.
- Concealment, if any, shall be subject to regulatory approval.

3.4 Compliance with Fire Safety Requirements

The design, construction and installation of the proposed PPVC system for building construction shall comply with the fire safety requirements stipulated under the Fire Code.

3.4.1 Compliance of Fire Compartmentation

- To comply with fire resistance rating required for the elements of structure of the building.
- The typical compartment floor between floor levels shall comply with the required fire resistance rating in accordance with the Fire Code requirements for the compartment floor which is an element of structure.
- The compartment walls segregating the dwelling units as well as segregating the dwelling units and fire fighting lobby shall comply with the required fire resistance rating in accordance with the Fire Code requirements.
- Provision of documentary proofs and detail drawings to illustrate compliance of Fire Code requirements of the proposed system in terms of compartmentation, material usage, etc. is required.

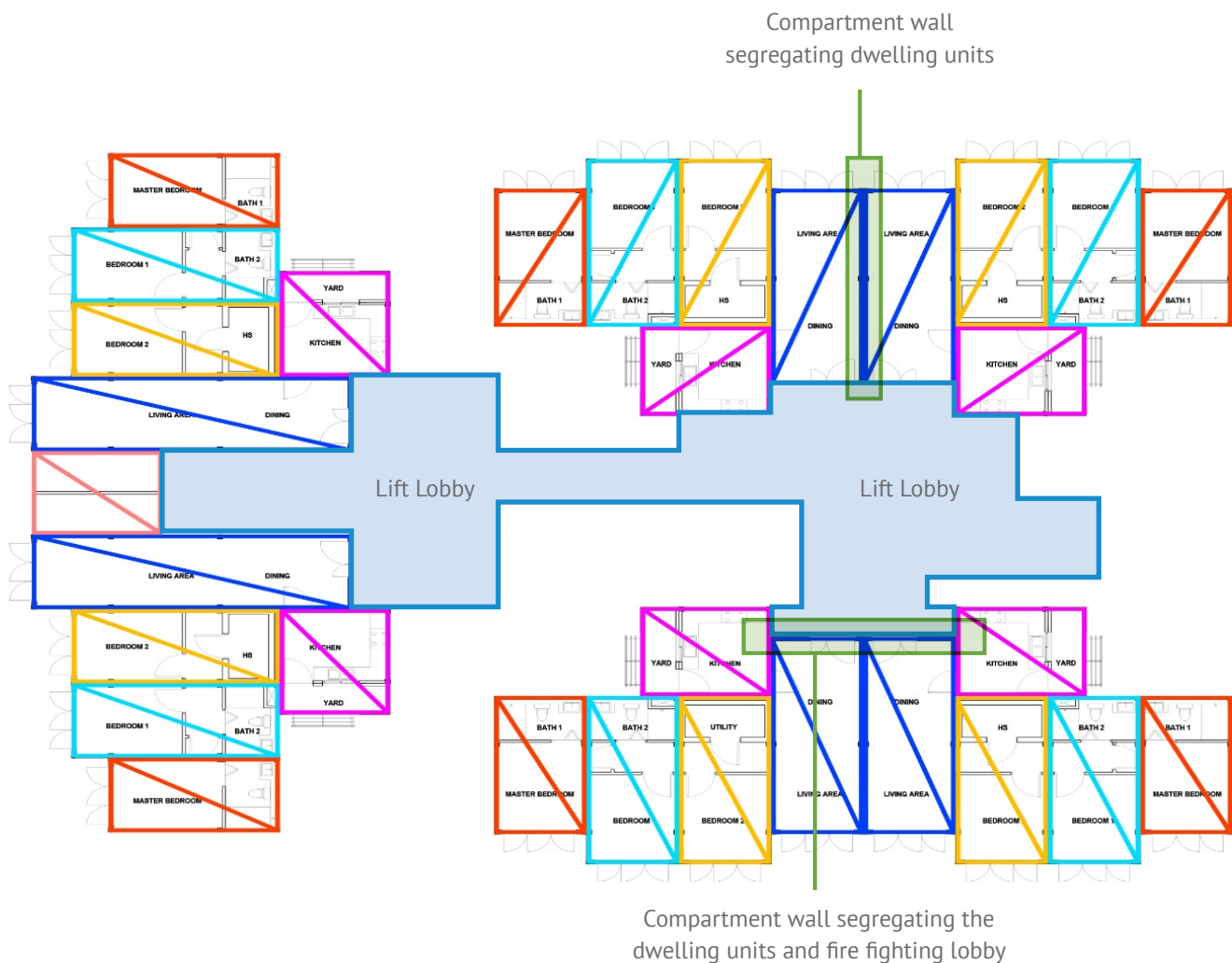


Figure: Example residential tower block plan – Compartment walls

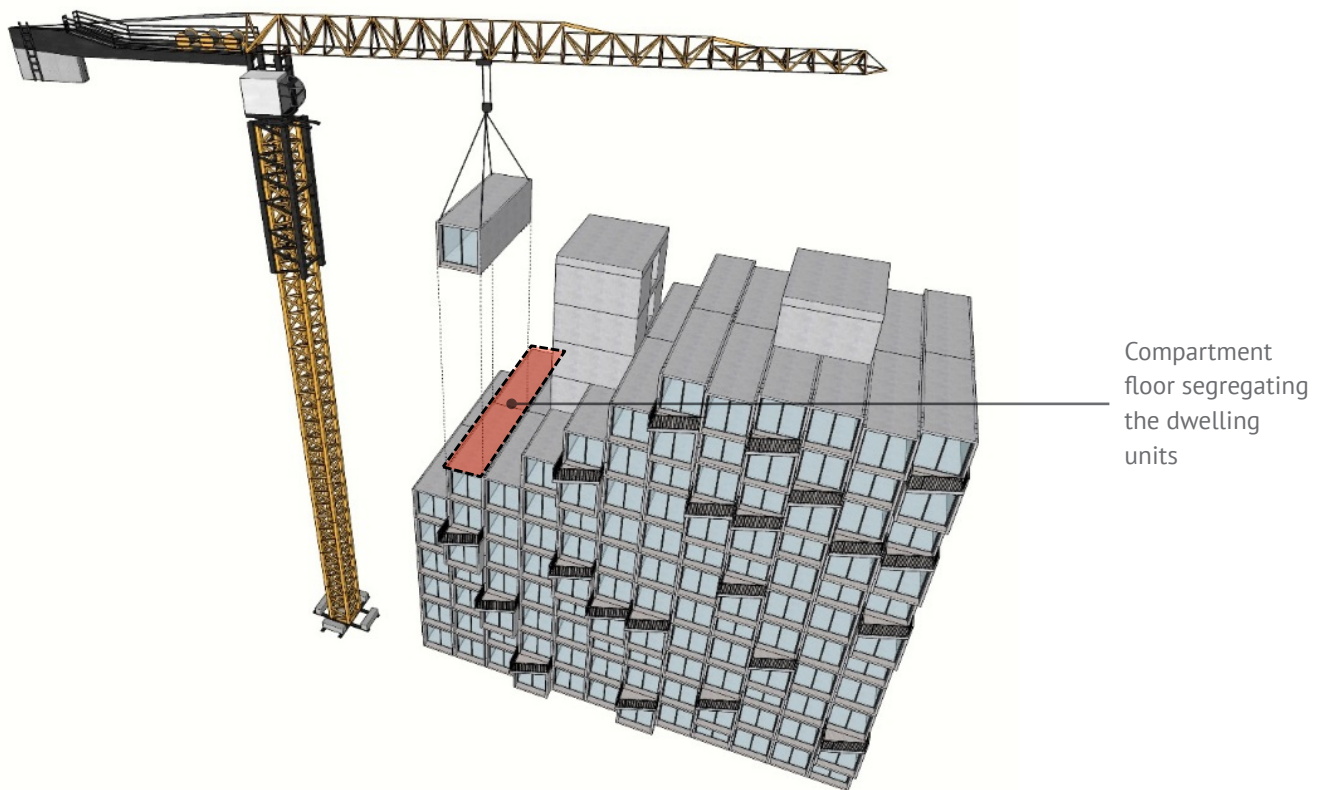


Figure: Example of 3D Modules – Compartment floors

3.4.2 Compliance of Use of Material

- Use of materials has to be considered to ensure the integrity of PPVC modules.
- To comply with the fire safety requirements for the use of plastics in building construction and the fire safety requirements for incorporating services within fire-rated dry construction in buildings.
- The use of building products/materials/systems shall comply with the fire test performance requirements stipulated in the fire safety guidelines for certification of regulated fire safety products/materials of the Fire Code. Fire test performance reports from accredited test laboratories & Certificate of Conformity (COCs) / Declaration of Compliance (DOC) for regulated fire safety products from Certification Bodies (CBs) accredited by Singapore Accreditation Council (SAC) shall be provided for the proposed products/materials/systems.
- If overseas accredited testing laboratory recognised by Singapore Accreditation Council (SAC) is engaged to conduct the fire performance tests for the proposed products/materials/systems, the test performance reports shall be certified by any of the accredited Certification Bodies (CBs) in Singapore before they can be used for building construction in Singapore.
- To consider early engagement of the certification body and registered inspector (RI) to conduct factory inspection at the overseas manufacturing plant for certification and conformity of regulated fire safety products/materials/systems.

PPVC Module Production

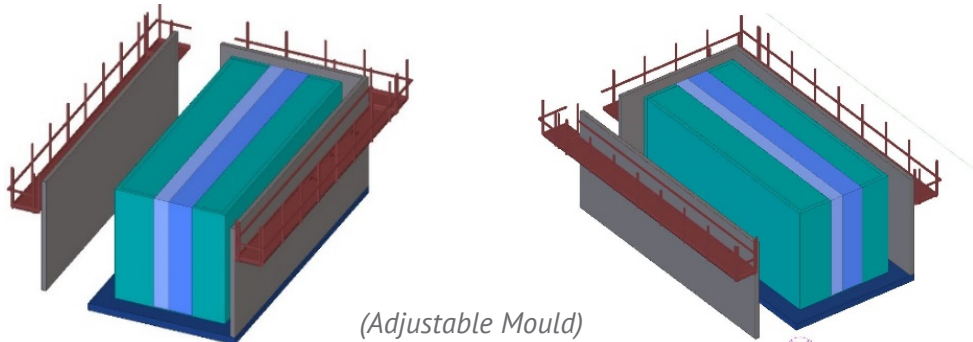
4.1 Reinforced Concrete (RC) PPVC Production

4.1.1 Mould Process

Moulds are fabricated in steel with comprehensive design to withstand the handling and production process for the lifetime required in production. These moulds are three-dimensional and may be adjusted to cater for several combinations of dimensions. The factors that influence the concept of mould design are as follows:

1

Mould design



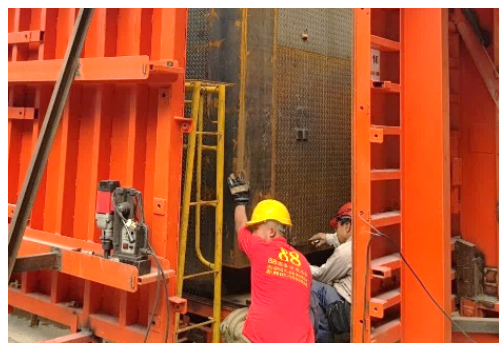
2

Mould fabrication



3

Mould delivery to factory and setting up at factory

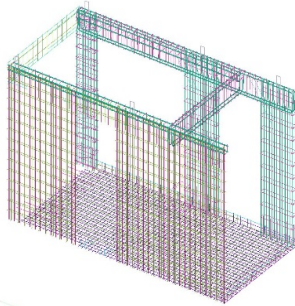


4.1.2 Structural and MEP Works

Reinforced Concrete modules can be produced by integrating structures like column, beam, wall and slab as a single module. The production process comprises of the following steps:

1

Reinforcement cage fabrication



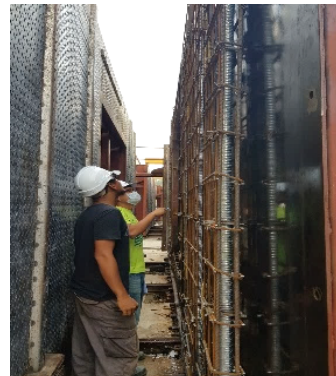
2

Installation of MEP and other cast-in items



3

Inspection prior to concreting



4

Concreting works



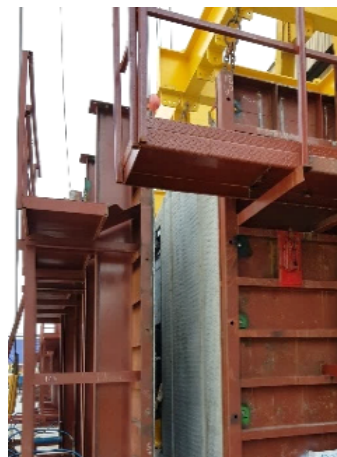
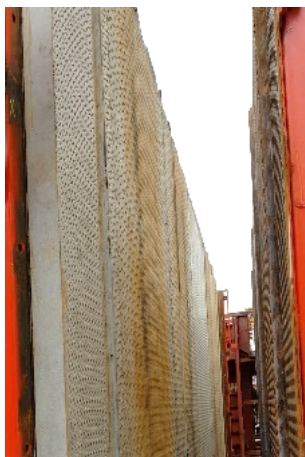
5

