

# GEOMETRÍA, GRAVEDAD Y PATRIMONIO. TRES VARIABLES DEL CAIXA FORUM MADRID

## GEOMETRY, GRAVITY AND HERITAGE. THREE VARIABLES OF THE CAIXA FORUM MADRID

Yannette Díaz Umaña<sup>1</sup>

Mawency Vergel Ortega<sup>2</sup>

Julio Alfredo Delgado Rojas<sup>3</sup>

Universidad Francisco de Paula Santander.

### 6 2 2 RESUMEN

El presente artículo como producto de investigación cualitativa, desarrolla un enfoque descriptivo y documental, con técnicas de observación, haciendo usos de las herramientas planimétricas y fotográficas que permitieron la conceptualización formal, espacial, material, para describir el fenómeno estudiado. Así el objeto de estudio denominado Caixa Fórum Madrid, desarrolla una serie de estrategias que

buscan alterar la percepción de los atributos en la relación entre la carga y el soporte. En la rehabilitación y ampliación de la antigua central eléctrica del Mediodía, un edificio patrimonial que data de 1899, la estructura en mampostería de ladrillo y hormigón debe conciliar la materia en equilibrio estático, evitando el colapso y preservando su vida útil. De ahí, el edificio en forma prismática rectangular se propone suspendido en el aire permitiendo el paso de los peatones por debajo él. De este modo se percibe la gravedad como una característica geométrica del espacio-tiempo. Bajo estos conceptos, la espacialidad de Caixa Fórum es interesante por cuanto los muros portantes de la antigua fábrica pasan a ser una envoltura suspendida, que le dan una innegable corporeidad llamativa, firme y voluminosa. Esta caracterización le aporta una belleza particular, radicada precisamente en la experiencia que brindan las superficies coloridas y táctiles aproximando el paseo del eje Recoletos-Prado, en Madrid a un paseo cinestésico.

<sup>1</sup> Magister en Gestión Urbana, Especialista en Docencia Universitaria, Arquitecta, investigadora, docente titular y directora del Programa y Departamento de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Filiación: Universidad Francisco de Paula Santander. Correo electrónico: yannettedu@ufps.edu.co Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4582-1593>. Grupo de investigación Quetelet

<sup>2</sup> Doctora en Educación. Postdoctora en Imaginarios y representaciones sociales. Docente y Directora del Departamento de Matemáticas y Estadística. Filiación: Universidad Francisco de Paula Santander. Correo electrónico: mawency@ufps.edu.co. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8285-2968> Grupo de investigación Graunt

<sup>3</sup> Magister en Educación Matemática, Arquitecto, Docente. Filiación: Universidad Francisco de Paula Santander. Correo electrónico: julioalfredo@ufps.edu.co Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6944-832X> Grupo de investigación Graunt -Quetelet

## PALABRAS CLAVES

Gravedad, geometría, patrimonio, rehabilitación, contemporaneidad.

## ABSTRACT

This article, as a qualitative research product, develops a descriptive and documentary approach, with observation techniques, making use of planimetric and photographic tools that allowed the formal, spatial and material conceptualization to describe the phenomenon studied. Thus, the object of study called Caixa Fórum Madrid, develops a series of strategies that seek to alter the perception of the attributes in the relationship between the load and the support. In the rehabilitation and expansion of the old power station of Mediodía, a heritage building dating from 1899, the brick and concrete masonry structure must reconcile the matter in static equilibrium, avoiding collapse and preserving its useful life. Hence, the rectangular prismatic building is proposed suspended in the air allowing the passage of pedestrians under it. In this way gravity is perceived as a geometric feature of space-time. Under these concepts, the spatiality of Caixa Fórum is interesting in that the bearing walls of the old factory become a suspended envelope, giving it an undeniable striking, firm and voluminous corporeity. This characterization gives it a particular beauty, based precisely on the experience provided by the colorful and tactile surfaces, bringing the Paseo del Recoletos-Prado axis in Madrid closer to a kinesthetic walk.

