II Concurso
Iberoamericano
de Informes
1986

tercer premio

FABRICA DE ESCUELAS DE RIO DE JANEIRO. UNA INNOVACION TECNOLÓGICA

(SCHOOL INDUSTRY OF RIO DE JANEIRO. A TECHNOLOGICAL INNOVATION)

Luis Gastão de Castro, Arquitecto

Profesor de la Escuela de Ingeniería de São Carlos - U.S.P.

Larissa Biderman, Arquitecta

Alumna del Curso de Mestrado en Arquitectura

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo divulgar el trabajo ejecutado por el arquitecto brasileiro João Filgueiras Lima, realizado con la idea de proponer un original sistema industrializado, para la construcción de edificios escolares.

El Proceso adoptado posee la virtud de aliar tecnología moderna con las posibilidades materiales y económicas de las regiones más pobres del Brasil. Su implantación en Río de Janeiro fue bien sucedida, así como en otras diversas ciudades que adoptaron el modelo.

*La propuesta adopta un sistema de prefabricación cerrado ejecutado en «argamassa armada» * (paneles prefabricados de hormigón armado), constituido de piezas de poco peso. Su realización evita equipamientos caros y su montaje es manual.*

En este trabajo se explican inicialmente las condicionantes económicas, políticas y los aspectos materiales del proyecto. Se describen posteriormente los procesos de producción y las fases de montaje del producto final acabado.

SUMMARY

The objective of this article is to impart the work accomplished by the Brazilian architect João Figueiras Lima, performed with the idea of proposing an industrialized system, quite creative, for the edification of school buildings.

The adopted process has the virtue of allying modern technology to material and economical possibilities of the poorest regions in Brazil. Its implantation in Rio de Janeiro was quite successful and several other Brazilian cities are adopting this model.

The proposal uses a closed system of prefabrication performed in mortar, and constituted by separated parts of low weight. Its execution avoids expensive equipment and the assembly is manual.

In this work the political and economical conditions and the material aspects of the project are firstly explained. Following, the production processes and the assembly steps of the finished product are described.

Desde los años de 1970, Brasil presenta un elevado crecimiento económico, acompañado por un crecimiento poblacional de 2,5 % al año. Este porcentaje (1985) se sitúa en niveles alrededor del 2 % para una población de 120.000.000 de habitantes. Esto significa un crecimiento anual de 2.400.000 individuos. El índice poblacional de las edades escolares, en particular las que se encuentran situadas entre los 7 y los 14 años, representan una elevada población joven. Este crecimiento ha sido acompañado de fuertes concentraciones urbanas, con índices de urbanización en torno de los 70 %. Debido a que los recursos económicos son limitados, los organismos de administración pública encuentran muchas dificultades para superar la creciente demanda de edificios para fines sociales y particularmente los edificios escolares.

* Se respeta en este artículo la denominación argamassa armada con el significado de ferrocemento.

Este trabajo tiene como finalidad la presentación de una solución práctica y objetiva para resolver este problema. Fue concebida por el arquitecto João Filgueiras Lima. Inicialmente, estaba dirigida a la construcción de escuelas en el medio rural y, verificada su potencialidad, fue posteriormente adoptada por el gobierno del estado de Río de Janeiro para que fuese ejecutada a nivel urbano.

El problema de esta creciente demanda de edificios para fines escolares, ya es muy antiguo y preocupante en todo el país. La gran mayoría de los estados brasileiros viene adoptando estrategias diversas para solucionar este problema y vencer el desafío.

Aunque en el caso especial del Gobierno del Estado de Río de Janeiro, la reducción del problema escolar formaba parte de una ambiciosa plataforma política que pretendía resolver al mismo

Interior de la escuela.

Línea de producción de vigas. Fabricación.

Piezas almacenadas.

tiempo los problemas de la existencia de un gran número de menores, pobres y desocupados.

Fue adoptada la estrategia de construir en gran escala unidades escolares con la capacidad de alojar alumnos en período integral, con estudios, alimentación y gimnasia. Siendo el plazo de mandato estatal relativamente corto (4 años) para poder ejecutar un programa tan amplio de construcción, el Gobierno resolvió adoptar técnicas constructivas de rápida y gran productividad.