Upon completion of curing, demoulding and post-pour inspection

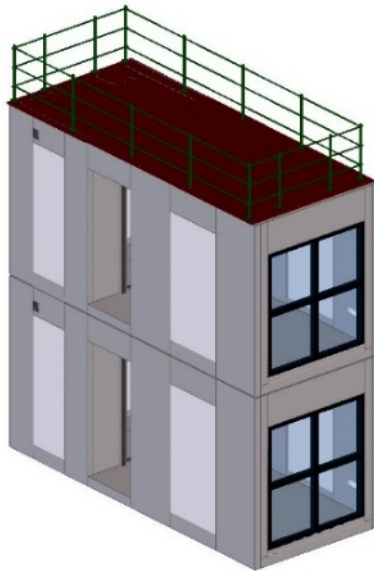


6

Demoulding and hoist up of the modules



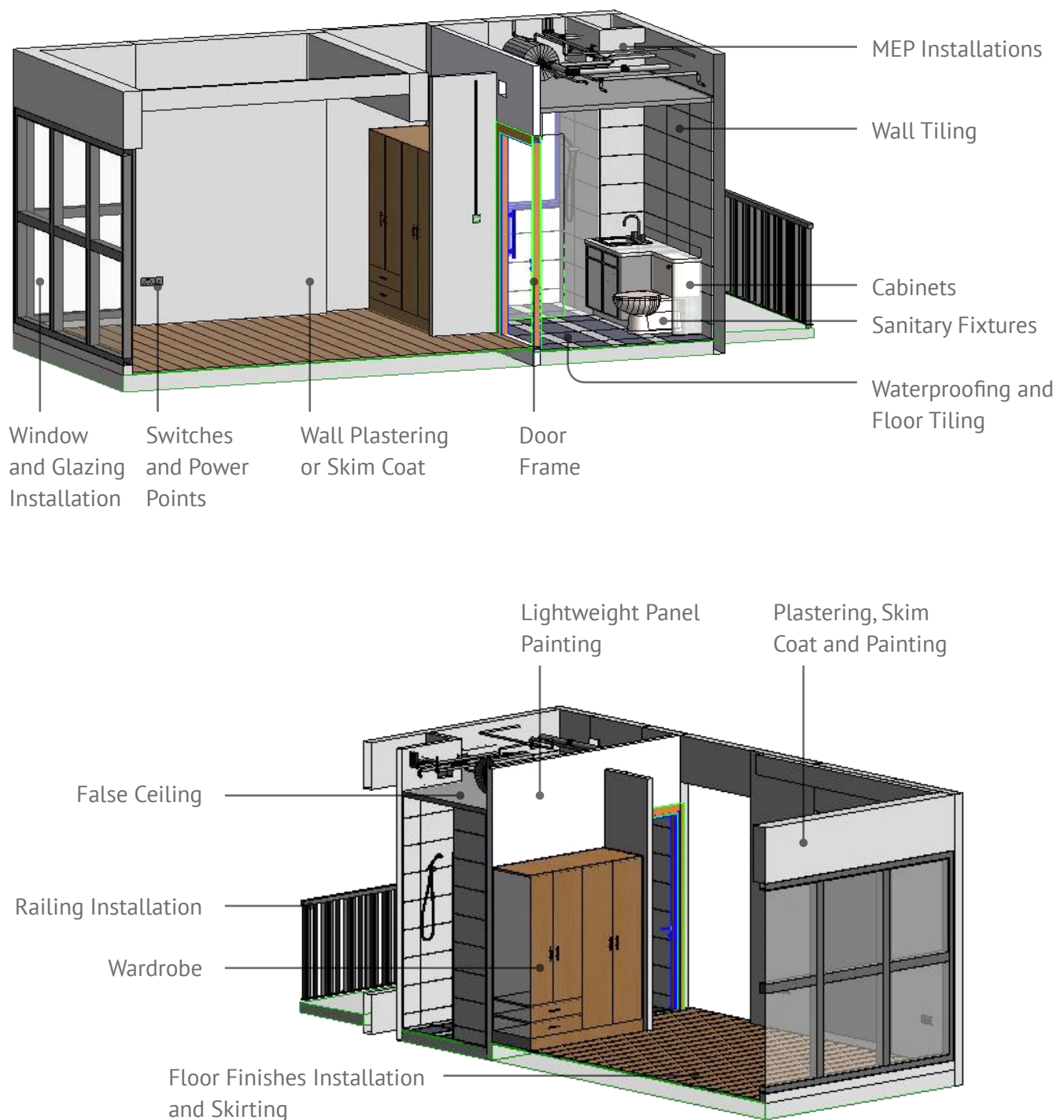
Shifting / turning and storing the modules



Upon the completion of the shell, there shall be a trial assembly off-site to check the vertical and horizontal alignments, as well as the check on the continuity of the MEP services. Water (hydrostatic) test and air-pressure test in accordance with PUB's requirements shall be carried out on all sanitary pipes prior to Architectural works.

4.1.3 Architectural Finishing and MEP Works

The architectural works shall be executed under the sheltered environment, by trained specific trades off-site. The works shall comprise the following in the sequence of execution and on levelled platform.



1

Levelling the module, and checking for alignment and dimensions



2

Installation of light weight panels



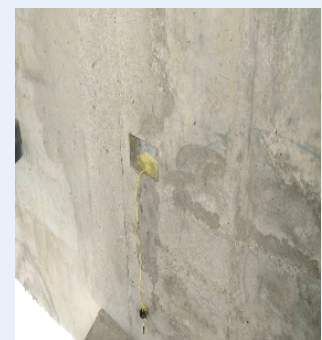
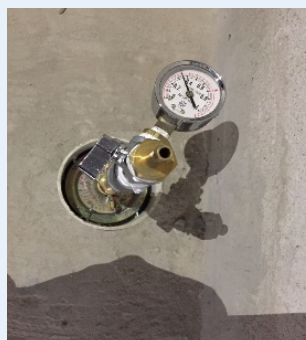
3

MEP installation



4

Testing of MEP installations



5

Structural Ponding test, waterproofing application and waterponding test



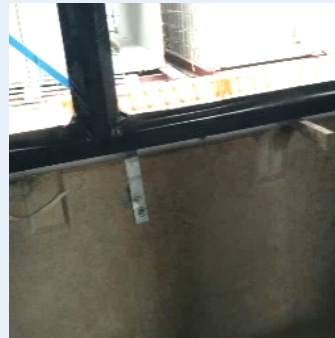
6

Floor screeding works



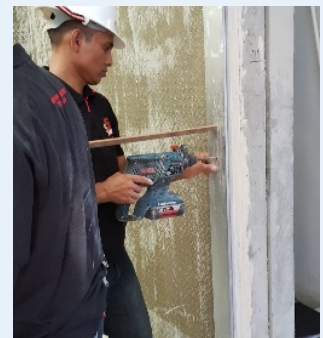
7

Fixing of window frame and glazing



8

Installation of door frames



9

Wall tiles installation



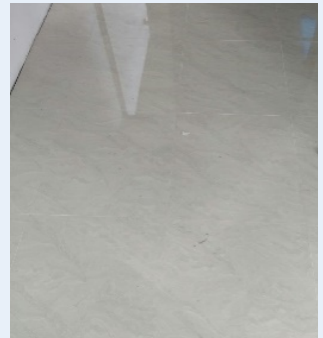
10

Plastering and skim coating works



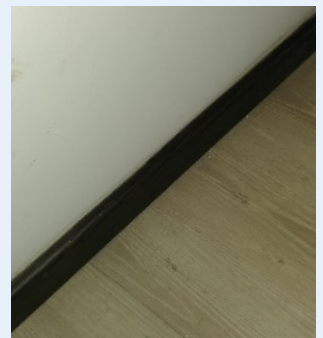
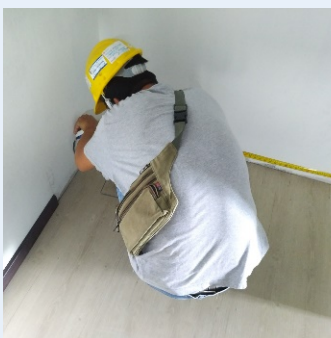
11

Floor finish installation



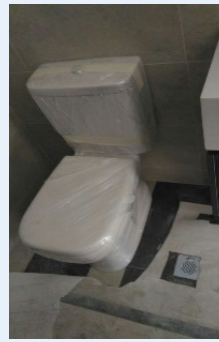
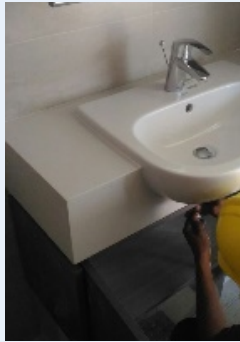
12

Floor finish installation



13

Installation of bathroom/sanitary fixtures



14

Installation of wardrobe



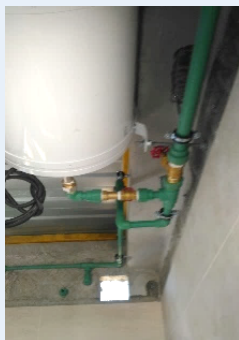
15

Installation of cabinets



16

Completion of MEP piping and accessories



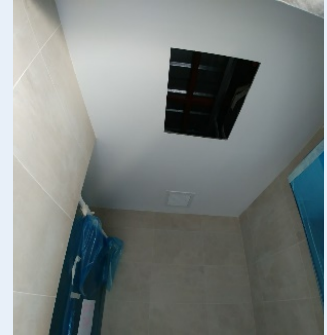
17

Installation of railing works



18

Installation of false ceiling



19

Painting works



20

Protection of the completed works



4.2 Steel PPVC Production

In order to ensure accuracy of the final product, special care must be given to each fabrication process, starting from design and fabrication of 2D and 3D jigs, procurement and preparation of structural steel member and the selection of the process, work sequence, method, machine and consumables used in the welding work.

Whenever possible, customised welding robots could be used in place of manual welding to reduce the reliance on manpower and to increase productivity.

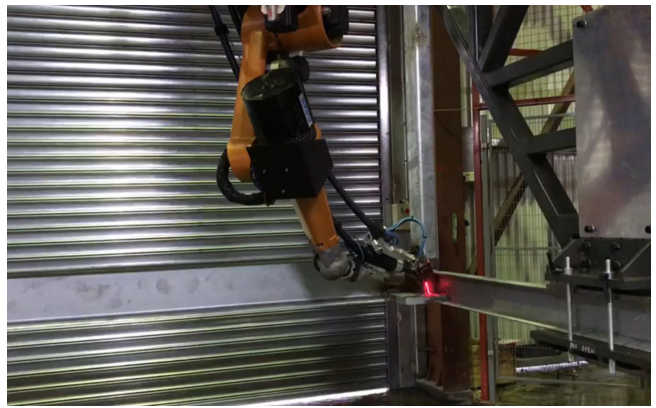


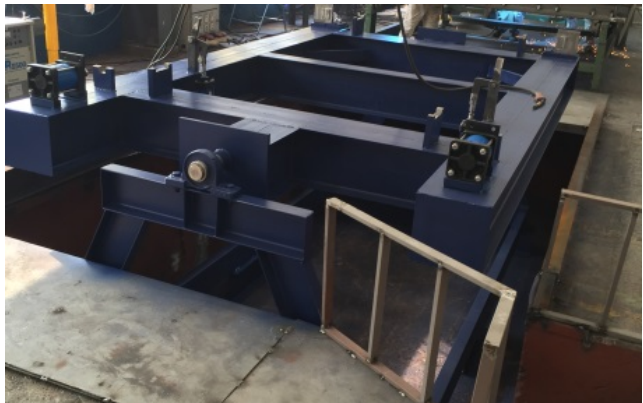
Figure: Robotic Welding Machine

Photographs Courtesy of Tiong Seng Contractors Pte Ltd and Steeltech Industries Pte Ltd

4.2.1 2D and 3D Jigs

The jigs used in the fabrication work are designed and fabricated to withstand additional force caused by heat transmitted between and within the steel sections to ensure the accuracy of the 2D frame and 3D shell remain unchanged during and after welding work.

The total number of jigs required for each project is determined by the design and type of modules, the fabrication schedule/rate and the flexibility of the jigs. It is different from project to project.

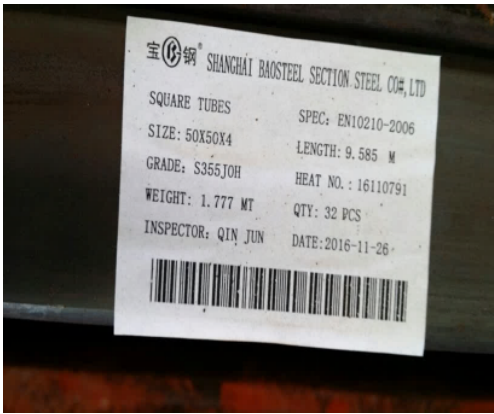


Photographs Courtesy of Moderna Homes Pte Ltd

4.2.2 Fabrication Process

1

Validation of raw material against Factory Production Certificate (FPC) and Mill Cert



2

Preparation and cutting of material



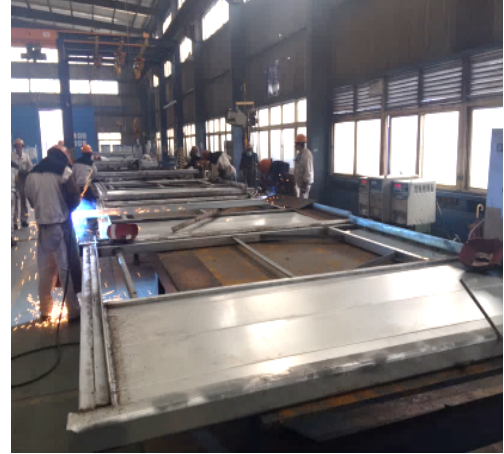
3

Engraving for ease of identification and validating of galvanised thickness



4

Fitting and welding of steel members to 2D frame



5

Fitting and welding of 2D frame into 3D shell



6

QC check on welding quality



7

Trial stack to ensure overall dimension and accuracy



8

Installation of M&E piping/conduit



9

Installation of drywall - studs, insulation, fireboard and/or plaster board



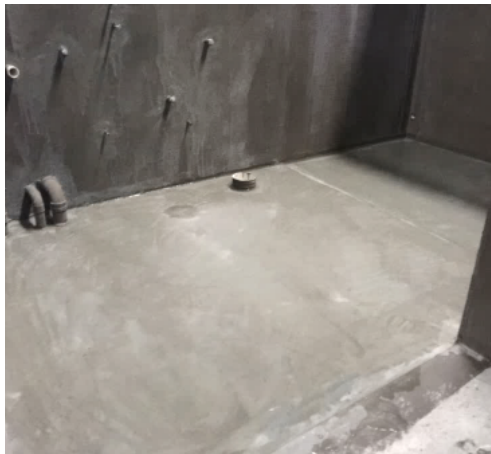
10

QC check - on drywall quality



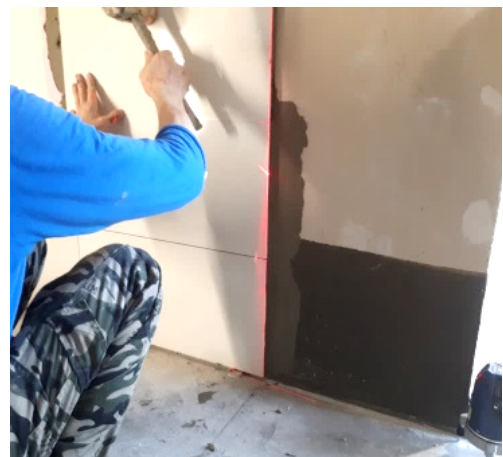
11

Waterproofing and water ponding test



12

Tiling work – for floor and wall



13

QC check and tile protection



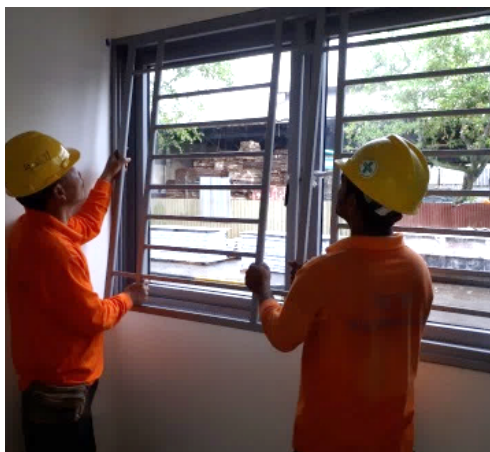
14

Installation of window frame, glazing and water tightness test



15

Installation of window grille and door frame



16

Installation of external cladding and ledge



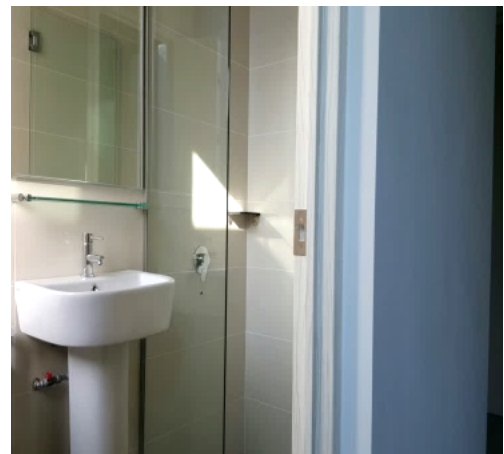
17

Painting - basecoat, 1st coat and 2nd coat



18

Installation of wardrobe and fixing of plumbing/sanitary ware



19

Protection of modules (from water ingress) before delivery



20

Delivery and installation of PPVC modules



21

Modules installed on site



Photographs Courtesy of Office of Development & Facilities Management, Nanyang Technological University



