

Diseño y construcción de la torre Merdeka 118 con hormigón de alto rendimiento: ampliando los límites de la tecnología del hormigón para un edificio de gran altura.

A. K. Abdelrazaq^{1*}

* Contactar al autor: aabdelrazaq@riseglobal360.com

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v15i2.808>

Recibido: 07/03/2024 | Correcciones recibidas: 21/03/2025 | Aceptado: 24/04/2025 | Publicado: 01/05/2025

RESUMEN

Este documento presenta la ingeniería estructural, las innovaciones de construcción y los desafíos clave en el diseño y la construcción del próximo hito de Malasia. Merdeka 118 es un desarrollo mixto a gran escala que incluye una torre mega alta de 118 pisos y 679,9 m de altura, la segunda torre más alta del mundo. La aplicación efectiva de hormigón de alto desempeño (HPC) hasta C105 ha optimizado significativamente el tamaño de los elementos estructurales y ha mejorado la economía del edificio al maximizar el espacio de piso premium. Se ha aplicado HPC hasta C105 a las paredes de la mega columna y el núcleo para optimizar el tamaño de los elementos y mejorar la capacidad de resistencia a la gravedad y la carga lateral de los elementos. Para garantizar la entrega de HPC al más alto nivel, se han desarrollado amplios programas de planificación, programas de pruebas y programas de garantía de calidad/control de calidad (QA/QC). Los desafíos en la Torre Merdeka 118 han superado los límites de la utilización de HPC en Malasia desde las torres gemelas Petronas.

Palabras clave: hormigón de alto desempeño, cerchas estabilizadoras, cerchas de cinturón, edificios superaltos, mega columnas de hormigón.

Citar como: Abdelrazaq, A. K. (2025), "Diseño y construcción de la torre Merdeka 118 con hormigón de alto rendimiento: ampliando los límites de la tecnología del hormigón para un edificio de gran altura.", Revista ALCONPAT, 15 (2), págs. 175 – 187, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v15i2.808>

¹ Director General y Fundador, RISE GLOBAL LLC/ex Vicepresidente Ejecutivo de Samsung C&T, Chicago, EE. UU.

Contribución de cada autor

En esta obra, el autor Ahmad K. Abdelrazaq contribuyó a todas las actividades.

Licencia Creative Commons

Los derechos de autor (2025) son propiedad de los autores. Este trabajo es un artículo de acceso abierto publicado bajo los términos y condiciones de una licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 International License ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discusiones y correcciones posteriores a la publicación

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el primer número del año 2026 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del tercer número del año 2025.

Design and construction of Merdeka 118 tower using high performance concrete: Pushing the boundaries of concrete technology for a megatall building.

ABSTRACT

This paper presents the structural engineering, construction innovations and key challenges in the design and construction of Malaysia's next landmark. Merdeka 118 is a large-scale mixed development that includes a 118-storey-679.9m tall mega-tall tower, the second tallest tower in the world. The effective application of High Performance Concrete (HPC) up to C105 has significantly optimized the size of structural elements and improved the economics of the building by maximizing premium floor space. HPC up to C105 has been applied to the mega column and core walls to optimize the size of the elements and improve the gravity and lateral load resisting capability of the elements. To ensure delivery of HPC to the highest standard, extensive planning, testing programs, and quality assurance/quality control (QA/QC) program have been developed. The challenges in Merdeka 118 tower have pushed the boundary of HPC utilization in Malaysia since the Petronas twin towers.

Keywords: high performance concrete, outrigger trusses, belt trusses, supertall buildings, mega concrete columns.

Projeto e construção da torre Merdeka 118 usando concreto de alto desempenho: expandindo os limites da tecnologia do concreto para um edifício de grande altura.

RESUMEN

Este artículo presenta a engenharia estrutural, inovações de construção e os principais desafios do projeto e construção do próximo marco da Malásia. Merdeka 118 é um empreendimento misto de grande escala que inclui uma torre mega-alta de 118 andares e 680m de altura, a segunda torre mais alta do mundo. A aplicação eficaz de concreto de alto desempenho classe de até C105, em cubos (ou C90 em cilindros) otimizou significativamente o tamanho dos elementos estruturais e melhorou a economia do edifício, maximizando o espaço interno. O concreto de alto desempenho de até C105/C90 foi aplicado nas paredes do núcleo para otimizar o tamanho dos elementos e melhorar a resistência à gravidade (massa) assim como a capacidade de carga lateral (ventos). Para garantir o fornecimento de HPC ao mais alto nível, foram desenvolvidos rigorosos programas de planejamento, ensaios, e garantia de qualidade/controle de qualidade (QA/QC). Os desafios na Torre Merdeka 118 ultrapassaram os limites da utilização do HPC na Malásia desde as emblemáticas torres gêmeas Petronas Tower.

Palavras-chave: concreto de alto desempenho; cintas estabilizadoras; cinturões (outriggers); edifícios superaltos; núcleo com megacolumnas de concreto.

Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org

Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

La reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación se realiza en apego al código COPE y a la licencia CC BY 4.0 de la Revista ALCONPAT.