## KEY WORDS

Gravity, geometry, heritage, rehabilitation, contemporaneity.

## INTRODUCCIÓN

El presente artículo como producto de investigación cualitativa, desarrolla un enfoque descriptivo y documental, con técnicas de

observación, revisión documental haciendo uso de las herramientas como planos, diagramas, imágenes fotográficas, software que permitan la conceptualización formal, espacial, material, para describir el fenómeno estudiado. Bajo la estrategia interdisciplinaria en el que la arquitectura y arte; y las ciencias básicas se integran para el análisis e interpretación de las obras arquitectónicas y urbanísticas con valor patrimonial como ejercicio propuesto en el Plan de Estudios de arquitectura (UFPS). Bajo esta consideración, se estudia la arquitectura moderna y contemporánea.

Por lo que refiere a la arquitectura moderna, se identificó su interés en mostrar cualidades de levedad. En esta conceptualización coinciden los planteamientos de Mies Van der Rohe, Richard Neutra, y Le Corbusier (Díaz, Díaz & Galvis 2021), quienes en sus obras arquitectónicas diseñaron y distribuyeron la estructura, de manera que alcanzan una interacción entre la masa y el espacio, alterando la percepción de los atributos gravitatorios en la relación entre la carga y el soporte (Linares de la Torre 2014). De hecho, “no existe ni una sola obra de arquitectura en el mundo que, en su afán por construir el espacio, haya podido eludir la acción de la gravedad terrestre” (Oña 2017, pág. 1), sin embargo, hay quienes de manera excepcional parecen dominar los distintos modos en que las propiedades físicas se presentan sobre la materia que conforma el espacio.

Posteriormente en la contemporaneidad estos propósitos de la gravidez e ingravidez, etéreo y corpóreo, también justifican una serie de manifestaciones arquitectónicas que se distinguen en los perfiles urbanos. Para Díaz, Díaz y Centurión (2021) propone una suerte de efectos en la contemporaneidad que expresan lo tangible, cuando la masa, la perfección corpórea y volumétrica se sobrepone a las leyes de la gravedad, creando un efecto perceptivo en el espectador, quienes se debaten entre una

delgada línea de lo posible a lo imposible de la arquitectura. Es el caso de los arquitectos de Herzog & de Meuron, cuyas obras se formulan como referentes actuales, tanto proyectualmente como constructivamente. Fernández (2005) opina que su obra ha marcado una nueva era en la historia de la Arquitectura, pues, iniciará una nueva relación entre la arquitectura y construcción nunca antes vista. Estos arquitectos suizos han establecido relaciones particulares entre la caja y su envolvente, configurando un cuerpo que explota al máximo el concepto del edificio (Romero 2018).

Parte de esta cualidad vista en la resolución del volumen como un cuerpo lo suficientemente tangible por cuanto la riqueza de materiales, texturas y colores que le otorgan una identidad particular, es el manejo de la masa versus vacío. Además, proponen un nuevo nivel, la formulación de levedad de estos cuerpos voluminosos, pese a su robusta configuración. Un ejemplo de esta intensión, la propone VitraHaus un edificio proyectado precisamente por Herzog & de Meuron para albergar la Home Collection de Vitra, donde se observan los 12 volúmenes provenientes del concepto de una casa, montados unos sobre otros, elevándose a 15 m sobre el nivel del suelo de manera desorganizada (Díaz, Díaz y Centurión (2021). En esta propuesta se plantean voladizos que desafían la gravedad. De igual manera el concepto de ingravidez se defiende en Caixa fórum Madrid, con una caja elaborada de mampostería de ladrillos que levita sobre una plaza pública.