Photographs Courtesy of NorthernOne Development Pte Ltd and Surbana Jurong Pte Ltd

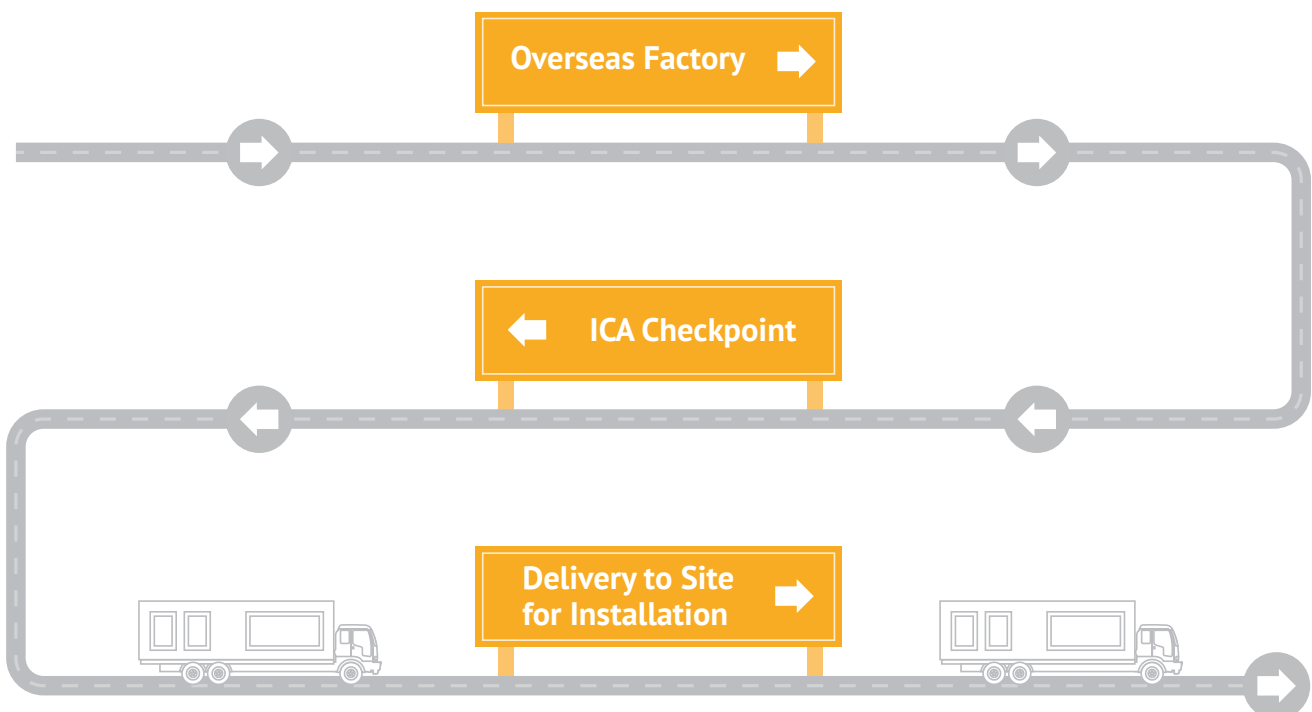
Protection, Transportation and Lifting

5.1 Transportation Plan

In order to ensure the quality of the PPVC modules, it is important to set up a comprehensive Transportation Plan to analyse and mitigate issues brought about during deliveries. This is to avoid potential damage to the module in long distance travel. The Transportation Plan shall comply with LTA's traffic regulatory requirements.

At the same time, Just-In-Time (JIT) delivery concept shall be studied with the transportation issues in order to ensure the following:

1. The right time of delivery,
2. Manage site storage,
3. Optimise crane usage,
4. Minimise the hoist and handling of PPVC

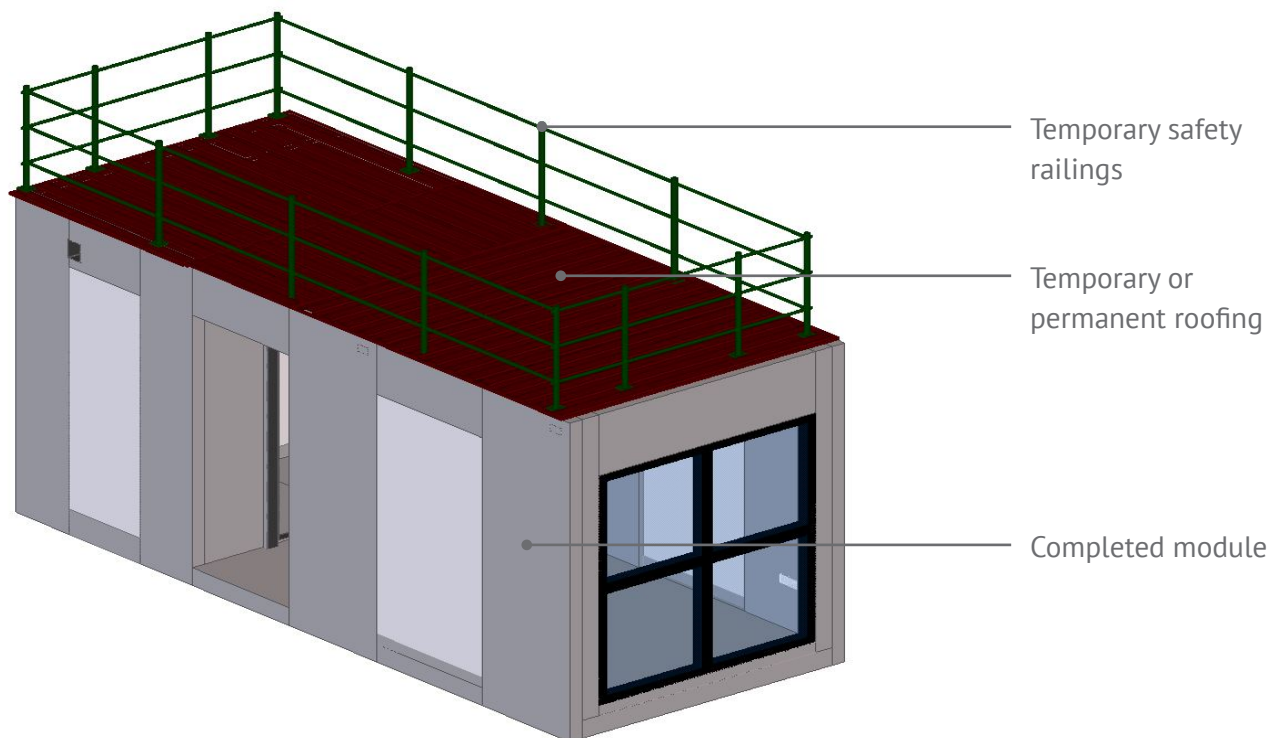


5.2 Packaging, Protection and Labelling

- Packaging of the finished PPVC product shall be controlled and inspected to ensure conformance with the specified and/or contracted requirements.
- The protection to completed PPVC modules shall be provided to the extent necessary to prevent potential damage, deformation or deterioration of the installed finishing components and/or to the structure while in transit or during unloading at project site. This includes the provision of appropriate protection sheet to internal finishes and to the external surface of structures.
- All finished PPVC modules shall have the manufacturer's label and installed for identification.

5.3 Module Cover (Temporary or Permanent)

- Module cover shall be manufactured according to size and design requirements (applicable to Reinforced Concrete PPVC).
- Temporary or permanent covering method depends on the project specification. An approval should be sought prior to installation.
- Installation of cover shall be inspected and approved prior to any handling for delivery.



Construction and Project Management

6.1 Location of The Project and Adjacent Areas

- The condition of the roads surrounding the project must be able to accommodate the weight and size of the PPVC module delivery.

6.2 Access and Traffic Management for Trailers with Heavy Cargo

- The access to and within the site must be able to accommodate trailers with heavy cargo. Slopes and undulating terrain might prove to be a challenge for heavy vehicles. The turning radiuses of the trailers has to be considered during the planning stage of the site to avoid choking of vehicle access.
- Trailers with heavy cargo pose potential hazards upon entering while navigating the site. Traffic controller has to be employed to ensure smooth traffic management within the site.



6.3 Consideration of Just-In-Time (JIT) Operation

- Unlike conventional precast, PPVC modules are unable to be stored on site. Therefore, a Just in Time (JIT) installation could prove to be efficient and productive. The rate of installation has to be determined for a smoother JIT operation.
- Precast supplier can further employ systems such as Traffic Monitoring and GPS for Prime Movers to better facilitate deliveries. This will in turn make JIT operation smoother and more predictable.
- It is advisable to have space for unloading and storage in the event where JIT installation is not possible, e.g. during inclement weather, etc.



6.4 Types of Cranes

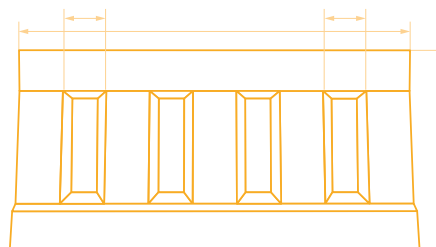
- The crane employed must be able to handle the weight of the PPVC modules, but at the same time be able to provide enough coverage for the intended block.
- Contractors shall seek approval from the relevant authorities on the maximum allowable AMSL clearance for erection of cranes.



6.5 Safety



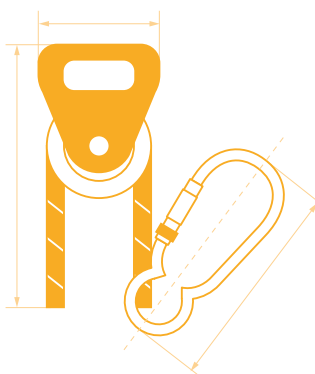
A comprehensive risk assessment shall be established to identify all potential hazards. Appropriate control measures must then be set up, communicated and implemented before the commencement of works.



A comprehensive Fall Prevention Plan with Safe Work Procedure and appropriate control measures have to be established. Control measures such as safety barricades shall be provided for all open sides where a person may fall. Such barricades can only be removed during installation when the precast component is hoisted near its designated position.



All workers who are carrying out work at height shall be provided with the appropriate Personal Protective Equipment such as a personal fall arrest system. They shall be trained in the proper use of the system and ensure that the system is in place at all times.



All lifting gears and equipment are to be in serviceable condition. Checks have to be conducted by Accredited Checkers periodically to ensure workers are working with safe and functional equipment.

Installation

7.1 Access and Egress

- An access has to be provided for workers to move in and out during an installation. Any open area will have to be covered with safety barricade to prevent any worker from falling from height. A clearly demarcated egress has to be provided as well to allow workers to exit the work area in the case of an emergency.

7.2 Vertical and Horizontal Alignments

- Special attention has to be given to the alignments during installation. The method statement for installation should indicate clearly how proper alignments can be achieved to prevent any abortive works.
- Improper vertical and horizontal alignments cause external gaps which require additional touch-up work such as hacking and plastering. Windows and/or any external fixtures will look slanted as well.



Vertical Misalignment



Horizontal Misalignment

- MEP services including lightning protection system, sanitary and rain water discharge system etc. require proper vertical continuity connection. Installation of P-trap, S-trap if required, shall not impact finishes done up in a factory. If vertical concealed shaft is provided, space for installation works shall be allocated to facilitate vertical connection works.
- For MEP services that require installation works horizontally crossing modules, (including wiring, pressurized pipeworks, gradient pipeworks), the method of connection, if required, shall not compromise the level of continuity. All point of connections shall be properly secured by proper support. Method of connections shall not compromise the gradient required for gradient-pipeworks. Proper protection to finishes to be provided if hot work is required for connections. Installation works shall be done via the space allocated for installation works.

7.3 Sequencing of the Modules Installation

- It will be useful to work out the installation sequence of components to best maximise productivity during installation. E.g. it might be easier to install modules facing the external and work towards the inner modules.

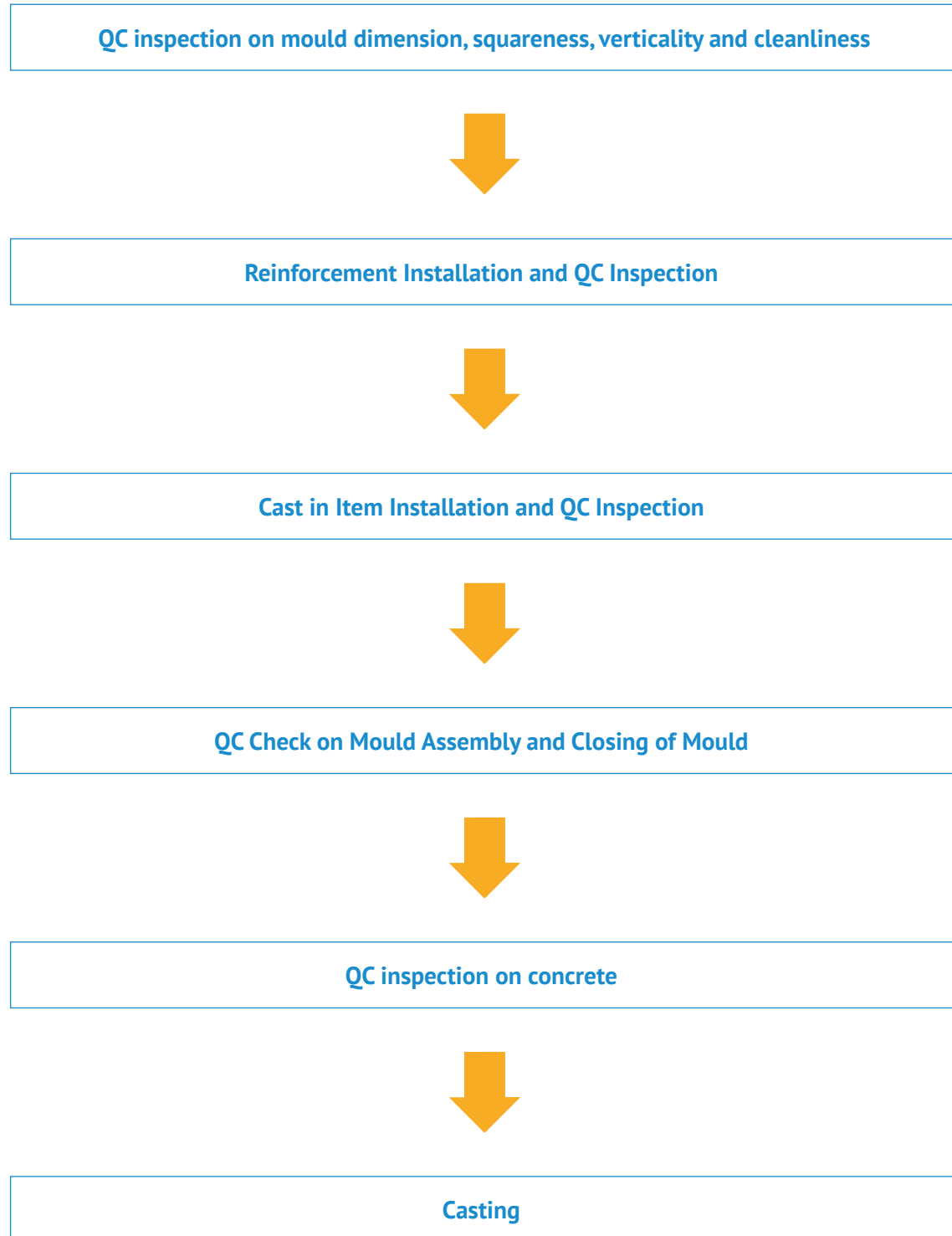
7.4 Safety

- Workers are prone to high-risk activities such as Lifting Operation and Fall from Height. Proper safety equipments are be provided to ensure the well being of the workers are taken care of.
- Safety documents such as Risk Assessment and Safe Work Procedure are to be submitted and vetted thoroughly by the site safety officer. Safety Instruments are to be checked regularly. Daily Permit to work has to be submitted dutifully to ensure workers work in a safe environment.