Diseño y construcción de la torre Merdeka 118 con hormigón de alto rendimiento: ampliando los límites de la tecnología del hormigón para un edificio de gran altura

1. INFORMACIÓN GENERAL

La Torre Merdeka 118 es un edificio de gran altura con 118 pisos y cinco sótanos. Dentro de 292,000 m² de área bruta construida (ABP), la torre consta de 83 pisos de espacio de oficinas [L8-L96], 17 pisos del Park Hyatt Hotel [L98-L112 con 252 habitaciones], un centro comercial de 7 pisos "118 Mall", plataforma de observación "The View at 118" ubicada en 115-116 pisos y 5-6 niveles de estacionamiento subterráneo. La Torre está coronada con una esbelta punta en espiral (SPIRE) de 160,4 m que incluye espacio para el acceso de visitantes con una vista de 360° de la ciudad. Una vez finalizado, Merdeka 118 tendrá 678,90 m, lo que lo convierte en la estructura artificial más alta de Malasia y la región del sudeste asiático, y el segundo edificio más alto del mundo después del Burj Khalifa. El diseño del Merdeka 118 es una fusión de modernidad y simbolismo cultural. Los planos triangulares de vidrio de la fachada exterior están inspirados en patrones que se encuentran en las artes y artesanías malayas, que representan la diversidad del pueblo malayo. El diseño general de la torre refleja la silueta de Tunku Abdul Rahman levantando la mano mientras canta "Merdeka", capturando el espíritu de independencia, libertad y progreso.



Figura 1 Foto de la construcción de Merdeka 118 en Kuala Lumpur

2. SISTEMA DE RESISTENCIA A LA CARGA LATERAL (VIENTOS)

El sistema de resistencia de carga lateral de la torre consta de 8 megacolumnas, un sistema de núcleo central reforzado, columnas intermedias de acero, 6 juegos de cerchas de flejado y 3 juegos de abrazaderas estabilizadoras. El muro central de hormigón armado está conectado a 8 megacolumnas de hormigón armado por medio de 3 juegos de cerchas estabilizadoras en la dirección este-oeste y 2 juegos de cinturones estabilizadores en la dirección norte-sur para componer el sistema de resistencia a la carga lateral de la torre. Debido a la esbeltez de la torre en dirección este-oeste y a la profundidad estructural limitada, el sistema de resistencia a la carga lateral de la torre se rige principalmente por los requisitos de rigidez más que de resistencia. El diseño original utilizó hormigón C85 con agregado de granito local, que tiene limitaciones para

lograr el módulo de elasticidad requerido, por lo que se requiere un aumento significativo en los tamaños de las mega columnas de acuerdo con la disposición del sistema estructural o un aumento significativo en las barras de refuerzo, lo que resultó en desafíos de constructibilidad. En lugar de hormigón C85, el contratista general seleccionó deliberadamente hormigón C105/C90, con agregado de basalto, para aumentar significativamente el módulo de elasticidad del hormigón, reducir el refuerzo de acero estructural y mejorar la constructibilidad general del proyecto.

La Figura 2 ilustra el diseño de la megaestructura lateral y el sistema de estabilidad de la torre. Además, también permitió el equilibrio del nivel de tensión entre la mega columna, reduciendo significativamente el acortamiento diferencial entre el núcleo central y las mega columnas. La torre está coronada por una aguja de acero estructural de aproximadamente 169 m con una variación significativa de forma y ventilada para reducir los efectos del viento.