La gran industria brasileira de materiales de construcción no ha desarrollado componentes capaces de permitir construcciones rápidas. No existe todavía una política de modulación constructiva; las técnicas de pre-fabricación son en su mayoría sectoriales y desarrolladas por constructoras que se interesan solamente en programas específicos de construcción, como edificios industriales y conjuntos habitacionales.

El Gobierno del estado de Río de Janeiro adoptó como solución el desarrollo de dos sistemas de pre-fabricación. Uno de estos sistemas es responsable de la mayor parte del programa aquí propuesto. Comprende un sistema de pre-fabricación a base de hormigón armado, con piezas de peso grande que permiten construcciones de gran porte.

El otro sistema está constituido por paneles livianos de «argamassa armada». Fue adoptado para completar el programa constructivo, debido a sus características originales de proyecto, montaje y costo. Este sistema (ferrocemento) está siendo utilizado por diversos gobiernos de estados y constructoras del país.

La «argamassa armada» es un material compuesto de una mezcla de arena y cemento que trabaja junto con una malla de hierro. Tiene su origen en las experiencias del francés Jean Louis Lambot y en trabajos posteriores desarrollados por el Arquitecto Pier Luigi Nervi.

En Brasil este material fue sometido a estudios y experimentación que se realizaron en la escuela de ingeniería de São Carlos, Universidad de São Paulo (USP) y fue divulgado a nivel nacional, aumentando cada año el número de interesados en su utilización en todo el ámbito nacional.

La «argamassa armada» como material constructivo se encuentra en investigación y desarrollo en diversos países. En Brasil las primeras aplicaciones con éxito fueron realizadas en Salvador, Bahía, para solucionar problemas de equipamientos urbanos.

Moldes de forjado; ejecución. Fabricación.

La utilización de «argamassa armada» en la construcción de edificios fue realizada por el arquitecto João Filgueiras Lima, quien lo desarrolló inicialmente en la construcción de escuelas en el medio rural, como se expuso anteriormente.

El arquitecto Filgueiras Lima consiguió demostrar la viabilidad del sistema y su aplicación en la construcción de escuelas rurales, atendiendo de esta manera a la gran mayoría de exigencias que se ocasionan, debido a las características específicas del medio rural brasileiro, tales como:

- 1.a Utilización de materiales básicos locales.
- 2.a Utilización de mano de obra no cualificada.
- 3.a Facilidad de transporte sin uso de equipamiento sofisticado.
- 4.a Costos compatibles con los escasos recursos existentes en los municipios y estados menos desarrollados.

Este sistema mostró sus posibilidades en un prototipo construido, presentando las siguientes características:

- 1.a Constituye una innovación ya que ofrece una perfecta combinación entre el proyecto, el material y la técnica constructiva, permitiendo una gran flexibilidad espacial y una excelente solución para los problemas ambientales (confort), derivados de las propuestas del diseño.
- 2.a Posee la cualidad de utilizar tecnología avanzada, adaptándola a las diferentes condiciones operacionales encontradas en Brasil, desde las situaciones de extrema pobreza del medio rural, hasta los recursos más sofisticados de los grandes centros urbanos.
- 3.a Posee diversos niveles de inversión, haciendo posible todo tipo de instalación en el proceso constructivo, desde el trabajo simple hasta la fabricación en gran escala con recursos mecanizados.

Curado de 72 horas.

Vista lateral de la escuela.

Desmoldado.

- 4.a Este sistema permite la utilización de gran cantidad de mano de obra, no cualificada, y usa niveles bajos de mecanización. Este hecho desafía la posición, según la cual la industrialización en la construcción es un factor que genera desempleo.

Un buen grado de mecanización razonablemente empleado puede dar un aspecto social de gran relevancia. Estas características se pueden mantener en la producción y en el montaje del sistema.

- 5.a Permite reducir la complejidad técnica-constructiva, como también promueve la participación comunitaria a nivel local y municipal.
- 6.a En función de las posibilidades políticas de los municipios, permite ser dirigido y desactivado con rapidez y flexibilidad de uso, sobre todo en funcionalidad y en racionalización de los espacios internos de los proyectos. Por este motivo, además de escuelas rurales, se pueden producir locales de asistencia infantil, centros médicos, centros comunitarios, etc.
- 7.a La técnica utilizada en la producción de prefabricados ligeros, facilita el transporte de las piezas, fabricadas con dimensiones reducidas, permitiendo sistemas de formas dobles que pueden ser montadas con juntas secas, capaces de dinamizar el montaje y desmontaje.