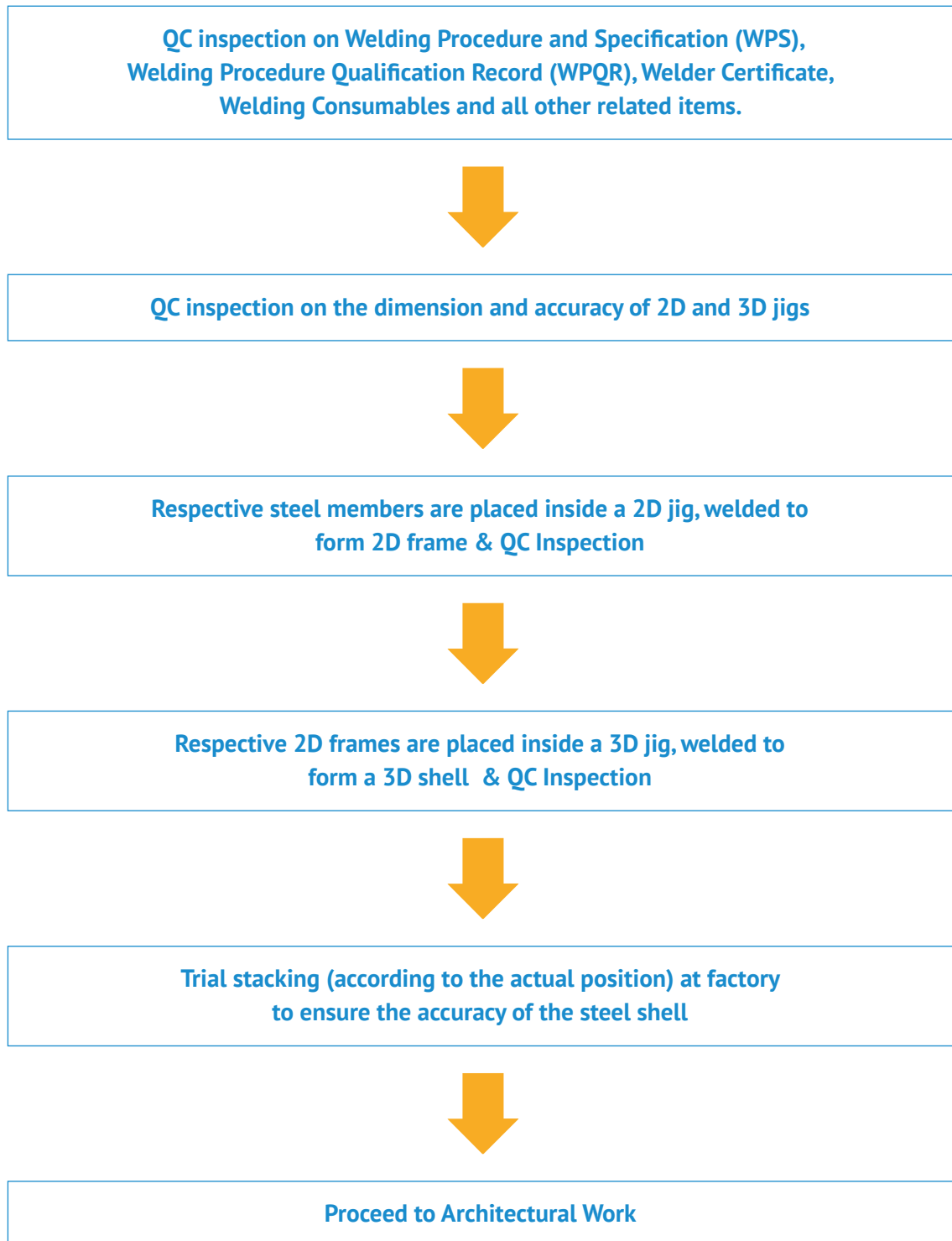
Critical Inspection and Quality Check

8.1 Quality Checks

8.1.1 Reinforced Concrete PPVC

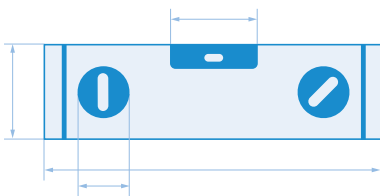


8.1.2 Steel PPVC



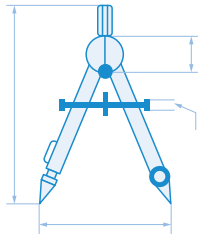
8.2 Structural Works

The modules shall be pre-assembled before proceeding with the following inspection and finishing works.



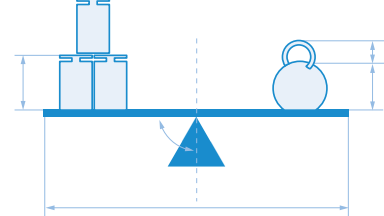
LEVEL AND ALIGNMENT

The level and alignment shall remain within the tolerance limits.



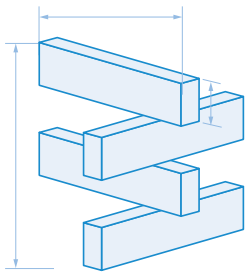
VERTICALITY

Finished module shall maintain its verticality not greater than the stipulated tolerance for PPVC.



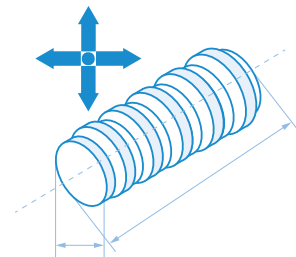
BULGING

No bulging of all structural elements, as this will decrease the stability of the structures.



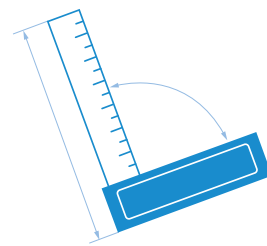
POSITION OF CONTINUITY

It is significant to maintain the position of reinforcement continuity to increase the speed of installation of precast module.



LOCATION OF CAST IN ITEMS

The location of the cast-in items shall be checked and verified prior to casting to avoid a redo/rectify.



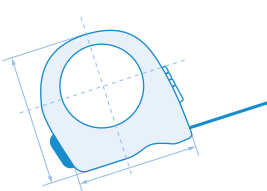
TWISTING OF MODULES

All precast modules shall not be greater than the allowable tolerance of all corners. This will apply to the installation with regards to level, alignment and verticality.



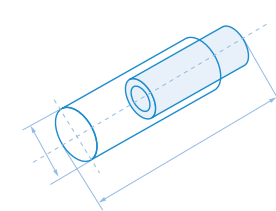
FIRE AND CORROSION PROTECTION

Passive fire protection layer and corrosion protection layer for all structure steel members must be checked and confirmed to ensure the compliance to the code.



STRUCTURAL OPENING POSITION AND DIMENSION

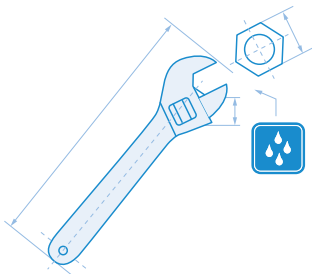
This will not be less than the actual dimension of doors, windows and etc.



MEP OPENING

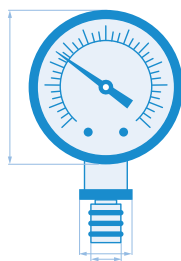
Shall be larger than the actual size of the pipes.

8.3 MEP Works



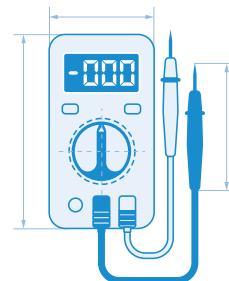
WATER TIGHTNESS TEST

To ensure that pipe works are water-tight before and after the architectural finishing works.



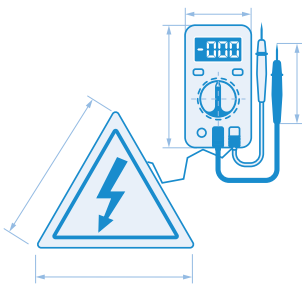
PRESSURE TEST

To ensure no leakage for pressurised pipe works.



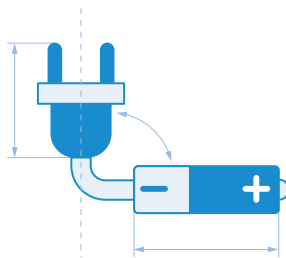
CABLE CONTINUITY TEST

Shall be carried out to ensure cable and wiring condition.



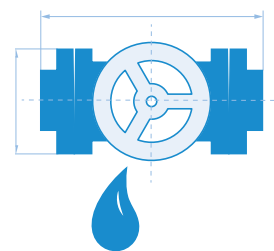
EARTHING MEGGER TEST

To be carried out after module is completed to check on the continuity of conductors for lightning protection.



ELECTRICAL PHASE CHECK

Required to ensure load is distributed in accordance to design among phases.



SHAFT LEAKAGE INSPECTION

To be carried out in conjunction with water-tightness test of vertical pipe shaft.

8.4 Architectural Works



Figure: Alignment verification.

VERTICAL AND HORIZONTAL ALIGNMENTS

Shall incorporate from the given 1 meter datum and offset line before finishing works.



Figure: Levelling of module

LEVELLING

To ensure that the module is levelled and set before the start of the finishing works.



Figure: Lightweight Panel Installation

LIGHTWEIGHT PANEL INSTALLATION AND QC CHECK

This will be installed as per the approved materials and shop drawing. Adhere to approved method statement to ensure that the execution falls within the acceptable tolerance.



Figure: Waterproofing Application

WATERPROOFING APPLICATION AND QC CHECK

Application of waterproofing shall be carried out by a qualified waterproofing installer. To adhere to approved materials and method statement to ensure that the waterproofing are installed accordingly.



Figure: Water Ponding Test

WATER PONDING TEST

Shall comply with the approved method statement.



Figure: QC Check on Tiling

TILING INSTALLATION AND QC CHECK

All materials and method statement as well as shop drawing shall be approved by the relevant consultant/s. It is important to check the batch delivery to control the tonality of the tile. Only a qualified tiler can install the tile.



Figure: Alignment verification.

PULL-OUT TEST

This will be carried out by an accredited laboratory.



Figure: Spray Test

SPRAY TEST

Shall comply with the approved method statement.



Figure Skim Coat Application

SKIM COATING APPLICATION AND QC CHECK

All materials as well as the method statement recommended by the manufacturer shall be approved.



Figure: Floor finishes Installation

FLOOR FINISHES QC CHECK

All materials and method statement and shop drawing shall be approved by the relevant consultant/s.

All materials and method statement shall be approved by the relevant consultant/s.



Figure: WC Installation

KITCHEN AND SANITARY WARE INSTALLATION AND QC CHECK

All materials, shop drawings and method statement shall be approved by the relevant consultant/s.



Figure: QC check on Window Installation

DOOR AND WINDOW INSTALLATION AND INSPECTION

All materials, method statements and shop drawings shall be approved by the relevant consultant/s.



Figure: Railing Installation

RAILING INSTALLATION AND INSPECTION

All materials, method statements and shop drawings shall be approved by the relevant consultant/s.



Figure: Painting Application

PAINTING APPLICATION AND INSPECTION

All materials and method statement shall be approved by the relevant consultant/s.

Maintenance, Replacement and Renovation

9.1 Maintenance and Renovation

It is essential to exercise care during renovation to prevent damage to the unit. The trained renovator engaged for the project should use the appropriate tools and follow the instructions in the homeowner user manual.

- The renovator should be trained.
- It is important to use appropriate tools for renovation works.
- Exercise due care when renovating, replacing tiles, etc. by referring to the homeowner user manual.



9.1.1 Homeowner User Manual

Besides engaging a trained renovation contractor, homeowners should have a ready reference of the PPVC system used in the unit. It is good practice for developers/builders to provide a homeowner user manual of the PPVC upon completion of the project. The homeowner and subsequent buyers of the unit should obtain a copy of the homeowner user manual after taking over the unit and follow the recommendations on maintenance and renovation to PPVC units provided in the manual.

The information in the homeowner user manual could include (but not limited to) the following:

GENERAL INFORMATION ON PPVC

- (i) Introduction to the PPVC installed
- (ii) Safety notices
- (iii) Instruction for use

STRUCTURE OF THE PPVC

- (i) Floor
- (ii) Wall
- (iii) Ceiling
- (iv) Water piping
- (v) Sanitary discharge pipe/vertical soil stack
- (vi) Electrical conduits

LAYOUT OF THE PPVC

- (i) General layout
- (ii) Waterproofing layout
- (iii) Locations of concealed services
- (iv) Location of access panel
- (v) Location of the manufacturer's label

CLEANING AND MAINTENANCE ADVICE

- (i) Internal fittings, tiles and accessories
- (ii) Floor trap
- (iii) Ceiling access panels

ALTERATION, REPAIR AND REPLACEMENT WORKS

- (i) Replacement of accessories/installation of additional fittings
- (ii) Availability and supply of spare parts
- (iii) Instructions for drilling and fixing
- (iv) Instructions for tile replacement
- (v) Instructions for grab bars installation