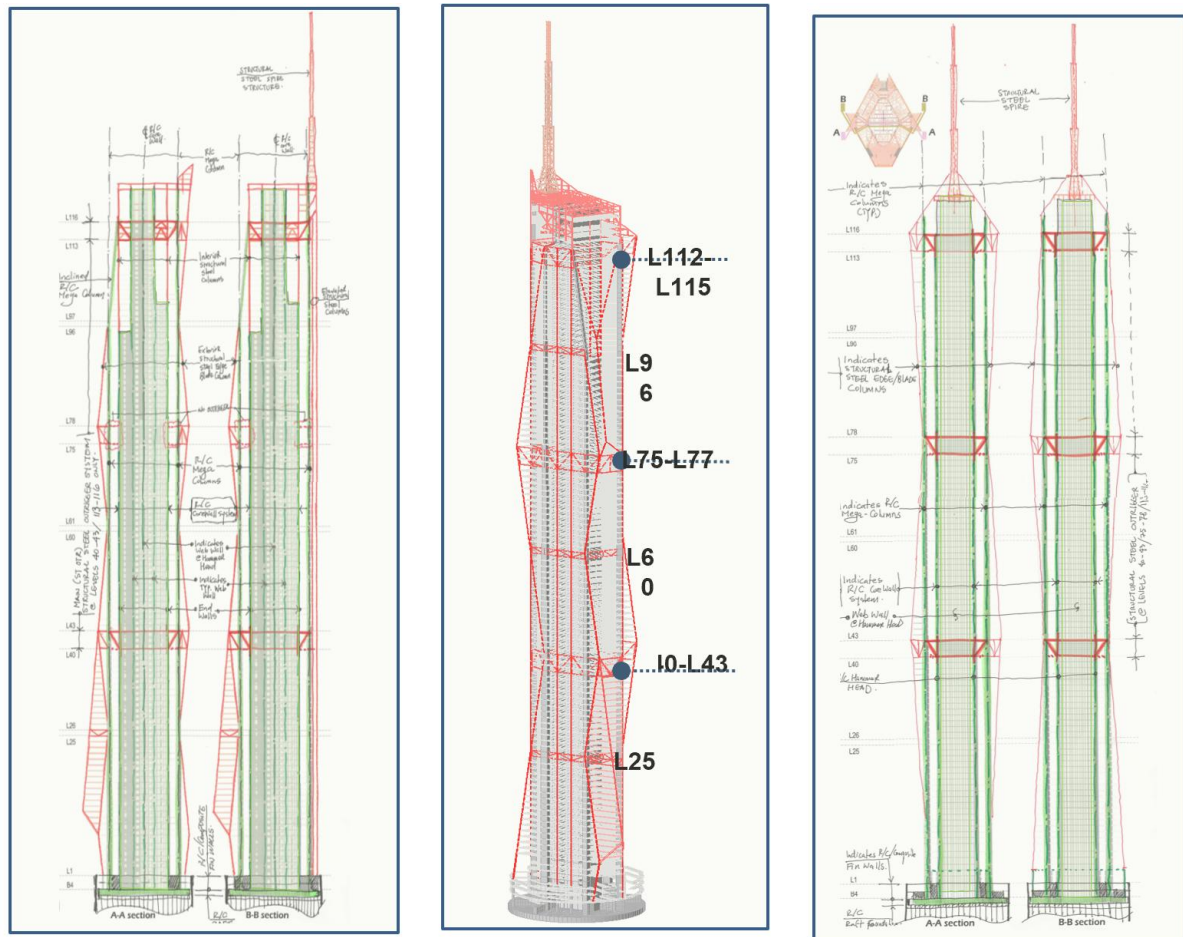


Figura 2a. Merdeka 118: Sistema estructural y sistema de estabilidad lateral Mega-Frame

Debido a la altura y esbeltez significativas de la férula en espiral o pináculo y al alcance limitado de la grúa torre, la estructura de acero de la férula se construyó utilizando grúas torre desde el nivel del techo hasta el nivel 4. Se instaló una plataforma temporal con sistema de gato hidráulico en el nivel 4 para completar el montaje de los dos niveles superiores restantes utilizando gatos hidráulicos por el método telescópico.

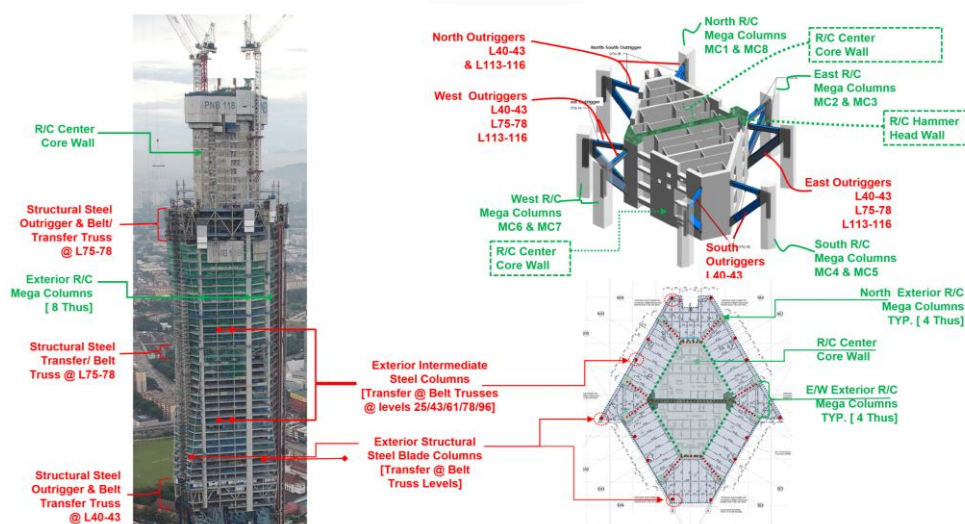


Figura 2b. Merdeka 118: Sistema estructural y sistema de estabilidad lateral Mega-Frame

La estructura de Merdeka 118 tiene muchos desafíos estructurales que no se pueden cubrir en detalle en este artículo, pero que se resumen aquí. Los detalles de estos y otros aspectos originales se abordarán y proporcionarán en futuras publicaciones.

1. La estructura del Mega consiste en el núcleo central reforzado con vigas de cabeza de martillo de aproximadamente 7,4 m x 4,35 m con un espesor de hasta 1,7 m, que están conectadas a 8 mega columnas rectangulares externas de hormigón armado [4,4 m x 3,2 m] a través de 3 estabilizadores de acero estructural en tres zonas [L40-43, L75-78, L13-116]. La optimización del diseño y la gestión del acortamiento diferencial entre estos elementos fue crucial;
2. El proyecto está ubicado en un clima cálido y el sistema estructural tiene elementos estructurales masivos. La hidratación, la gestión del calor y el curado del hormigón de estos elementos masivos fueron esenciales;
3. El proyecto cuenta con seis cerchas de fleje de acero estructural, que soportan columnas de acero estructural, que se extienden entre las megacolumnas de hormigón armado. El movimiento diferencial entre las megacolumnas y las columnas de acero estructural presenta problemas relacionados con la nivelación del piso y el programa de compensación de asentamientos diferenciales. Realizar un análisis detallado de la secuencia constructiva para cumplir con el proyecto fue extremadamente importante, ya que también tuvo un impacto directo en los componentes no estructurales, especialmente en la fachada;
4. La punta/pináculo de la torre tiene 169 m de altura y es una espiral muy delgada. El pináculo se montó en la parte inferior y se izó hasta la posición final.
5. El edificio se apoya en un radier sostenido por pilotes, con ocho vigas de baldrame que forman aletas de 2,5 m, conectando el núcleo central a las megacolumnas para igualar la distribución de carga entre los pilotes. La torre se apoya en una base radiante de 4 m de altura, sobre 138 pilotes de 2 m de diámetro cada uno, que se extienden a una profundidad de aproximadamente 78 m por debajo del radier;
6. Debido a la ubicación asimétrica del núcleo, se espera que el edificio se desplace lateralmente más de 250 mm bajo cargas de gravedad. Esto tuvo un impacto directo en el ascensor y otros sistemas del edificio. La gestión del programa y las acciones para compensar los asentamientos laterales fue fundamental;
7. El proyecto es bastante masivo, con 5 a 6 niveles bajo tierra, rodeado de instalaciones de gran importancia histórica, asentadas sobre cimientos con un sistema de metro adyacente. Por lo tanto, la gestión del movimiento lateral y vertical era de suma importancia. La construcción empleó el método de construir medio piso a la vez y una vez más fue necesario

compatibilizar los movimientos diferenciales del edificio. Se implementó un análisis exhaustivo con el software Plaxis 3D y un programa de monitoreo en tiempo real para garantizar que el movimiento del edificio, ubicado muy cerca del metro, se mantuviera dentro del límite de 5 mm.