### **APROXIMACIÓN AL CONCEPTO DE GRAVEDAD.**

Analizando el concepto de gravedad Linares de la Torre (2014) estima que “El conocimiento científico del hecho gravitatorio no ha evolucionado de manera continua, sino sincopada. A lo largo de la historia han alternado momentos de hegemonía de grandes

formulaciones teóricas y etapas de casi total vacío conceptual” (pág. 57). Este autor comenta que las tipologías estructurales y elementos de cubrición son los planteamientos de mayor reto gravitatorio en la arquitectura. En retrospectiva para la comprensión de este fenómeno, en 1680 fue Newton, quien descubrió que la gravedad actúa sobre toda materia y es una función de la masa y la distancia. Es decir, para (Prado, 2020) todo objeto atrae a todos los demás objetos con una fuerza proporcional al producto de sus masas inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos ( $F$ ) de esta manera en Einstein (1916) se afirma:

“Según la ley del movimiento de Newton se cumple:

(fuerza) = (masa inercial) • (aceleración), donde la «masa inercial» es una constante característica del cuerpo acelerado. Si la fuerza aceleradora es la de la gravedad, tenemos, por otro lado, que (fuerza) = masa gravitatoria / (masa inercial)) • (intensidad del campo gravitatorio)” (pág. 43y 44)

Este autor comenta que “La antigua mecánica registró este importante principio, pero no lo interpretó” (pág. 44). En consecuencia, la teoría de Newton publicada en 1687 se mantuvo, hasta la edición de 1915 de Einstein, llamada “Sobre la teoría de la relatividad general”. En ella, la gravedad no es una fuerza sino más bien una consecuencia, del hecho de que la materia se deforma en el espacio- tiempo (Lehner 2020). La fuerza de gravedad hace que los objetos tengan peso, dado que la energía y la masa son equivalentes. Por consiguiente, todas las formas de energía incluida la luz, causan gravitación y están bajo influencia de la misma (Lehner 2020).

En este orden de ideas la teoría de Newton conceptualizaba que la gravedad que era una fuerza que actuaba instantáneamente

a cualquier distancia. Pero Einstein (1916) descubriría que nada podía viajar más rápido que la luz. De ahí, reveló que la velocidad de la luz es una especie de límite cósmico y que nada en el universo puede superarla (Einstein 1916). Esto contradecía de alguna manera la teoría de Newton, así Einstein dio con un nuevo concepto en forma de unificación, con la teoría de las tres dimensiones espaciales y la dimensión única temporal unidas en un tejido espacio temporal (Lehner 2020). Al estudiar el tejido geométrico espacio temporal, para poder describir el movimiento de los objetos, relaciono la superficie de una cama elástica que se comba o se estira por el peso de los objetos (Prado, 2020). Y es esta curvatura del espacio-tiempo es la que se llama gravedad. Así se puede comprender que:

“la gravedad es una característica geométrica del espacio-tiempo, es decir, los efectos gravitatorios son una consecuencia de la forma del espacio-tiempo. Si el espacio-tiempo está curvado los objetos que contiene se moverán afectados por esa curvatura y podemos decir que están afectados por la gravedad. Como todo está contenido en el espacio-tiempo, todo siente la gravedad y, por lo tanto, se mueve teniendo en cuenta su curvatura.” (Prado, 2020, pág. 1)

En efecto la nueva teoría proporciona una nueva visión de lo que es la fuerza de la gravedad, con curvaturas y pliegues en un tejido del espacio y el tiempo y lo bautizo como Relatividad General. Es decir, la gravedad puede entenderse como una curvatura en el espacio. Cuanto mayor es la masa mayor es la gravedad, de allí la deformación del espacio es más intensa (Lehner 2020). “El físico teórico estadounidense John A. Wheeler lo resumió de una manera que parece muy gráfica: El espacio-tiempo le dice a la materia cómo moverse, la materia le dice al

espacio-tiempo cómo curvarse” (Prado, 2020, pág. 1). Investigación y desarrollo ID (2017) explica la fórmula  $E=mc^2$ : “La masa (m) es una medida de la inercia que tiene un cuerpo. Por ejemplo, m cuantifica en kilogramos la resistencia que presenta un cuerpo al que se le cambia su velocidad por acción de una fuerza externa. Cuanto mayor sea la masa de un cuerpo, más difícil resulta cambiarle su velocidad (Miralles 2005). La energía (e) puede manifestarse en diversas formas: cinética, potencial gravitatoria, potencial elástica, térmica, etc. de otra manera se comprende que  $E = mc^2$  corresponde a la energía de un cuerpo en reposo E es igual a su masa multiplicada por la velocidad de la luz al cuadrado (Einstein 1916).