Ejecución de cimentación y colocación del forjado.

Fijación del pilar.

Escuela rural para 70 alumnos.-Primer modelo.

Ubicación para el hemisferio Sur.

La decisión de la implantación del sistema constructivo en Río de Janeiro tenía como objetivo construir rápidamente unidades escolares y crear una nueva política ágil, que aumentase el número de empleos a través del sector de obras públicas, reduciendo en lo posible los problemas sociales producidos por el elevado índice de desempleo en el año 1984.

El inicio de este proyecto atendió a la estructura política de poderes derivados de la organización del poder público en Brasil: El Municipio, con la ciudad central, y el Estado, con diferentes poderes y administraciones. Para armonizar los diferentes poderes se estableció un convenio entre los órganos involucrados. Cada uno de los participantes aportó un determinado porcentaje en los gastos, teniendo derechos proporcionales en el uso del material producido para la fabricación de las escuelas.

Siendo la estructura de los órganos públicos lenta y burocrática, fue necesaria la contratación de una empresa privada para administrar las compras de materiales, contratación de mano de obra, etc. Para ejercer esta administración, el porcentaje operacional de la empresa se fijó en un 14 % sobre los costos reales investigados. Las compras de mayor importancia se realizaron por el Gobierno a través de concurso público.

Los gastos de mano de obra representan aproximadamente el 45% y el material el 55% del total.

Los terrenos para la instalación de las fábricas fueron donados por el municipio y se localizaron en la región central de la ciudad de Río de Janeiro. No representaron costos indirectos para el comienzo del proyecto.

Este fue un factor de importancia, responsable por la reducción sustancial de los costos iniciales de las instalaciones y, por consiguiente, de los costos finales de las obras concluidas.

DESCRIPCION DEL SISTEMA

El sistema está basado en el uso de «argamassa armada», con piezas de 1,80 cm de espesor. Se

caracterizó fundamentalmente por haber considerado todos los periodos básicos de la construcción, desde la fabricación integral de los productos intermediarios, hasta el montaje del producto final. El diseño de los componentes del proyecto fue armoniosamente asociado al proyecto de los encofrados y de los procesos productivos.

Una de las directrices principales fue adoptar un sistema modular capaz de dar flexibilidad constructiva, permitiendo adaptaciones en las diversas condiciones de implantación, orientación y diversificación espacial. Esta versatilidad aumenta las posibilidades de composición en los edificios de carácter social como: jardines de infancia, puestos de salud, centros comunitarios, etc.

CUADRO DESCRIPTIVO DE LAS CARACTERISTICAS BASICAS

Características del edificio y condicionantes del proyecto	Soluciones encontradas en el proyecto
A) Flexibilidad.	Prefabricación con módulo rectangular y utilización del sistema estructural independiente de los tabiques.
B) Expansibilidad.	El módulo adoptado permite extensión del edificio en dos direcciones, proporcionalmente a los módulos estructurales adoptados.
C) Facilidad de transporte.	Piezas ligeras, de pequeñas dimensiones.
D) Transformaciones simples, incluido desmontaje total.	Uso de juntas secas entre los componentes.
E) Bajo costo de mantenimiento.	Sistema de materiales aparentes, que no requieren uso de pintura y fácil reposición de piezas dañadas.
F) Bajo costo de edificación.	El proyecto, como un todo, contribuye para este objetivo.
G) Uso de materias primas locales.	Uso de materiales de construcción corrientes, existentes en lugares diversos.
H) Rápida ejecución.	Prefabricación de los componentes.
I) Rápido montaje.	Prefabricación ligera, sistema de fácil manejo por el personal no cualificado.
J) Confort ambiental (climas calientes y húmedos)	Recursos de diseño, con la elaboración de componentes especiales tales como: <ul style="list-style-type: none"> – «Sheds», para iluminación cenital y producción de efecto de «chamine». – Placas de aislamiento térmico en el techo. – Paneles de partición con huecos para ventilación.
K) Coherencia en el uso del material.	Uso adecuado de la resistencia de la forma, con piezas de poco espesor –condición necesaria para la viabilidad económica del proyecto–.

Elementos estructurales.

Sala polivalente.