Si bien todos los desafíos anteriores no se pueden abordar aquí en detalle, el enfoque principal de este artículo se centra en el rigor de la planificación del concreto para adaptarse al proyecto.

3. PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO DE HORMIGÓN C105 CON ALTO MÓDULO DE ELASTICIDAD

El hormigón de alto rendimiento (C105), con alta resistencia y módulo, se desarrolló y aplicó con éxito en la Torre Merdeka 118 para minimizar el área de la sección transversal y el refuerzo de los elementos estructurales verticales de la torre, aumentando así el área del piso. Consulte la Tabla 1 para conocer los tipos de concreto utilizados en el proyecto.

Los siguientes son los resultados y breves resúmenes del programa de desarrollo de mezclas de concreto, que incluyen, entre otros, una planificación cuidadosa para trabajos de concreto, selección exigente de materiales, elaboradas pruebas de laboratorio y de campo, prototipos a gran escala y simulación de bombeo en altura para lograr el alto rendimiento y la alta consistencia del concreto. Se utilizaron tecnologías de materiales avanzados para lograr la resistencia deseada y minimizar la temperatura del hormigón debido al clima cálido y al vertido en grandes volúmenes. Los agregados de basalto se utilizaron especialmente para lograr el módulo de elasticidad deseado del concreto. Se han adoptado aditivos químicos personalizados para lograr la trabajabilidad y consistencia deseadas. Se realizaron extensas pruebas de laboratorio y monitoreo in situ de la estructura para determinar el módulo de elasticidad, los coeficientes de fluencia y contracción del hormigón para predicciones más precisas del acortamiento de los elementos verticales de la torre, el movimiento lateral de la torre bajo cargas de gravedad y el desarrollo de programas de compensación de deformación diferencial.

Tabla 1. Resumen del hormigón utilizado en Merdeka 118

Ubicación	Caminar	Elevación (m)	Grado de hormigón (MPa)
Mega Columna	B4 a L1	46,35	85
	L1 a cubrir	556,63	105
Núcleo Principal	B4 a L1	46,35	85
	L1 a L61	304,32	105
	L61 a L79	381,72	80
	L79 a cubrir	561,25	60

4. PROGRAMA DE DESARROLLO Y PRUEBA DE HORMIGÓN C105

El desarrollo de hormigón de alto rendimiento C105 con alto asentamiento, baja viscosidad, alta resistencia, alto módulo de elasticidad, mínima hidratación térmica y adecuado para bombear hormigón a grandes altitudes, así como el hormigonado in situ de elementos masivos representó un gran desafío y nunca antes se había realizado en Malasia. La Tabla 2 a continuación presenta un resumen de los requisitos técnicos específicos de C105, definidos por el constructor Merdeka 118, para cumplir con los requisitos de campo y el rendimiento del diseño estructural.

Tabla 2. Resumen de los requisitos técnicos del hormigón C105

Ítem	Requisitos
Resistencia característica	Cubo de 105 MPa o cilindro de 95 MPa a los 56 días (tolerancia ± 15 MPa)
Módulo de elasticidad	40,5 GPa en 28 días o 45,3 GPa en 91 días (tolerancia $\pm 20\%$)
Propagación autodensificante	De 525 mm a 675 mm
Temperatura	Temperatura máxima ¹ ≤ 78 ° C (temperatura de liberación ≤ 23 ° C)

Para lograr el hormigón C105, se requirió una extensa investigación previa y una cuidadosa planificación en la selección y suministro del material para cumplir con los requisitos mecánicos y de rendimiento especificados para el proyecto. El siguiente es un resumen del material utilizado en el Merdeka 118.

Selección de materias primas: La mayoría de las materias primas para el hormigón C105 se han obtenido localmente en Malasia y los resultados de sus pruebas históricas se han estudiado antes de la aplicación. Además, las materias primas han sido muestreadas y probadas por un laboratorio externo independiente para verificar el cumplimiento durante las pruebas de laboratorio, las pruebas en planta y la producción real a intervalos regulares. Todas las materias primas utilizadas en este proyecto han sido cuidadosamente revisadas y seleccionadas teniendo en cuenta la calidad, consistencia y disponibilidad para optimizar el diseño de la mezcla.

Selección de materiales cementosos: Cemento fabricado por Lafarge Holcim en Kanthan, Malasia, de acuerdo con MS EN 197-1 (CEM I 52.5N). La escoria granulada de alto horno molida (GGBS) se obtiene de Rizhao en China de acuerdo con SS EN 15167-1: 2008. La microsílice utilizada en las mezclas es 920 densificada, fabricada por Elkem, en Tailandia.

Selección de agregados: El agregado fino se obtiene de la arena minera de Batang Berjuntai. El agregado fino se lava dos veces y el módulo de finura promedio es 3.2. También se seleccionó agregado grueso de basalto de 14 mm procedente de Segamat, Johor, para el proyecto de mezcla para lograr un alto módulo de elasticidad del hormigón con un módulo mínimo de 47-49 GPa en 91 días. Para verificar la consistencia y calidad del agregado de basalto, se tomaron muestras de las rocas durante las visitas al sitio de la cantera, como se muestra en la Figura 3. Además, se realizaron exámenes petrográficos y se confirmó que las muestras de roca son de basalto de grano fino, sin minerales nocivos y aptas para hormigón C105.