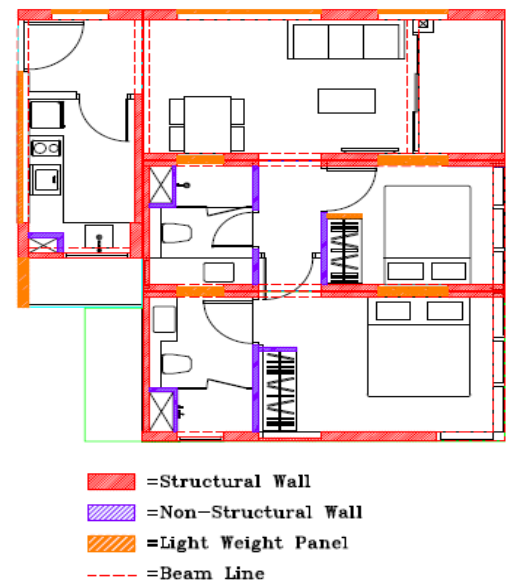


Figure: Example of unit floor plan

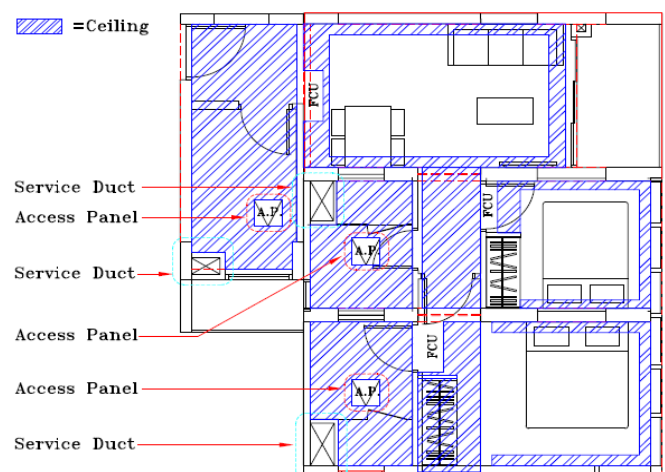


Figure: Example of reflected ceiling plan

Regulations

10.1 List of Regulators

S/N	Agency	Regulation
1	Building Construction Authority (BCA)	Code of Practice on Buildability 2017
		CP82, BCA's Good Industry Practice Guide
		Technical Requirements for Storey Shelters 2015
		Technical Requirements for Household Shelters 2012
2	Land Transport Authority (LTA)	Rule 99 of Road Traffic Rules (OVM)
		Rule 2010 Promulgated under the Road Traffic Act (OVM)
3	Singapore Civil Defence Force (SCDF)	Fire Safety Act and Regulation "Code of Practice for Fire Safety Precaution in Buildings"
		Fire Safety Requirements for the use of Plastic in Building Construction, SCDF's circular dated 1 Oct 2014.
		Permitting Services within Fire-Rated Dry Construction in Buildings, SCDF's circular dated 13 Nov 2014.
4	National Environment Agency (NEA)	Code of Practice on Environmental Health, Singapore Standard SS593, COP on Pollution Control, Code of Practice on Sewerage and Sanitary Works, Environmental Protection and Management Act, and their Regulations, including the Environmental Protection and Management (Control of Noise at Construction Site) Regulation
5	Public Utilities Board (PUB)	Singapore Standard CP 48: Code of Practice for Water Services
		1. Sewerage and Drainage Act 2. Sewerage and Drainage (Sanitary Works) Regulations 3. Code of Practice on Sewerage and Sanitary Works 4. Code of Practice on Surface Water Drainage 5. Public Utilities (Water Supply) Regulations BS EN 1253-1, in event, if client preferences for shallow floor trap (SFT) all relevant test shall comply with BS EN 1253-1 as follows: 1. Anti-Blockage Test 2. Water Tightness Test 3. Flow Rate Test 4. Resistance to water seal to pressure 5. Odour Tightness Test 6. Depth of water seal 7. Access for Cleaning 8. Side Inlet
6	Ministry of Manpower (MOM)	Workplace Safety And Health Act 2014
		WSH (Exemption) Order 2011
		Workplace Safety and Health (Design for Safety) Regulation 2015

10.2 Minimum Level of Off-Site Works for PPVC

Elements	Minimum level of completion off-site
Floor finishes	80%
Wall finishes	100%
Painting	100% base coat, only final coat is allowed on-site
Windows frames and glazing	100%
Doors	100%, only door leaves allowed for on-site installation
Wardrobes	100%, only doors are allowed for on-site installation
Cabinets	100%, only doors are allowed for on-site installation
MEP including water and sanitary pipes, electrical conduits and ducting	100%, only equipment to allowed for on-site installation
Electrical sockets and light switches	100%, only light fittings allowed for on-site installation

**Source: Code Of Practice On Buildability , 2017 Edition*

10.3 Building Innovation Panel (BIP) and PPVC Manufacturer Accreditation Scheme (MAS)

To ensure quality and address potential downstream issues for local projects:

- PPVC suppliers are required to obtain In Principle Acceptance (IPA) from the Building Innovation Panel (BIP).
- The acceptance framework consists of two parts (1) Evaluation of the PPVC system by the BIP (2) Meeting the PPVC Manufacturer Accreditation Scheme (MAS) requirements.

PPVC Accreditation Programme

JOINTLY DEVELOPED BY



10.4 Singapore Standards, Codes of Practice and Good Industry Practice Guidebooks (References)

- CP 5: 1998 Code of Practice for Electrical Installations
- Code of Practice on Sewerage and Sanitary Works
- CP 48: 2005 Code of Practice for Water Services
- CP96: 2002 (2011) Code of Practice for Curtain Walls
- Code of Practice on Buildability 2017
- SS 608: 2015 Code of Practice for Gas Installation
- SS 555: 2010 Protection Against Lightning
- SS 553: 2009 Code of Practice for Air-conditioning and Mechanical Ventilation in Buildings
- SS 554: 2009 Code of Practice for Indoor Air Quality for Air-conditioned Buildings
- SS 212: 2007 Specification for Aluminium Alloy Windows
- SS 381: 1996 (2007) Materials and Performance Tests for Aluminium Curtain Walls
- EN1253-1 (shallow floor trap)
- In-built Bathrooms Performance Requirements
- Good Industry Practices Guide Book: Ceramic Tiling
- Good Industry Practices Guide Book: Marble and Granite Finishes
- Good Industry Practices Guide Book: Waterproofing for Internal Wet Areas
- Good Industry Practices Guide Book: Painting
- Good Industry Practices Guide Book: Timber Flooring
- Good Industry Practices Guide Book: Waterproofing for External Wall
- Good Industry Practices Guide Book: Aluminium Window
- Good Industry Practices Guide Book: Timber Doors
- Good Industry Practices Guide Book: Wardrobes and Kitchen Cabinets
- Good Industry Practices Guide Book: Precast Concrete Elements
- Good Industry Practices Guide Book: Drywall Internal Partition
- Good Industry Practices Guide Book: Design and Materials Selection (Vol 1)
- Good Industry Practices Guide Book: Design and Materials Selection (Vol 2)
- Design for Maintainability Checklist by BCA

10.5 Design for Safety

- PPVC supplier, designer, Qualified Person, Developer and Main Contractor are relevant stakeholders that shall be involved in the DfS review.
- Design for safety reviews should be carried out upstream, e.g. during the BIP application or at the concept and detailed design phases, to address risks that would manifest itself during:
 1. the construction stage,
 2. the building maintenance stage; and
 3. the demolition phase.

Things to note:

- For onsite installation, please pay special attention to activities related to Lifting, Access/Egress and Working at Height.
- The design should cater adequate provisions for safe PPVC building maintenance and repair.
- User/ installer manual should include safe demolition sequences and special precautions.
- PPVC suppliers/ designers shall control the design risks based on the Hierarchy of Control Measures. PPE shall be adopted as a last resort.



WSHC DfS Guidelines



WSH DfS Regulations

Specific requirements related to the PPVC should be considered in the early design review stage.

10.5.1 Access/Egress

As part of the design review, the entire process of which the PPVC units are to be installed should be reviewed. This should include how workers would gain access to and egress:

1. from the ground to the top of the modules loaded on a trailer;
2. from the ground to the top of the modules in the holding/ storage area;
3. from the working level to the top of a PPVC module that had just been installed;
4. from point A to point B of the same level of the installed PPVCs, or cast in-situ areas or working platforms.
5. from point A to point B of the different level of the installed PPVCs, or cast in-situ areas or working platforms.

Such access provisions include the use of MEWP, mobile tower scaffolds with appropriate height, fixed ladders with proper fixtures that are cast-in during the fabrication of the modules or use of permanent/ temporary staircase. If a vertical access ladder (see figure 2) is proposed, it should be secured in place at its top & bottom and extended 1 meter above the landing. Such ladder will not be suitable if the user is unable to maintain 3-points of contact. In general, a step platform ladder (see figure 3) would provide a safer access and more stable work surface than the vertical access ladder or A-frame ladder. If the ladder leads to a barricaded area, a proper access point should be catered for in the design.



(Fig. 2) vertical access ladder with both stiles tied.



(Fig. 3) Step platform ladder (Mobile).

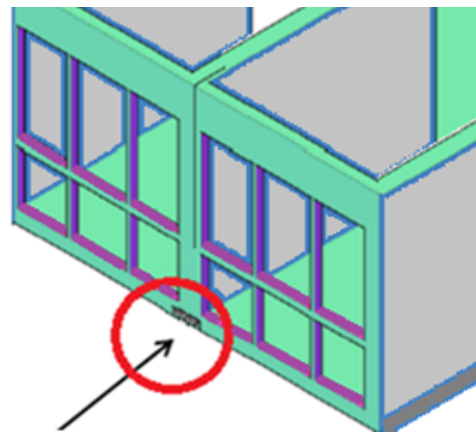
10.5.2 Choice Between Fall Prevention, Fall Restraint and Fall Arrest System

Before choosing a fall prevention or protection system, one should first consider elimination of working at height.

ELIMINATION OF WORK AT HEIGHT

Always explore elimination first. Works that involved a risk of fall should be eliminated at design stage. An example of PPVC risk elimination is shown below (e.g. A):

Example A: In the above figure, the designer had proposed connection of the two high floor modules using bolts, nuts and a link plate. As the connection work can only be carried out externally from the building façade, it would mean that workers will have to extend their bodies out of the PPVC to reach the connections thereby exposing themselves to a risk of fall. After the review, the designer redesigned the connections to be connected within the safety of the PPVC unit and successfully eliminated the falling from height risk related to the task entirely.



SUBSTITUTION OF A SAFER WORK-AT-HEIGHT METHOD

- If the risks cannot be eliminated by design, designers should explore safer work methods to minimise the risk e.g. use of MEWP, scaffold or step platform ladder instead of A-frame ladder placed beside the PPVC.

ENGINEERING CONTROL – FALL PREVENTION

- Where workers are required to work on the top of a module or at any location where there is risk of fall, the open sides of the module or location should be effectively barricaded or guarded (Engineering Control measure). The connections for the barricades or guardrails should be built-in with the module where possible.
- Fall prevention system such as the use of barricades is preferred over fall restraint and fall arrest systems. Barricades provide a high degree of protection once properly installed. When a barricade is proposed, the design should meet the requirements under the Approved Code of Practice for Working Safely at Heights published by WSHC. (See link below)



ACOP Working Safely at Heights

PERSONAL PROTECTION EQUIPMENT (PPE)

Where barricades or guardrails cannot be provided, anchorage points and/or lifelines should be provided to ensure that workers are protected from falling from height. Anchorage points, anchorage lines, safety harness etc. should be pre-planned for, taking into consideration the zone of which the workers would need to operate for rigging / unrigging operations and for other works, e.g. grouting works at the top of the module or at working level.

In general, there are two types of fall protection or prevention systems: Fall Restraint and Fall Arrest, of which the former is preferred over the latter.

Fall Restraint Systems prevent a person from falling and includes the use of:

- i) Work-Positioning and
- ii) Travel Restraint systems

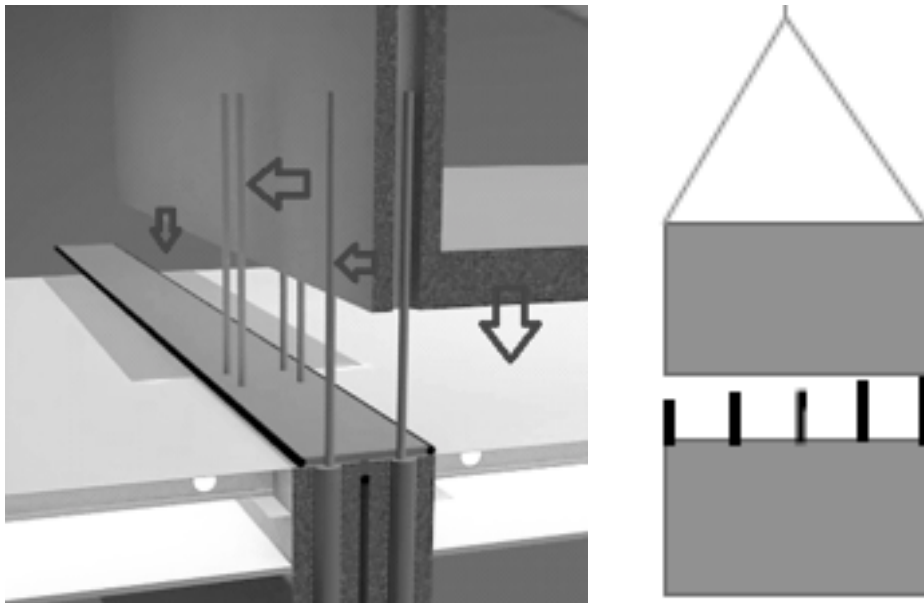
Fall Arrest Systems protect a person after the person falls a certain distance by stopping the fall before the person hit the surface below. It includes the use of:

- i) Full body harness, shock absorber and Anchor
- ii) Safety nets

Please also refer to the prevailing codes including SS 570, S541 and SS607.

10.5.3 Module Installation and Alignment

During the PPVC installation, it is important to avoid the need to align too many connecting bars as this will increase the installation duration and the likelihood of installers being exposed to risks of crushing and being caught-in-between objects. In the event of misalignment/ bent bars, there should be established measures to ensure no worker shall go underneath the PPVC unit to realign the bars.



10.5.4 Useful Resources



WSH Council's Website



MOM's Website



WSHC-Approved COP



*WSH Act and
Regulations*

Appendix

Some PPVC Project References in Singapore (Completed and Ongoing)

A. Completed PPVC Project



1. NANYANG CRESCENT HOSTEL

- 4 blocks, 11 to 13 storeys
- Hostel rooms are built using PPVC

PPVC System

- 784 modules
- Steel PPVC frame with cement board floor base

Photographs Courtesy of Office of Development & Facilities Management, Nanyang Technological University for Nanyang Crescent & SAA Architects Pte Ltd



2. WOODLANDS NURSING HOME

- 9 storeys

PPVC System

- 343 modules
- Steel PPVC system with concrete floor base

Photograph Courtesy of Dragages (Singapore) Pte Ltd



3. NTU NORTH HILL HOSTEL

- 8 blocks, 13 storeys
- 1,580 hostel rooms, 66 apartments

PPVC System

- 1,200 modules
- Steel PPVC frame
- Cement board floor for hostel rooms
- Lightweight concrete floor for staff apartments

Photographs Courtesy of Office of Development and Facilities Management, Nanyang Technological University for Nanyang Crescent



4. CROWNE PLAZA HOTEL EXTENSION

- 10-storey hotel project with creative facade design
- Single block
- 243 guest rooms

PPVC System

- 252 modules
- Steel PPVC with concrete floor base

Photographs Courtesy of OUE Limited

B. On-going (under construction) Projects



1. BROWNSTONE EXECUTIVE CONDOMINIUM AT CANBERRA DRIVE

- 8 blocks, 10 & 12 storeys
- 638 residential units

PPVC System

- 4,436 concrete volumetric modules
- Concrete PPVC

Photographs Courtesy of Canvey Developments Pte Ltd (a subsidiary of City Developments Limited) and TID Pte Ltd



2. WISTERIA AT YISHUN AVENUE 4 – COMMERCIAL AND CONDOMINIUM DEVELOPMENT

- 3 blocks of 12-storey mixed development
- First 3 floors are commercial and the rest are apartment units
- A total of 216 apartment units

PPVC System

- 756 modules
- Steel PPVC frame with concrete floor base

Photographs Courtesy of NorthernOne Development Pte Ltd and Surbana Jurong Pte Ltd



3. CLEMENT CANOPY CONDOMINIUM AT CLEMENTI AVE 1

- 40-storey flat condominium development
- 505 apartment units

PPVC System

- 1,866 modules
- Concrete PPVC system

Photographs Courtesy of Site, Credit to Dragages (Singapore) Pte Ltd, Artist Impression to UOL Group Limited