En el proyecto se adoptó la malla ortogonal de 600 x 600 mm como módulo, a partir del cual fueron dimensionados todos los ambientes y componentes pre-fabricados. La selección de este módulo consideró tres requisitos fundamentales:

1. Dimensión correcta de los espacios.
2. Orden económico, asociado a la optimización de la tela metálica utilizada en la «argamasa armada», factor de mucha importancia en la composición del costo.
3. Definición de los componentes con buena resistencia y dimensiones adecuadas para las finalidades operacionales.

El módulo estructural de 2.400 x 6.000 mm que resulta del módulo inicial del proyecto, permite variaciones en las dimensiones de las salas de aula y en los demás ambientes destinados a otras actividades vinculadas con el programa. La dimensión menor del módulo estructural (2.400 mm), se encuentra asociada a las dimensiones de los componentes del techo, haciendo compatibles el material con el montaje manual.

El sistema puede ser clasificado como cerrado; está compuesto predominantemente por piezas premoldeadas de «argamasa armada», además de componentes de madera y piezas metálicas.

Actualmente se producen en fábrica cerca de 80 diferentes piezas de «argamasa armada», número que aumenta en función de los perfeccionamientos introducidos. En esta dinámica ocurren sustituciones de equipamientos inicialmente ejecutados con materiales como la madera, cerámica y otras de «argamasa armada». Estas sustituciones entrañan un importante ahorro, además de representar innovaciones de diseño.

Las diferentes piezas se utilizan en la composición de los siguientes conjuntos:

- A) Edificios escolares –cimentaciones, pilares, vigas, techos, tabiquería, paredes, forjados, rodapié y componentes complementarios.
- B) Canales para drenaje de aguas pluviales.
- C) Depósitos de agua.
- D) Depósitos subterráneos.
- E) Muros y escaleras.
- F) Abrigos para entradas.

LA PRODUCCIÓN DE LOS COMPONENTES PREMOLDEADOS

El proceso de producción de los componentes, que reciben el nombre de «Fábrica de escuelas» se efectúa dentro de las mismas directrices que orientaron el proyecto arquitectónico y el montaje de los edificios, con el proceso productivo semi-mecanizado, de manera que puede absorber mano de obra poco cualificada.

Introduciendo tecnología más avanzada, el proceso productivo podrá ser simplemente automatizado en su totalidad. Esto naturalmente dependerá de una política gerencial y de las políticas de los órganos financiadores que, en este caso, son representados por el Gobierno.

La fábrica establece diversas líneas de producción:

1. Línea de producción de los componentes de «argamasa armada».
2. Línea de producción de elementos metálicos complementarios (ferretería).
3. Línea de producción de elementos de madera complementarios (carpintería).

Existen dos sectores cuyas operaciones son preliminares: el armado y hormigonado. El primer sector es responsable del cortado, doblado y armado de las telas metálicas, constituidas por alambres de acero soldados con hilos metálicos de 2 mm y malla rectangular de 25 x 50 mm.

El segundo sector es responsable de la producción y el abastecimiento de la «argamassa» *, a través de una central mezcladora.

La «argamassa» es elaborada con cemento de alta resistencia inicial $C_p - 400$ y arena con una granulometría máxima de 3,8 a 4,2 mm. El consumo de cemento está entre 600 y 800 kg/m².

Partiendo de estos dos sectores se desarrollan las diversas líneas de producción de los premoldados, que siguen el siguiente flujo de producción:

- Colocación de las telas, hierros, separadores de la armazón en los moldes (encofrados metálicos).
- Vertido de la mezcla (argamassa) en los moldes (encafrados metálicos).
- Vibrado de la mezcla y cerrado hermético de los moldes.
- Inmersión inmediata de los moldes cerrados en tanques con agua.
- Curado inicial de 9 a 12 horas.

Este primer curado dentro del agua contribuye a disminuir la retracción de la «argamassa», mejorando su acabado superficial, sus calidades mecánicas y la impermeabilidad. Por el uso continuo, el agua de los tanques sube de temperatura alcanzando una media de 40° C, que viene a mejorar el proceso.

Después de este curado inicial, las piezas son retiradas de los moldes metálicos y colocadas en otros tanques de agua, para un segundo curado de 72 horas. Seguidamente las piezas son retiradas y almacenadas. Parte de estas piezas son enviadas para el sector de acabados, donde son corregidos los fallos de ejecución.