Figura 3. Cantera de basalto en Segamat, Johor, Malasia.

Selección de aditivos: Se seleccionó una nueva generación de superplastificantes a base de polímeros de policarboxilato (PCE). Este aditivo está especialmente desarrollado para concreto

¹ Nota: en Brasil es aconsejable que la temperatura máxima no supere los 65°C para reducir los riesgos de formación de DEF, es decir, formación tardía de etringita que es expansiva y provoca agrietamiento.

donde se requiere un rápido desarrollo de resistencia, alta dispersión y retención. La aplicación del aditivo es útil para compactar concreto de alto flujo en áreas de refuerzo congestionadas.

Selección de aditivos: Se ha seleccionado una nueva generación de superplastificantes a base de polímero de policarboxilato (PCE). Este aditivo ha sido especialmente desarrollado para hormigones que requieren un rápido desarrollo de resistencia, alta fluidez y mantenibilidad de la trabajabilidad. La aplicación del aditivo es fundamental para obtener hormigones de alto flujo para ser compactados en zonas con altos índices de refuerzo.

Pruebas de laboratorio y de planta: Para optimizar el diseño de la mezcla (traza) y las proporciones, se identificaron numerosas materias primas de diferentes fuentes, y los materiales se evaluaron mediante la realización de pruebas experimentales con diferentes proporciones de materiales para investigar las propiedades frescas y endurecidas del hormigón. Se realizaron pruebas semiadiabáticas para comparar el aumento de temperatura de cada mezcla de concreto. El aumento de temperatura en el hormigón C105 se controló optimizando el contenido total de cemento, hasta 550 kg/m³, y utilizando GGBS hasta el 50%, manteniendo el humo de sílice al 10%. La relación de mezcla ideal se identificó mediante pruebas paramétricas, pruebas internas de laboratorio y mediante la realización de pruebas semiadiabáticas. Consulte la Tabla 3 C105 para obtener detalles sobre el diseño de la mezcla (traza).

Tabla 3. Proporciones de mezcla (mezcla) de hormigón C105, donde GGBS es (escoria granulada de alto horno)²

Tipo	agua/aglutinante A/L	Aditivo/ Cemento (%)	Unidad de masa de materiales (kg/m ³)					Aditivo(%)
			agua	ligante	Cemento Portland	GGBS	Microsílice	
C105L	0,263	50%	145	550	247	248	55	1,85
C105M	0,263	50%	150	570	228	285	57	1,55
C105H	0,263	50%	158	600	240	300	60	1,35

Todas las mediciones realizadas en el laboratorio, con anticipación, y presentadas en la Tabla 3, alcanzaron una resistencia a la compresión cúbica superior a 105 MPa a los 28 días. Las pruebas de viabilidad y los viajes de prototipos también se realizaron con éxito y se presentan en las Tablas 4 y 5.

Tabla 4. Resultados del hormigón fresco C105.

Tipo	Esparcimiento (mm)			T500 (segundos)		
	Inicial	1 h	2 h	Inicial	1 h	2 h
C105L	650/650	620/610	610/600	6.0	9.0	8.0
C105M	630/640	630/630	610/610	6.2	7.7	7.6
C105H	620/630	640/640	610/620	5.8	7.3	6.6

Tabla 5. Resultados de hormigón endurecido

Tipo	Resistencia a la compresión en el buje (MPa)				Módulo de elasticidad (GPa)			
	7 días	28 días	56 días	91 días	7 días	28 días	56 días	91 días
C105L	88,2	105,1	116,1	116,4	40,9	47,0	47,9	-
C105M	86,7	109,6	111,0	114,9	44,2	48,1	-	49,8
C105H	86,5	105,3	110,6	115,0	42,1	46,1	-	47,9

Los resultados de las pruebas de campo (prototipos), presentados en la Tabla 4, confirmaron que

² Los autores no lo afirman, pero es muy probable que las letras L, M y H correspondan: L al hormigón destinado a los primeros pisos, M a los pisos intermedios y H a los últimos pisos superiores.

el C105 presenta una dispersión consistente, sin segregación ni exudación, y se mantuvo dentro de la dispersión deseada durante 2 h de mantenimiento. La baja viscosidad del hormigón C105 se mantuvo constantemente hasta 2 h de mantenimiento. La Tabla 5 también muestra que la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad de C105 excedieron 105 MPa y 46 GPa a los 28 días, respectivamente.

Prueba de calor de hidratación C105: También se realizaron pruebas de bloques estándar adiabáticos calentados para confirmar el aumento de temperatura de las 3 trazas de hormigón diferentes C105L, C105M, C105H durante el proceso de hidratación, en condiciones similares, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados del monitoreo de temperatura del bloque calentado

Traço	Temperatura (°C)		
	Inicial	Pico	Gradiente
C105L	25,4	73,9	48,5
C105M	23,4	73,3	49,9
C105H	23,7	73,8	50,2

Además de las pruebas de bloques calentados para todas las mezclas de concreto C105, se llevó a cabo una prueba a escala real, equivalente al tamaño de la megacolumna [4.05x3.20x4.30] m, para verificar las características del concreto fresco y el concreto endurecido. Se utilizó nitrógeno líquido para reducir la temperatura del hormigón fresco, asegurando que la temperatura inicial estuviera dentro de la temperatura deseada antes del hormigonado. Después del desmoldeo, la manta térmica se fijó en los 4 lados y se utilizó la bolsa de arpillera húmeda para cubrir la superficie superior para el curado del concreto, como se muestra en la Figura 4.