CURSO/GUÍA PRÁCTICA DE EDIFICACIÓN INDUSTRIALIZADA/ CONSTRUCCIÓN FUERA DE OBRA

**Industrialización
de la construcción / edificación.
Prefabricación**



Índice

¿QUÉ APRENDERÁ?	15
Introducción	16
La construcción fuera de obra (off site construction)	16
La construcción de estructuras prefabricadas	17
La construcción modular	17
TÉCNICAS INDUSTRIALES MODERNAS	17
Ahorrar tiempo	18
Mejor calidad.	18
Costes más bajos.	18
Ambiente de trabajo mejorado.	18
Impacto ambiental reducido.	19
BARRERAS A LA EDIFICACIÓN INDUSTRIALIZADA	19
Un problema de imagen.	19
Inflexibilidad y diseño uniforme.	19
Regulación y códigos locales de construcción.	19
Aversión al riesgo.	20
ROMPER LAS BARRERAS	20
Escasez de profesionales de la construcción.	20
El BIM. La revolución tecnológica de la construcción.	21
Inversión social en vivienda	21
LOS MERCADOS Y LAS PERSPECTIVAS	21
IMPLICACIONES ESTRATÉGICAS	22
Contratistas Generales	23
Los fabricantes de materiales de construcción	23
Los arquitectos e ingenieros	24
Los promotores inmobiliarios y los inversores inmobiliarios	24
PARTE PRIMERA	25
Historia de la industrialización de la construcción / edificación.	25
Capítulo 1. Historia de la industrialización de la edificación (desde Le Corbusier a Torroja)	25
1. Le Corbusier: maquinas de vivir: viviendas industrializadas como Ford.	25
2. Coste de construir coches: baja, viviendas: sube.	30
3. Eduardo Torroja: la necesidad de viviendas económicas.	31
4. Inicios de la prefabricación de viviendas (Estados Unidos, Francia y Alemania).	34
TALLER DE TRABAJO.	40
La reconversión industrial del sector de la construcción / edificación.	40
1. Mano de obra cualificada y menos accidentes laborales.	40
2. Desaparecen los "imprevistos" de la obra.	41
3. Ahorro en transporte y almacenaje en obra.	41
4. Mejora medioambiental. Gestión de residuos.	41
TALLER DE TRABAJO	42
Evolución histórica de la industrialización en la edificación. Defectos en los prefabricados del siglo XX (defectos estructurales como los de cerramientos de fachada y cubierta).	42
TALLER DE TRABAJO.	61

La diferencia entre industrialización y prefabricación.	61
1. La industrialización es un proceso organización en la producción de edificios.	61
2. La prefabricación es la producción de elementos constructivos, una forma de manifestarse la industrialización.	62
3. Índice de industrialización	62
TALLER DE TRABAJO.	64
Sistemas modulares como solución edificatoria alternativa a la construcción tradicional in situ.	64
La alternativa a la construcción convencional es la externalización de los elementos constructivos en centros de producción, la prefabricación.	64
TALLER DE TRABAJO.	72
Ventajas y desventajas de la prefabricación edificatoria.	72
1. Ventajas	72
a. Calidad de los materiales	72
b. Reducción en los plazos de ejecución	72
c. Reducción de equipos de obra	72
d. Mano de obra especializada.	73
e. Reducción de costes.	73
2. Desventajas	73
a. Diseño (vivienda prefabricada).	73
b. Gastos de transporte e inversión inicial.	73
TALLER DE TRABAJO.	75
Críticas a la industrialización en el proceso constructivo.	75
1. Detractores de la industrialización en el proceso constructivo.	75
2. Es más caro edificar con productos industrializados que artesanalmente.	76
3. Industrialización componente (compatibilidad de módulos de distintas marcas).	79
PARTE SEGUNDA.	81
Industrialización de la construcción.	81
Capítulo 2. Industrialización de la construcción y prefabricados para la edificación.	81
1. Industrialización de las construcciones y prefabricación en la edificación.	81
2. Sistemas constructivos industrializados.	82
a. Industrialización cerrada	82
b. Sistema abierto de edificación ('open system building').	83
3. Construcción modular.	86
a. Viviendas prefabricadas modulares.	87
b. Sistemas constructivos sostenibles.	87
4. I+D Investigación y desarrollo	88
a. Nuevos materiales (espumas rígidas, morteros de capa gruesa, etc.).	88
b. Robótica en la industrialización de la edificación. Robotización.	90
c. Institutos, centros y asociaciones de investigación.	93
TALLER DE TRABAJO	95
Programa Europeo de Investigación, para la modernización del Sector de la Edificación. MANUBUILD.	95
1. Incorporar procesos sistematizados de diseño a sistemas industrializados de	

construcción de viviendas de industrialización abierta. _____	95
2. Herramientas informáticas _____	96
3. Construcción en seco. No agua en el tajo. _____	97
4. Obras rápidas y baratas sin almacenaje. _____	97
5. Estandarizar la producción de elementos edificatorios. _____	98
TALLER DE TRABAJO _____	101
I + D Edificación y construcción. Edificación industrializada con apoyo institucional.	101
TALLER DE TRABAJO _____	105
La construcción modular. Desafíos y oportunidades para la industria de la construcción. _____	105
TALLER DE TRABAJO _____	111
Robótica e industria de la edificación. _____	111
1. Edificación cristalera y cerámica. _____	111
2. Viviendas prefabricadas. _____	111
3. Robótica en obra civil. Maquinaria pesada para infraestructuras. _____	112
4. Robótica en la edificación. Sistema automatizado de edificación. Robots de ensamblaje edificatorio. _____	112
5. Robótica edificatoria, automatización y domótica. _____	113
CHECK-LIST _____	114
¿Qué es la construcción industrializada? _____	114
¿Cuáles son los sistemas de producción de elementos prefabricados? _____	114
CHECK-LIST _____	116
Las 20 Ventajas de la edificación modular industrializada. _____	116
PARTE TERCERA _____	118
Países líderes en prefabricación. _____	118
Capítulo 3. La industrialización edificatoria en los Países Escandinavos. _____	118
1. La vivienda prefabricada en los Países Escandinavos. _____	118
2. Las viviendas prefabricadas de Ikea y Skanska. _____	119
3. En Suecia la industrialización de la edificación ha causado PARO. _____	120
4. Las constructoras suecas tienen fábricas de "prefabricados de edificación". _____	121
Capítulo 4. El pre ensamblaje de viviendas el Reino Unido. _____	123
1. Re-thinking construction. _____	123
2. I+D+i y pre-ensamblaje en la construcción. _____	124
Capítulo 5. La prefabricación en los Países Bajos. _____	125
1. Los módulos edificatorios holandeses. _____	125
2. Programa IFD: "Proyectos demostrativos de construcción Industrializada, Flexible y Desmontable". _____	125
3. La vivienda 'Variomatic': el cliente elige. _____	126
Capítulo 6. Estados Unidos y la prefabricación de viviendas. _____	127



1. La vivienda prefabricada transportable.	127
2. Concurso 'Solar Decathlon'	128
TALLER DE TRABAJO	132
Solar Decathlon y patentes españolas.	132
1. Solar Decathlon Europe y España.	132
2. Patentes.	134
a. Sistema de techo solar auto-orientable.	134
b. Paneles solares móviles de la fachada.	134
c. Sistema de cimentación auto-elevable.	134
Capítulo 7. La prefabricación de viviendas en Japón.	136
1. Toyota: fabricante de viviendas.	136
2. La calidad de la prefabricada es superior a la tradicional.	136
3. Domótica y viviendas prefabricadas.	138
4. Método Just in Time o Método Toyota.	138
PARTE CUARTA.	140
El futuro: globalización y China.	140
Capítulo 8. Globalización e industrialización de la edificación (módulos de China).	140
1. Menos oficios, más especialización. Ingeniería unida a la arquitectura.	140
2. Industrialización 'pre-empaquetado' en fábrica y 'post-empaquetado' en obra.	141
3. Fabricación "on-site" y "off-site".	142
4. Exigencias medioambientales en la construcción industrial.	143
5. Estética y masificación en la industrialización de la edificación.	143
6. La ausencia de la Administración española en la industrialización de la construcción.	144
7. La falta de formación profesional y técnica: cualificación.	144
PARTE QUINTA	146
La industrialización de la construcción en España.	146
Capítulo 9. I+D en España: edificación artesanal en el siglo XXI.	146
1. Planes de I+D para el sector más representativo del PIB español y que genera mayor empleo.	146
2. La edificación residencial es artesanal por los bajos costes de la mano de obra.	146
3. Accidentes laborales y cualificación profesional.	147
4. Fomento de la investigación en las obras	147
5. Infraestructura tecnológica: laboratorios y centros de investigación vinculados al sector.	149
6. Avances en elementos '3D' conformados por estructuras de acero.	149
TALLER DE TRABAJO	152
Aplicación de la construcción modular a la edificación industrializada.	152
1. La construcción modular	152

2. Aplicación en viviendas unifamiliares	153
3. Edificios en altura	153
TALLER DE TRABAJO	155
La industrialización total de la construcción con sistemas modulares de hormigón como opción idónea para lograr Edificios de energía casi nula (EECN).	155
1. Ventajas de la construcción modular en hormigón	155
2. Sistemas modulares de hormigón se presentan como una opción idónea para avanzar en el cumplimiento de los EECN	156
3. El elemento básico es el módulo o celda tridimensional (3D)	157
4. Aplicación en edificación residencial	158
a. Viviendas unifamiliares	158
b. Edificios en altura	158
c. Construcción modular en hormigón y su eficiencia energética	158
5. Proyección de futuro	159
6. Ejemplos. Casos prácticos reales.	159
TALLER DE TRABAJO	163
UNE-EN 13369. Reglas comunes para productos prefabricados de hormigón.	163
TALLER DE TRABAJO	171
Presencia española en prefabricados y construcción modular de hormigón.	171
APLIHORSA Modular	171
Bioclimática Modular Concept	171
Dragados S.A. - Caracola	171
Prefabricados Pujol	171
Roura Anglada	171
Worldmetor	171
TALLER DE TRABAJO	179
El futuro de las empresas españolas de prefabricados de hormigón.	179
TALLER DE TRABAJO	185
Control documental de suministro de elementos prefabricados de hormigón.	185
TALLER DE TRABAJO	189
Ventajas del BIM en los prefabricados de hormigón.	189
TALLER DE TRABAJO	196
Esquemas: BIM, industrialización y prefabricados de hormigón.	196
1. Modelado de información de la construcción.	196
2. Del BIM al futuro con los sistemas inteligentes de construcción.	196
TALLER DE TRABAJO	203
Soluciones prefabricadas para puentes y viaductos	203
Vigas pretensadas prefabricadas.	203
Diseño transversal de tableros con tirantes y puntales.	203
TALLER DE TRABAJO	207
Tuberías prefabricadas de hormigón armado.	207
TALLER DE TRABAJO	218

La construcción modular en 3D o edificación integral industrializada	218
1. ¿Qué es la construcción modular en 3D?	218
a. Construcción a partir de módulos completos (integral)	218
b. Construcción componentes prefabricados que conformarán el módulo (componentes).	218
2. Construcción en 3D o edificación integral industrializada mediante prefabricados.	219
3. Sistemas de ensamblaje de módulos.	219
4. Tipología de los módulos según la tipología edificatoria.	220
a. Módulos internos de edificación (ej.: baños).	220
b. Módulos edificatorios completos (ej.: viviendas unifamiliares)	220
c. Módulos parciales para ensamblar edificios en altura.	220
d. Módulos de edificaciones dotacionales anexas.	220
TALLER DE TRABAJO	222
Esquemas. La impresión 3D en construcción.	222
Tecnologías de impresión 3D a escala real en la industria de la construcción (edificación) en obra nueva, rehabilitación y restauración de patrimonio.	222
Rehabilitación de fachadas y paramentos interiores.	222
Integración de tecnologías y tipos de extrusor en rehabilitación edificatoria.	222
Rehabilitación por impresión directa o mediante reproducción de piezas.	222
Impresión prefabricados (ej.:: balaustradas).	222
Cortado y vaciado del dibujo.	222
Robots.	222
TALLER DE TRABAJO	240
Esquemas. ¿Qué es la fabricación aditiva? Fabricación de piezas a partir de un modelo 3D sin necesidad de moldes ni utillajes, mediante capas de material y su consolidación.	240
TALLER DE TRABAJO	254
Estructuras Industrializadas en Edificios de Vivienda Colectiva	254
TALLER DE TRABAJO.	264
Pisos prefabricados de 70m2 por 65.000 euros en 5 meses y calidad CTE.	264
TALLER DE TRABAJO	266
Ejemplo de iniciativa de fabricante español de muro multiuso prefabricado de doble pared.	266
TALLER DE TRABAJO	268
Vivienda prefabricada. Edificación modular.	268
TALLER DE TRABAJO	270
Los prefabricados en la vivienda social de Madrid.	270
Análisis del proceso de industrialización en las promociones de la Empresa Municipal de la Vivienda y Suelo de Madrid (EMVSM). Proyecto Singular y Estratégico para la Industrialización de la Vivienda Sostenible (INVISIO). Industrialización en las Promociones de la Empresa Municipal de la Vivienda y Suelo de Madrid. Se analiza la industrialización en las promociones de la vivienda social, promovidas por la EMVSM y se desarrolla a partir y del estudio directo de los edificios más significativos, de entrevistas con los agentes implicados en el proyecto, así como encuestas sociológicas a los habitantes de los edificios.	270
TALLER DE TRABAJO	286



Viviendas industrializadas.....	286
TALLER DE TRABAJO	288
Industrialización y eficiencia energética de las fachadas de hormigón.....	288
PARTE SEXTA	291
Agentes de la edificación en la prefabricación de edificios.	291
Capítulo 10. Agentes de la edificación en la prefabricación de edificios.	291
1. Fabricante de módulos prefabricados para la edificación.	291
a. Calidades de prefabricados. Control de calidad.	292
b. Planificación de entrega de módulos prefabricados en obra.	294
c. Transporte y montaje en obra de módulos prefabricados	294
2. Arquitecto. Opciones de edificación prefabricada en el proyecto.	295
3. Dirección Facultativa. Dirección de obra con prefabricados.	295
4. Constructor	296
TALLER DE TRABAJO	299
El proyecto técnico de industrialización en el proceso de edificación industrializada.....	299
1. Memoria descriptiva de la ejecución, documentación técnica del proyecto de industrialización, análisis de costes y planos generales de arquitectura e instalaciones.	299
2. Diseño de moldes. Planos detallados del encofrado. Perfilería.	300
3. Memoria de uniones y nudos entre prefabricados.	300
4. Planificación del proceso. Planing de obra	301
5. Materiales. Almacenamiento. DITE y control de calidad de materiales.	301
PARTE SÉPTIMA	302
Reglamento europeo de Productos de Construcción 305/2011 (RPC)	302
Capítulo 11. Los productos prefabricados de hormigón en el Reglamento europeo de Productos de Construcción 305/2011 (RPC) para los fabricantes de productos prefabricados de hormigón que desde el 1 de julio de 2013 sustituye a la actual Directiva 89/106/CEE	302
1. Reglamento europeo de Productos de Construcción 305/2011 (RPC) para los fabricantes de productos prefabricados de hormigón	302
2. Valoración del Ministerio de Industria, Energía y Turismo	303
Diferencias para los fabricantes de productos de construcción	304
Diferencias para los organismos notificados (ON)	306
Diferencias para los actuales organismos autorizados para la concesión del dite y su organización (EOTA)	307
Diferencias para las autoridades de los estados miembros	307
Diferencias para los organismos de normalización nacionales y el CEN	308
Consejos para los técnicos a pie de obra: la idoneidad al uso de los productos con marcado CE308	
TALLER DE TRABAJO.	347
Esquemas prácticos del Reglamento europeo de Productos de Construcción 305/2011 (RPC) para los fabricantes de productos prefabricados de hormigón que desde el 1 de julio de 2013 sustituye a la actual Directiva 89/106/CEE	347
TALLER DE TRABAJO.	373
Productos de la construcción para los que el marcado es obligatorio en el	