Una de las partes fundamentales del sistema de ejecución es el diseño de los moldes. Estos fueron diseñados por el arquitecto João Filgueiras Lima y por el técnico Mariano Delgado Casañas. Estos moldes son metálicos con chapas de 3 mm de espesor, previstas para 5.000 ciclos de utilidad. Los moldes metálicos son perfectamente lisos en piezas dobles, con un sistema de encaje cerrado y exacto, con cerraduras y refuerzos capaces de resistir las presiones que ocurren durante la vibración.

El cerramiento hermético de los moldes también impide la filtración de la mezcla durante el curado inicial de las piezas.

La línea de producción de los elementos metálicos, además de ser responsables de la ejecución de los moldes y de los equipamientos mecánicos de uso en la fábrica (equipamiento para

Viga-cajón del sistema constructivo.

Montaje y ajuste de la viga.

elevación y transporte de las piezas), produce los siguientes elementos de complementación:

- Accesorios para las escuelas –cuadros eléctricos, canaletas para tomas eléctricas, ventanas, guías para los paneles de división, verjas y portones–.
- Muebles para la fábrica y para la obra –mesas y bancos para los jardines de infancia, equipamiento para la cocina y pizarrones para las aulas de clase–.

La línea de producción de los elementos de madera (carpintería), se encarga de los servicios generales con piezas de madera utilizadas en la fábrica (equipamientos y moldes). Está además responsable para el uso de la fábrica y de los edificios construidos.

Todo este proceso de producción, junto con el montaje posterior del sistema constructivo, posee un crecimiento gradual, con la adquisición de equipamiento y de servicios, en función de la demanda, que representa uno de los puntos críticos de la construcción industrializada.

* Mortero

En este caso, el Estado es el responsable de solucionar el inmenso déficit de edificios para fines sociales, cuya demanda es constante y tiene una tendencia creciente.

Cuando se escribió este trabajo había un volumen de 250 solicitudes para construir escuelas, puestos de salud, jardines infantiles y casas comunitarias. La capacidad de producción de la fábrica es de dos edificios de 210 m² por día, mucho menor que la demanda. Cada edificio de escuela posee un área de 1.500 a 1.800 m². El montaje de estas construcciones tampoco acompaña la demanda, ya que exige una estructura administrativa más compleja que la fábrica.

Otro problema que se presenta es el costo. En la solución adoptada, los costos se mantienen bajos en función de un gran número de factores, entre ellos el bajo nivel de remuneración de la fuerza de trabajo que, siendo poco cualificada, recibe salarios apenas un 50 % superiores al salario mínimo brasileiro, que es de CZ\$ 800,00 Cruzados (US\$ 57,00). En el momento de la investigación, el costo estimado (directo e indirecto) para el metro cuadrado de construcción de estos edificios se aproximaba en torno de los 600 a 700 cruzados por metro cuadrado (US\$ 50,00).

Escuela urbana para 160 alumnos.

Montaje de los paneles internos.

Montaje de paneles simples.

Montaje de paneles dobles.

Instalaciones hidráulicas.

ASPECTOS AMBIENTALES DE LOS EDIFICIOS

1. **Confort Térmico:** El sistema fue diseñado para climas tropicales en general, pero sus prestaciones son mejores en los climas tropicales calientes, como se comprobó in situ en la Facultad Católica de Arquitectura del Estado de Goias del Brasil.
2. **Confort Acústico:** Cuando el proyecto se desarrolló, no existía preocupación con el problema de la acústica aunque los espacios, considerados internamente, fueron previstos con amplitud.
3. **Corrosión y Durabilidad:** Se obtuvieron buenos resultados colocando correctamente la «argamassa» sobre la tela metálica, en el proceso de fabricación de las piezas.
4. **Aspecto Plástico:** La escuela tiene un aspecto agradable, con un armonioso ritmo creado por medio de los componentes constructivos. La pintura colorida de los canales, elementos metálicos y de madera contrastan con el color ceniza monótono del cemento.
5. **Mantenimiento:** Como el sistema está constituido por materiales ligeros, usados sin acabado ninguno, resulta fácil la sustitución de paneles o piezas dañadas.

Finalmente, apuntamos que el sistema cumple totalmente sus objetivos iniciales. En función de sus niveles de desempeño, está siendo adoptado por otros Estados de la federación política brasileira, con los objetivos sociales inicialmente señalados.

* * *