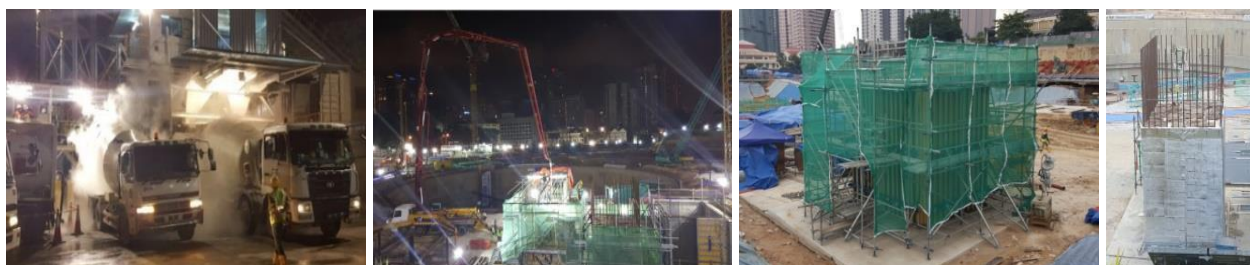


Figura 4. Prototipo de la megacolumna de calor de hidratación a gran escala.

El aumento de temperatura del prototipo a escala real de la megacolumna se monitoreó durante 14 días utilizando extensómetros de alambre vibrante de alta frecuencia y los datos se trazaron en tiempo real, como se muestra en la Figura 5, y se pusieron a disposición de todas las partes interesadas. La temperatura máxima medida se mantuvo dentro de los 72 °C con una variabilidad de temperatura máxima de 18 °C, cumpliendo así con los requisitos de especificación del proyecto Merdeka 118. Los resultados del prototipo a escala real para la megacolumna mostraron que la metodología de construcción propuesta para la megacolumna, incluido el tipo de encofrado, el plan de monitoreo de temperatura, el plan de control de temperatura, el plan de desmoldeo del encofrado y el plan de curado, se lograron con éxito. El método de construcción del prototipo a gran escala de la megacolumna, los planes de monitoreo y curación se ejecutaron completa y exitosamente.

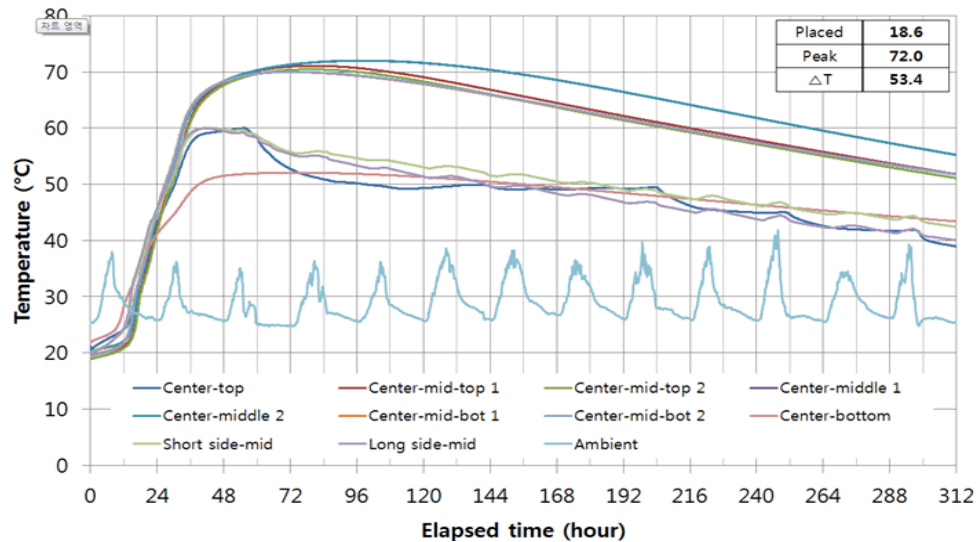


Figura 5. Resultado del monitoreo del aumento de temperatura del prototipo a escala real de la mega columna.

Pruebas y planificación de bombeo de hormigón: El bombeo de hormigón de alta resistencia en grandes estructuras para la construcción de elementos verticales es extremadamente desafiante, especialmente en países de clima cálido como Malasia. En el proyecto Merdeka 118, se planeó que el C105 se bombeara 510 m mediante bombeo directo, lo que lo convirtió en un nuevo récord mundial. Antes de la construcción real, se llevó a cabo una prueba de bombeo a gran escala utilizando una bomba estacionaria Putzmeister BSA 14000 SHP para demostrar la capacidad de bombeo del C105 y sus capacidades operativas. Se instalaron más de 550 m de tuberías horizontales, como se muestra en las Figuras 6 y 7, para evaluar de manera efectiva las pérdidas por fricción en la tubería y la efectividad de las demandas de presión de la bomba para llevar el C105 a 510 m.