Reglamento europeo de Productos de Construcción 305/2011 (RPC) que desde el 1 de julio de 2013 sustituye a la actual Directiva 89/106/CEE	373
TALLER DE TRABAJO	412
La Declaración de Prestaciones de los productos de construcción en la web del fabricante.	412
TALLER DE TRABAJO.	414
Marcado en prefabricados de hormigón para muros en el Reglamento europeo de Productos de Construcción 305/2011 (RPC) que desde el 1 de julio de 2013 sustituye a la actual Directiva 89/106/CEE	414
TALLER DE TRABAJO.	489
La piedra natural y aglomerada en el Reglamento europeo de Productos de Construcción 305/2011 (RPC) que desde el 1 de julio de 2013 sustituye a la actual Directiva 89/106/CEE	489
PARTE OCTAVA.	502
Tecnología y materiales en la edificación industrializada.	502
Capítulo 12. Procedimientos constructivos con prefabricados. Construcción modular.	502
1. Construcción modular en hormigón.	502
2. Construcción modular mixta.	503
3. Módulos con estructura metálica atornillada.	505
Con acero. Steelframing. Estructura metálica ligera de acero galvanizado	505
4. Con prefabricados de hormigón. Los paneles de hormigón.	508
a. Sistema de hormigonado horizontal (Tilt Up)	509
b. Sistema de encofrado vertical. Sistema BARCONS	511
c. Sistemas con encofrados simultáneos de paredes y techos.	514
TALLER DE TRABAJO	518
Edificación industrializada modular aislada y en multiplanta.	518
1. Edificaciones modulares y módulos adosables.	518
2. Módulos monoblock.	519
3. Módulos sanitarios y grifería.	520
4. Escalera prefabricada. Losa escalera	520
TALLER DE TRABAJO	522
Edificación industrializada integral mediante módulos tridimensionales	522
1. Edificación industrializada integral mediante módulos tridimensionales.	522
2. Antecedentes históricos	523
3. Clasificación de módulos tridimensionales.	523
4. Sistema constructivo modular desde cota 0.	524
5. Unión de módulos con hormigón autocompactable.	525
6. Línea industrial de elaboración de un módulo edificatorio.	526
7. Transporte y ensamblaje de módulos edificatorios.	527
TALLER DE TRABAJO	529
Sistemas de industrialización de edificaciones modulares.	529

1. Sistema Set home. _____	529
2. El sistema Transloko _____	531
TALLER DE TRABAJO _____	533
Ejemplo real de factoría de prefabricados de hormigón estructural de edificación residencial e industrial y de la obra civil. _____	533
TALLER DE TRABAJO _____	573
Vivienda prefabricada en una estructura de aluminio o de acero. _____	573
TALLER DE TRABAJO _____	575
Vivienda prefabricada americana en 3 módulos. _____	575
Capítulo 13. Clasificación de elementos prefabricados. _____	577
1. Clasificación de elementos prefabricados. _____	577
2. Sistemas estructurales y estructuras prefabricadas. _____	578
a. Bovedilla Prefabricada. _____	579
b. Viguetas _____	579
Vigueta armada. _____	580
Vigueta Pretensada. _____	580
c. Pilotes prefabricados. _____	580
TALLER DE TRABAJO _____	582
Estructura y pilares. _____	582
TALLER DE TRABAJO _____	589
Ventajas de los elementos estructurales prefabricados. _____	589
1. Ventajas de los elementos estructurales prefabricados _____	589
Calidad de los elementos _____	589
Tiempos de ejecución _____	589
Reducción de equipos en obra _____	590
Mejor aprovechamiento de las secciones resistentes _____	590
Mano de obra especializada _____	590
Económico-constructivo _____	590
2. Desventajas de los elementos estructurales prefabricados _____	590
Estructurales _____	591
Movilidad y transporte _____	591
Económico-financiero _____	591
Montaje _____	591
De fabricación _____	591
3. Hormigón. Uniones de piezas premoldeadas y bloques de hormigón. _____	592
Montajes por Simple Apoyo _____	593
Montajes por Uniones Rígidas _____	593
TALLER DE TRABAJO _____	595
La certificación para productos prefabricados de hormigón. _____	595
TALLER DE TRABAJO _____	599
Viviendas prefabricadas de hormigón. Experiencia internacional. _____	599
"Casa Kyoto" primera vivienda unifamiliar industrial de hormigón. _____	609
TALLER DE TRABAJO _____	618
Sistema de Edificación de Viviendas con Elementos Prefabricados de Hormigón Armado. Cimentación y montaje de paneles. Construcción y Montaje de la	

Vivienda prefabricada. _____	618
TALLER DE TRABAJO _____	626
Elementos prefabricados de hormigón. _____	626
1. Productos de hormigón prefabricado (usos, tamaños y acabados). _____	626
2. Ventajas e inconvenientes del hormigón prefabricado. _____	627
a. Ventajas _____	627
b. Inconvenientes _____	628
3. Modularidad, industrialización y tecnología. _____	629
Ejemplos representativos (dos nacionales y uno internacional) de las tendencias actuales en el ámbito de la construcción industrializada con elementos de hormigón. _____	629
TALLER DE TRABAJO _____	632
Recomendaciones para la instalación de redes de abastecimiento de agua potable. _____	632
TALLER DE TRABAJO _____	665
Conductos prefabricados de hormigón. _____	665
1. Normativa europea armonizada de los conductos de hormigón (Instrucción EHE-08, UNE-EN 1916:2008, UNE-EN 127916:2014, UNE-EN 1917:2008, UNE-EN 127917:2005). _____	666
2. Resistencia a los ataques químicos y biológicos. _____	666
a. Resistencia a las sales solubles _____	666
b. Resistencia al ataque por sulfatos. _____	666
c. Resistencia a la carbonatación. _____	667
d. Resistencia a los ácidos. _____	668
e. Lixiviación por aguas puras. _____	669
f. Resistencia a la reacción árido-álcali. _____	669
g. Resistencia a la corrosión de la armadura. _____	670
TALLER DE TRABAJO. _____	678
Estructuras industrializadas de hormigón armado. _____	678
TALLER DE TRABAJO _____	683
La prefabricación en hormigón. Las tecnologías multimateriales (co-inyección, bi-inyección, deposición metálica, etc.) _____	683
TALLER DE TRABAJO _____	689
Piezas de hormigón prefabricadas antisísmicas para sistema modular de viviendas. _____	689
Caso real en Perú. _____	689
La construcción modular presenta una clara ventaja en aspectos de seguridad antisísmica _____	689
Seguridad sísmica hasta 9 en la escala sismológica de Richter. _____	689
TALLER DE TRABAJO _____	698
Sistema de edificación modular prefabricada en fachadas. _____	698
1. Sistemas de paneles de fachada de hormigón prefabricado. Atornillamiento de forjados. _____	698
2. Sistema de estructura de módulos metálicos. _____	699
a. Módulos metálicos de medidas abiertas. Atornillamiento y soldadura. _____	699
b. Módulos metálicos de medidas cerradas. Hormigón y soldadura. _____	699
c. Módulos metálicos plegables. Paneles prefabricados sándwich. _____	700
d. Módulos portantes. Fachada de hormigón prefabricado. Atornillado. _____	700
e. Forjado de hormigón prefabricado _____	701
TALLER DE TRABAJO. _____	703

Fachadas industrializadas, paneles de hormigón armado y muros cortina. _____	703
TALLER DE TRABAJO _____	705
Panel prefabricado para fachadas. Hormigón arquitectónico. Lámina de hormigón armado con acero. _____	705
TALLER DE TRABAJO _____	709
Pavimentos prefabricados de hormigón _____	709
TALLER DE TRABAJO _____	714
Prefabricados de albañilería de hormigón que cumplen con los requisitos establecidos en la norma europea UNE EN 771-3:2011, la norma española UNE 127771-3 y el CTE _____	714
4. Acero. _____	720
TALLER DE TRABAJO. _____	723
Estructuras industrializadas de acero. _____	723
5. Aluminio. _____	725
6. Madera _____	726
7. Vidrio. _____	730
a. Panel de vidrio de alta resistencia para suelos _____	730
b. Panel de vidrio para fachada ventilada. _____	730
8. Fibra de vidrio. _____	731
TALLER DE TRABAJO _____	732
Paneles translúcidos de poliéster con fibra de vidrio y nanogel. _____	732
9. Yeso. Bloques de yeso prefabricado y paneles de fibra-yeso. _____	733
TALLER DE TRABAJO _____	733
Yeso. Bloques de yeso prefabricado y paneles de fibra-yeso. _____	733
1. Placa de yeso y de yeso térmicas. _____	734
2. Placa cerámica revestida con yeso. _____	734
TALLER DE TRABAJO. _____	735
Tabiquería industrializada. Tabiques de placas de yeso, fibra yeso y escayola. _____	735
TALLER DE TRABAJO. _____	737
Mamparas modulares divisorias. _____	737
TALLER DE TRABAJO _____	739
Modo de instalación de placas de yeso laminado especial para rehabilitación. Marca Pladur. _____	739
10. Plástico. _____	745
11. Espuma de poliuretano. _____	747
a. Espumas en caliente. _____	747
b. Espumas en frío. _____	747
TALLER DE TRABAJO. _____	749
Paneles aislantes para muros y fachadas: paneles prefabricados de láminas de acero galvanizado con núcleo de espuma rígida de poliuretano. _____	749
12. PVC. Las ventanas de PVC _____	753

TALLER DE TRABAJO	755
Láminas flexibles de policloruro de vinilo (PVC) y su uso en techos.	755
TALLER DE TRABAJO	757
Las Ventanas de PVC como solución para cumplir las exigencias y especificaciones acústicas del DB-HR del CTE Código Técnico de Edificación tras la Orden VIV/984/2009	757
13. Cerámica.	762
TALLER DE TRABAJO	763
Ventajas y modo de instalación del "Bloque de Arcilla Aligerado". Marca Termoarcilla.	763
TALLER DE TRABAJO	768
"Bloque de Arcilla Aligerado". Marca Termoarcilla.	768
14. Sanitarios y grifería prefabricada.	769
TALLER DE TRABAJO	769
Domótica hídrica o la desaparición de sanitarios y grifería termostática.	769
TALLER DE TRABAJO	771
Aseos prefabricados	771
Capítulo 14. Medioambiente y reciclaje en la edificación industrializada.	779
1. Gestión de residuos y demoliciones y ventajas del uso de prefabricados.	779
2. Materiales reciclables y reutilización en la edificación industrializada.	781
TALLER DE TRABAJO	784
Viviendas prefabricadas con certificado LEED.	784
TALLER DE TRABAJO.	787
Refrigeración magnética. Cambios de temperatura en materiales por magnetismo.	787
TALLER DE TRABAJO	789
Construcción industrializada y prefabricados en la rehabilitación y mantenimiento de edificios.	789
1. Nuevos materiales y técnicas constructivas más sostenibles, la rehabilitación y mantenimiento.	789
2. Estructura portante.	790
3. Cerramientos	790
4. Cubierta.	791
5. La prefabricación y nuevos materiales en la rehabilitación edificatoria.	792
PARTE NOVENA	796
Los clústers de industrialización de la construcción.	796
Capítulo 15. Los clústers de industrialización de la construcción.	796
1. ¿Qué es un clúster? ¿Por qué un clúster en los parques tecnológicos? Clúster en España.	796
2. Asturias. Foro de innovación/industrialización de la construcción. Clúster de la construcción.	798



3. País Vasco. Foro de innovación/industrialización de la construcción. Clúster de la construcción. _____ 801

TALLER DE TRABAJO _____ 803

Clúster de la construcción en el País Vasco. _____ 803

¿QUÉ APRENDERÁ?



- **Ventajas de la prefabricación edificatoria. Ventajas de la edificación modular industrializada.**
- **Sistemas constructivos industrializados.**
- **Ventajas del BIM en los prefabricados de hormigón.**
- **Agentes de la edificación en la prefabricación de edificios.**
- **El proyecto técnico de industrialización en el proceso de edificación industrializada.**
- **Tecnología y materiales en la edificación industrializada.**
- **Procedimientos constructivos con prefabricados. Construcción modular.**
- **La prefabricación y nuevos materiales en la rehabilitación edificatoria.**
- **Los clústers de industrialización de la construcción.**

Introducción



El concepto de construcción externa, prefabricada y modular no es nuevo. En Mesopotamia ya utilizaban ladrillos, que son prefabricados.

Con los crecientes avances tecnológicos en la industria de la construcción, el mundo ha vuelto a introducir alternativas rentables y más rápidas a la construcción tradicional.

Se trata de alternativas edificatorias externas, prefabricadas o modulares que en conjunto forman lo que conocemos como "edificación industrializada".

Pero, estos términos no significan lo mismo. Aunque pueden parecer similares por el nombre, hay una diferencia entre los tres términos.

La construcción fuera de obra (off site construction)

La construcción fuera de obra (off site construction) es un término general para muchos tipos diferentes de construcción. La construcción prefabricada y modular se incluye en la construcción fuera de obra. La construcción fuera de obra implica la planificación, el diseño, la fabricación y el montaje de un edificio en un lugar que no sea la misma obra. Esto se hace a fin de conseguir un montaje rápido posterior en la obra.

A diferencia de la construcción tradicional, la construcción fuera de obra requiere menos tiempo, es sostenible, segura, rentable y flexible. Aunque los beneficios son los mismos, la única diferencia es el conjunto de reglas y el diseño de las estructuras. En este tipo de construcción las estructuras se fabrican en un entorno controlado y se transportan a la obra. Además, es posible controlar la calidad de cada sección de la estructura, lo que no es posible en el caso de una construcción a pie de obra.

La construcción de estructuras prefabricadas

La construcción de estructuras prefabricadas es parte de la construcción fuera de obra. Cualquier estructura que tenga su sección diseñada en una fábrica se denomina prefabricada. Tanto las estructuras modulares como las prefabricadas son consideradas como edificación industrializada.

La construcción de estructuras prefabricadas debe cumplir con los códigos de construcción y debe someterse a una inspección periódica. Este tipo de inspección rigurosa y sus pautas de construcción hacen que las estructuras prefabricadas sean tan resistentes o más que las estructuras realizadas en la obra por métodos tradicionales.

La construcción modular

La construcción modular es un término general de construcción prefabricada. En la construcción modular todas las estructuras se construyen en cajas tridimensionales o en forma de módulos, que se transportan desde la unidad de fabricación al sitio de instalación, la obra.

Estas estructuras se construyen de acuerdo con los códigos edificatorios. Además, las estructuras modulares se pueden fabricar para uso temporal o permanente.