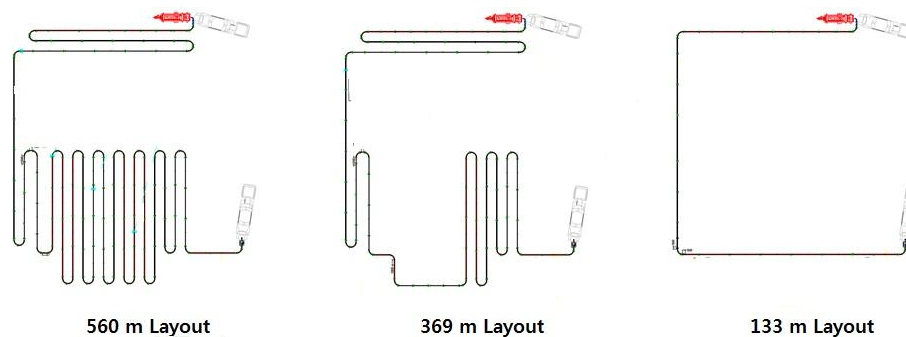


Figura 6. Diseño de tuberías y ubicación del sensor de presión.



Figura 7. C105 Diseño de tubería horizontal de hormigón para prueba de bombeo.

Para la prueba de bombeo se adoptaron hormigones C105L, C105M y C105H con tres longitudes

Diseño y construcción de la torre Merdeka 118 con hormigón de alto rendimiento: ampliando los límites de la tecnología del hormigón para un edificio de gran altura

de tubería diferentes. La presión de bombeo y el caudal de concreto se midieron y tabularon en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados de la prueba de bombeo de hormigón C105

traço	Envergadura (m)	Golpe (número)	Presión hidráulica (MPa)	Presión del hormigón (MPa)	Vazão (m3/h)
C105L	560	8,0	17,1	10,2	20,4
		10,9	25,0	15,8	28,7
C105M	369	7,0	15,8	9,6	18,5
		13,2	26,1	16,5	35,4
C105H	133	10,2	11,0	5,5	27,4
		17,4	15,4	8,1	50,9

Además de determinar las pérdidas por fricción, las pruebas de bombeo de concreto C105 incluyeron planes para probar el comportamiento del concreto antes y después del bombeo. La prueba de bombeo de hormigón C105 dio como resultado las siguientes observaciones, que se consideraron en la planificación de trabajos de bombeo de hormigón de hasta 510 m.

1. La extensión y la viscosidad del hormigón se reducen después del bombeo; Este fenómeno se debe principalmente a la liberación de agua y aire atrapados entre las partículas de cemento bajo el bombeo a alta presión.
2. No hubo diferencias significativas en la resistencia del concreto o el módulo de elasticidad antes y después del bombeo.
3. La temperatura del hormigón aumentó después del bombeo entre 5 y 10 °C, dependiendo de la longitud de la tubería, en parte debido a la insolación ambiental durante la prueba. El aumento de temperatura real durante la construcción será menor, según experiencias previas, ya que las tuberías se instalarán dentro del edificio, a la sombra, con una temperatura ambiente más baja.
4. Las pérdidas por fricción en la tubería se determinaron directamente a partir de la prueba de la bomba. Estas pérdidas por fricción serán equivalentes a las de las tuberías verticales. Para determinar la capacidad de la bomba, la presión requerida será igual al peso de la columna de hormigón más las pérdidas por fricción en la tubería. En resumen, la prueba de bombeo de hormigón C105 fue exitosa y confirmó que era posible emplear el bombeo directo al piso más alto a 510 m y se confirmó la tasa de descarga de hormigón objetivo como se muestra en la Tabla 7.

Planificación de pruebas de fluencia y contracción: El acortamiento diferencial de elementos verticales en edificios altos debido a la elasticidad, fluencia y contracción del hormigón puede tener un impacto adverso en la distribución de fuerzas y la operatividad del edificio. Así, con el fin de evaluar eficazmente el acortamiento de las columnas debido a los efectos de la elasticidad, la fluencia y la contracción en los elementos verticales de Merdeka 118, incluyendo el muro central con cabeza de martillo y las megacolumnas externas, se implementó un extenso programa de pruebas de fluencia y contracción en tiempo real para confirmar todas las propiedades mecánicas de todos los tipos de hormigón utilizados en los elementos verticales de la torre. Con el fin de evaluar y predecir el acortamiento de las columnas, el movimiento lateral de la torre bajo cargas de gravedad y desarrollar un programa de compensación para obtener pisos nivelados. Las pruebas de fluencia y contracción para todos los materiales de concreto utilizados en los elementos verticales de la Torre Merdeka 118 comenzaron el 7 de diciembre de 2017 con las variables de prueba que se muestran en la Tabla 8, que estaban directamente relacionadas con las condiciones esperadas de la torre, como la edad, las condiciones de exposición, el nivel de carga y el período

de prueba.

Todas las muestras de hormigón para los elementos verticales se muestrearon, curaron y empaquetaron en la planta Merdeka 118 y se entregaron a un laboratorio independiente en Corea del Sur. Las muestras se desempaquetaron y almacenaron en una cámara de humedad y temperatura constantes hasta la edad de prueba prevista. Se realizaron ensayos de compresión y módulo de elasticidad de las probetas para evaluar la integridad del cps y estimar el valor de carga para el ensayo de fluencia. Los cps de hormigón se prepararon y sellaron de acuerdo con las condiciones de exposición antes de la carga para la prueba de fluencia. Se construyeron extensómetros primarios en el cp de hormigón para proporcionar una medición en tiempo real de la deformación. El extensómetro mecánico desmontable externo (DEMEC) se instaló en el cps de referencia. Todos los cps se cargaron continuamente de acuerdo con la condición de carga que se muestra en la Tabla 8. Para el control de calidad, los resultados de deformación medidos del cps de hormigón C105 se registraron a intervalos regulares utilizando un extensómetro incorporado y DEMEC.

Tabla 8. Programa y variables de la prueba de fluencia y retracción

Variables	Tipo
Idade	28, 56, 90, 180 días
Exposición	Sellado / Sin sellar
Subir	15% y 25% de la
Duración	1 año y 3 años

Se creó un sistema de monitoreo en tiempo real de última generación para el programa de pruebas de fluencia y contracción, como se muestra en las Figuras 8 y 9, y se puso a disposición del equipo del proyecto para su revisión y descarga de los datos de deformación sin procesar, junto con información sobre carga, temperatura y humedad relativa durante todo el período de prueba. Las pruebas de fluencia y contracción se compararon con los resultados del monitoreo de campo. Los resultados de las pruebas de fluencia y contracción se analizaron en detalle y se compararon con los estándares, y se utilizaron para predecir el acortamiento de las columnas a través de un análisis detallado de la secuencia de construcción que refleja el programa de construcción actual. En el futuro se publicará un resumen de las predicciones del análisis de la secuencia de construcción, la deformación total real y el movimiento vertical y lateral del edificio, utilizando los parámetros de fluencia y contracción de los resultados de las pruebas. Los resultados de fluidez y retractación también se compararon con estándares internacionales y códigos modelo, y se encontró que existen grandes variaciones, como se muestra en la Figura 9 a continuación, que también se discutirán en futuras publicaciones.



Figura 8. Pruebas de fluencia y contracción en tiempo real en un entorno totalmente controlado. Seúl, Corea.

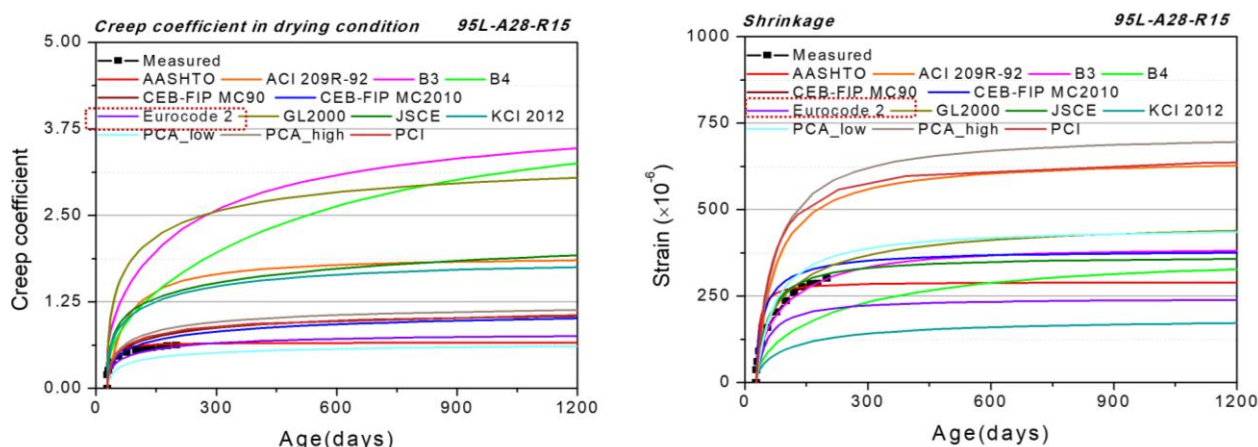


Figura 9. Pruebas de fluencia y contracción en tiempo real en un entorno totalmente controlado. Seúl, Corea.

Una experiencia única en la vida. Un proyecto de construcción de la nación del que toda la "Malasia Anak-Anak"³ estará orgullosa durante generaciones. Merdeka 118, una torre de oficinas y hotel de 118 pisos con una altura total de 678 m, es un ícono nacional. Este ícono nacional se convirtió en el edificio más alto de Malasia y el segundo más alto del mundo una vez terminado. En el proyecto de la Torre Merdeka 118, se vertieron con éxito más de 80.000 m³ de hormigón C105 y se bombearon hasta 510 m sobre el suelo. Los grandes logros del desarrollo del hormigón C105, con alta resistencia, alto módulo de elasticidad, alto rendimiento, excelente bombeabilidad mediante bombeo vertical directo único a la parte superior del rascacielos para el hormigonado in situ de elementos masivos, el calor de hidratación controlado dentro de los límites de temperatura y el pleno cumplimiento de los requisitos y estándares del proyecto, fueron pioneros en Malasia.

5. AGRADECIMIENTOS

El exitoso desarrollo y aplicación del hormigón de alto rendimiento C105 en el rascacielos Merdeka 118 Tower se logró gracias al excelente trabajo en equipo del proyecto. Los autores desean agradecer especialmente a PNB Merdeka Ventures Sdn. Berhad, propietario de Merdeka 118 Tower, Turner International, Arup Juruunding. Sdn Bhd, Grupo de Tecnología de la Construcción de la oficina de Samsung C&T en Seúl, Samsung C&T UEM JV y Lafarge Malasia por sus contribuciones al exitoso desarrollo y aplicación del concreto de alto rendimiento C105 en la icónica Torre Merdeka 118.

6. REFERENCIAS

- Abdelrazaq, A. (2013), *Early Planning of the Concrete Work at Burj Khalifa*, RN Raikar Memorial & Symposium on Advances in Science and Technology of Concrete, American Concrete Institute, 20-21 December 2013.
- Ki, J.-H., Lee, S.-H. (2004), *Application of High Performance Concrete in Petronas Twin Tower*, KLCC (CTBUH Research Paper, CTBUH 2004 Seoul Conference).
- Aldred, J. (2010), *Burj Khalifa-A New High for High Performance Concrete* (ICE Civil Engineering 163) p 77-73.

³ "Anak-Anak Malasia" es una expresión malaya que significa "Niños de Malasia". Es una forma afectiva de referirse a todos los ciudadanos malayos enfatizando su unidad y diversidad.