En términos más simples, la diferencia entre estas estructuras puede considerarse como tres círculos concéntricos. El círculo más externo es una construcción fuera de obra, el segundo círculo interno es una construcción prefabricada y el círculo más interno es la construcción modular. Ahora puede distinguir fácilmente entre estos términos.

TÉCNICAS INDUSTRIALES MODERNAS

Por supuesto, la construcción no es fácilmente susceptible de producción en masa, pero ciertamente podría explotar las técnicas industriales modernas más de lo que lo hace.

La construcción fuera de obra, o "prefabricación", es la clave: hacer en una fábrica varias partes de un edificio antes de ensamblarlas en la obra real del edificio.

Las piezas pueden ser prefabricadas (hormigón) o hechas de materiales compuestos (como paneles sándwich). La fábrica externa de hoy en día puede producir componentes de paquete plano (como paredes o vigas), módulos volumétricos (lavabos o dormitorios) o incluso edificios enteros.



La construcción fuera de obra alivia varios problemas asociados con los métodos tradicionales "en la obra".

Al trasladar una gran parte del trabajo de un entorno al aire libre desordenado y expuesto con horas de trabajo limitadas a un entorno de fábrica seguro y controlado en interiores con un potencial de producción de 24/7, la construcción fuera de obra ofrece cinco beneficios principales.

Los tiempos de construcción se reducen y hay un menor riesgo. La construcción fuera de obra se ve mucho menos afectada por los caprichos del clima y por la pesada carga de la gestión del proyecto en la obra. También está mucho menos sujeta a los riesgos, legales y financieros, inherentes a las complejas colaboraciones con subcontratistas.

Ahorrar tiempo

Por lo tanto, construir fuera de obra generalmente reduce los tiempos de terminación del edificio en más de un tercio y mejora la entrega a tiempo. Eso puede ser de gran valor para los propietarios de proyectos. Un hotel, por ejemplo, puede comenzar a hacer reservas antes, y se reducen los riesgos de gastos excesivos y demoras.

Mejor calidad.

Gracias a la estandarización, un entorno controlado y controles de calidad en fábrica, la tasa de defectos puede reducirse a la mitad.

Costes más bajos.

El lugar de trabajo controlado y resistente a la intemperie aumenta la productividad de los empleados individuales, al tiempo que permite economías de escala, logística optimizada y manufactura rápida. El resultado es un ahorro en los costes generales de construcción, ahorros que pueden transferirse a los clientes o reinvertirse en acabados de mayor calidad, por ejemplo.

Ambiente de trabajo mejorado.

Los trabajadores están protegidos del clima y de muchos de los peligros tradicionales (como trabajar durante largos períodos a gran altura o bajo tierra), y su día a día permanece sin cambios de un proyecto a otro. Los accidentes laborales se reducen.



Impacto ambiental reducido.

Los desechos y las emisiones de la construcción pueden reducirse a la mitad, en virtud de la eficiencia de la producción y el aumento del reciclaje.

BARRERAS A LA EDIFICACIÓN INDUSTRIALIZADA

La penetración global de la construcción fuera de obra es difícil de cuantificar.

Los analistas definen la construcción fuera de obra de diferentes maneras, de acuerdo con la proporción de contenido fuera de obra (50% versus 80%, por ejemplo) y de acuerdo con las técnicas para medir ese contenido fuera de obra. Los datos son más fiables para viviendas unifamiliares, el segmento que históricamente ha sido el principal beneficiario de la construcción fuera de obra. En algunos mercados más pequeños, como Suecia, más del 80% de las viviendas nuevas ahora se construyen fuera de obra.

A pesar de su larga historia y su convincente propuesta de valor, la construcción fuera de obra es ahora está ganando terreno. Los motivos de la lenta absorción son complejos y varían de un mercado a otro. Hay cuatro barreras particulares:

Un problema de imagen.

El consumidor de vivienda suele asociar la construcción fuera de obra o "edificación industrializada" con viviendas sociales de baja calidad y uniformes. En el Reino Unido evoca recuerdos de los "bungalows prefabricados" construidos para resolver la escasez de viviendas de la posguerra. En los Estados Unidos, muchas personas lo confunden con casas móviles. Una excepción notable a esta tendencia es Japón, donde las casas construidas fuera de obra se consideran productos premium y de alta calidad.

Inflexibilidad y diseño uniforme.

En el pasado, para mantener bajos los costes, las empresas de construcción externas se adhirieron a una política de estandarización. Este enfoque tendía a entrar en conflicto con las limitaciones del sitio de construcción y con la preferencia del propietario individual por cierto grado de personalización.

Regulación y códigos locales de construcción.

La construcción tradicional está ampliamente sujeta a estrictas normas laborales que regulan quién puede hacer qué en la obra, por ejemplo, o especificando el número mínimo de trabajadores para una tarea en particular. Dichas normas contravienen el modelo laboral externo, que se basa en pequeños equipos de



trabajadores ampliamente capacitados. Otras reglas, incluidas las regulaciones de salud y seguridad, los códigos de planificación y los requisitos de hipotecas o seguros, han obstaculizado de manera similar el desarrollo de la construcción fuera de obra o edificación industrializada.

Aversión al riesgo.

El sector de la construcción es históricamente reacio al riesgo por muy buenas razones.

La construcción es costosa cuando se hace bien y potencialmente ruinosa cuando se hace mal, como pueden atestiguar casos de alto perfil como el nuevo aeropuerto de Berlín. Por el lado de la oferta, la construcción es un negocio cíclico y basado en proyectos, con presiones constantes de costes y bajos márgenes, y por lo tanto una aversión a los grandes gastos de capital y a la I + D. (Los contratistas ciertamente no están acostumbrados a invertir cientos de millones o incluso miles de millones en fábricas).

Por lo tanto, los constructores y los clientes han sido cautelosos al experimentar con nuevos métodos y tecnologías. (Ver *"Formando el futuro de la construcción: un avance en mentalidad y tecnología"*, un informe del Foro Económico Mundial, preparado en colaboración con BCG, mayo de 2016, págs. 13-15.)

En combinación, estas barreras tuvieron el efecto de forzar la construcción fuera de obra en un círculo vicioso. Las barreras redujeron la demanda de servicios externos. La demanda débil desanimó la inversión en edificación industrializada, por lo que la oferta siguió siendo muy limitada, y a la luz de la oferta limitada, había poco ímpetu por romper las barreras que mantenían baja la demanda.

Afortunadamente, este ciclo finalmente comienza a colapsar.

ROMPER LAS BARRERAS

Han entrado en juego tres factores nuevos que ahora están llevando la edificación industrializada/construcción fuera de obra a un punto de inflexión.

Escasez de profesionales de la construcción.

El primer factor es la escasez de habilidades profesionales a largo plazo.

La fuerza laboral de la construcción en los países ricos ha ido disminuyendo rápidamente a medida que los trabajadores actuales se jubilan, ya que los trabajos de construcción tradicionales tienen poco atractivo para los trabajadores más jóvenes en la actualidad.



La vieja solución, la importación de trabajadores del extranjero, se está volviendo menos viable, ya que los países importadores están endureciendo sus políticas de inmigración y los países exportadores están generando empleos más atractivos para sus propios trabajadores.

La construcción fuera de obra es un remedio obvio: atrae a los trabajadores locales de la construcción al tiempo que aumenta la productividad general en el sector.

El BIM. La revolución tecnológica de la construcción.

El segundo factor es el uso creciente de la tecnología digital. Este desarrollo está ayudando a erosionar las barreras al exterior, en particular la barrera relacionada con la inflexibilidad.

Gracias a las herramientas digitales, como el modelado de información de construcción (BIM), se está volviendo más fácil integrar componentes externos en compilaciones convencionales y crear sistemas más sofisticados y flexibles de componentes externos.

Además, los avances en los métodos de producción digital, como la robótica y la impresión 3D, algún día deberían poder convertir el ideal de "personalización masiva" en una realidad.

Inversión social en vivienda

El tercer factor es el apoyo del gobierno. Los gobiernos de todo el mundo ahora están respaldando la construcción fuera de obra con mucha más fuerza que antes.

Ante la grave escasez de viviendas y los presupuestos crónicamente ajustados, los gobiernos de todo el mundo están haciendo de la construcción fuera de obra una prioridad estratégica. Por lo tanto, se está creando una demanda estable que ayudará a estandarizar los diseños, dar forma a las nuevas regulaciones y dar a conocer los beneficios de las instalaciones externas. Las empresas privadas también tendrán el incentivo para involucrarse seriamente.

Sin duda, quedan algunos desafíos. La construcción fuera de obra puede aliviar la escasez de mano de obra, pero requiere nuevos conjuntos de habilidades y programas de capacitación, y estos aún están subdesarrollados.

LOS MERCADOS Y LAS PERSPECTIVAS

Aunque la tendencia para la construcción fuera de obra está indudablemente al alza, el ritmo de su desarrollo es difícil de determinar. El panorama podría



cambiar drásticamente si alguno de los grandes actores inmobiliarios realiza el movimiento audaz correcto. Por ejemplo, si una gran promotora apuesta por la construcción fuera de obra y adquiere una gran constructora tradicional.

El segmento que actualmente es la principal aplicación para la construcción fuera de obra es el de los edificios residenciales, y probablemente seguirá siéndolo. Las casas no son excesivamente complejas, pero se caracterizan por un alto grado de repetitividad. Y a menudo están sujetos a requisitos estrictos, en forma de expectativas de los compradores con respecto a la calidad y el precio. Por lo tanto, la mayoría de las principales empresas de construcción fuera de obra tienen una fuerte presencia de vivienda, o incluso una preferencia explícita.

En segmentos no residenciales, las perspectivas son más variadas. Los hospitales, hoteles, escuelas y cárceles, por ejemplo, son en general los principales candidatos para la construcción fuera de obra. Están altamente estandarizados, siguen requisitos estrictos con respecto a la seguridad o la marca, y son limitados en tiempo y mano de obra cuando se trata de amueblar y equipar.

Finalmente, es probable que la infraestructura siga siendo menos receptiva a la construcción fuera de obra.

Por supuesto, los componentes pequeños estandarizados, como las tuberías de aguas residuales o las traviesas de ferrocarril, con frecuencia se prefabrican fuera de obra. Pero los componentes principales, por ejemplo, de un puente, a menudo son grandes y difíciles de transportar desde una ubicación externa, por lo que podría ser más rentable construirlos en la obra.

Una vez más, sin embargo, los factores específicos del proyecto a veces favorecerán la construcción fuera de obra: el aeropuerto de Ginebra ha recurrido a métodos de construcción fuera de obra para su nueva terminal intercontinental, que tiene que caber en un sitio de apenas 20 metros de ancho.

Es probable que tales proyectos especializados fuera de obra aumenten en frecuencia, especialmente dado que la infraestructura es la rama de construcción más internacional.

IMPLICACIONES ESTRATÉGICAS

La construcción fuera de obra claramente tiene un potencial positivo que las compañías tradicionales no pueden ignorar. Pero hay otras razones para que las empresas participen en el mercado externo. La construcción fuera de obra va a ser muy perjudicial para la construcción en su conjunto, y las empresas existentes corren el riesgo de perder una cantidad significativa de valor. Específicamente, la construcción fuera de obra significará más producción, menos mano de obra en la obra, diferentes materiales y diferentes herramientas.



La productividad es evidente en el uso de componentes estandarizados, fabricados en fábrica, como paredes o incluso habitaciones, para reemplazar el proceso tradicional de construcción de cada componente individual en la obra.

Estos desarrollos transformadores afectarán a todas las empresas a lo largo de la cadena de valor, en mayor o menor grado. Aquí está el escenario probable:

Contratistas Generales

Su oferta de servicios se convertirá en mercancía. El grupo de valor al que pueden acceder se reducirá a medida que los sitios de construcción disminuyan en tamaño y complejidad. Su modelo actual de trabajo, equipo y relaciones subcontratista / proveedor serán redundantes y estarán bajo mayor presión que nunca para reducir los costes y los tiempos de entrega.

La competencia global se agudizará: Polcom Modular de Polonia, por ejemplo, puede entregar hoteles construidos fuera de obra en todo el mundo. La mejor estrategia de supervivencia para los contratistas es expandir sus capacidades fuera de obra. Los contratistas están bien posicionados para hacer este cambio porque supervisan toda la cadena de valor, pero deben actuar rápidamente.

Los fabricantes de materiales de construcción

Los fabricantes de materiales de construcción verán que su volumen de negocios y la prima de margen disminuirán drásticamente. A medida que la construcción se vuelva más productiva, tendrán que volverse compatibles fuera de obra si esperan ganar algún contrato. Sus marcas individuales actuales, relaciones con los clientes, sistemas y redes de distribución perderán su valor distintivo en un mercado productivo.

En el extremo, incluso podrían perder su condición de fabricantes de equipos originales y, en cambio, convertirse en proveedores y tener que presentar ofertas para producir componentes específicos. Si van a seguir siendo creadores de especificaciones, en lugar de tomadores de especificaciones, deben trabajar de manera proactiva para dar forma a los nuevos ecosistemas fuera de obra, en asociación con otras empresas que tienen experiencia complementaria.

Los productores de materiales de construcción pesados sufrirán a medida que la demanda cambie a otros materiales en ciertos segmentos.

El producto con mayor riesgo es probablemente el cemento, que es demasiado pesado para un uso generalizado fuera de obra. Para responder, las empresas pueden cambiar hacia materiales más apropiados fuera de obra, basándose en conocimientos especializados: la startup austriaca Cree, por ejemplo, ha desarrollado un nuevo material híbrido de madera y hormigón. Alternativamente,



las empresas pueden expandirse a servicios externos, como la impresión 3D de encofrados, que permite la personalización masiva del hormigón prefabricado.



Los arquitectos e ingenieros



Los arquitectos e ingenieros tendrán que ajustar su modelo de negocio a medida que la construcción se vuelva más productiva. Tendrán que adaptar su enfoque a los clientes y adquirir una mayor experiencia en el proceso de fabricación real.

Mientras tanto, el proceso de diseño en sí mismo cambiará, haciendo un mayor uso de componentes estandarizados e incluso un diseño automatizado. Para hacer frente a ese cambio, las empresas de arquitectura están bien posicionadas para convertirse en coordinadores de ecosistemas, ideando sistemas que permitan diseños personalizados basados en componentes estándar. Como mínimo, deberían poder integrar componentes externos en sus diseños y ser competentes en habilidades relacionadas con el exterior, como DfMA (diseño para fabricación y montaje).

Los promotores inmobiliarios y los inversores inmobiliarios

Los promotores inmobiliarios y los inversores inmobiliarios generalmente deberían beneficiarse de la revolución fuera de obra, específicamente de los tiempos de entrega más cortos, los costes más bajos y la mayor calidad, sin tener que realizar cambios importantes en su modelo de negocio existente.

Sin embargo, esto no significa que puedan quedarse quietos. La demanda de los mejores fabricantes externos en su clase supera con creces la oferta; de hecho, algunos de los principales fabricantes tienen largas listas de espera.

Por lo tanto, los promotores inmobiliarios deben buscar asociaciones de inmediato para asegurarse de tener acceso a los mejores fabricantes externos y maximizar su atractivo para los clientes, compradores e inversores.

PARTE PRIMERA

Historia de la industrialización de la construcción / edificación.

Capítulo 1. Historia de la industrialización de la edificación (desde Le Corbusier a Torroja)



1. Le Corbusier: maquinas de vivir: viviendas industrializadas como Ford.