## EL EDIFICIO CAIXA FORUM MADRID

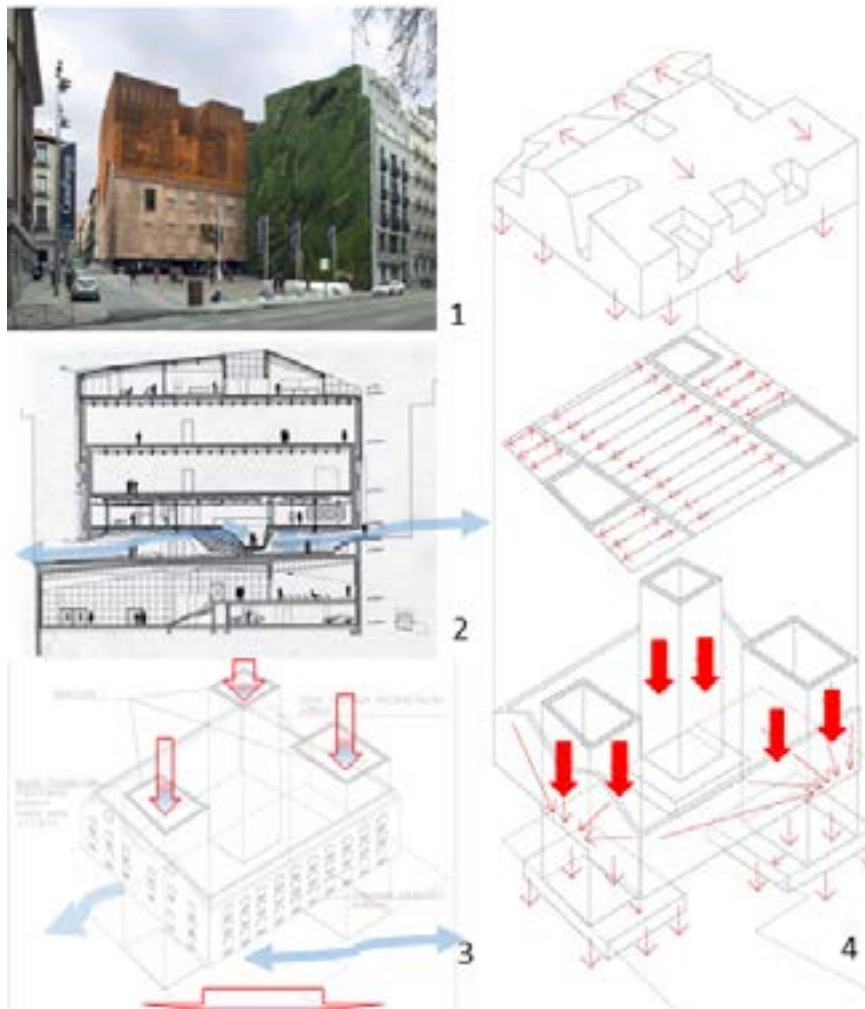
En el caso de El edificio CaixaForum Madrid, proyecto de rehabilitación y ampliación de la antigua central eléctrica del Mediodía y desarrollo de una plaza pública, integra la zona centro con una propuesta urbanista de reordenación del eje Recoletos-Prado, en Madrid (Díaz, Díaz y Galvis (2021). Si bien, el edificio aparece suspendido en el aire permitiendo el paso de los peatones por debajo él. Toda la estructura en mampostería de ladrillo y hormigón debe conciliar la materia en equilibrio estático, evitando la manifestación más elemental del fenómeno gravitatorio sobre la masa, el colapso, con esto “se reconoce que la misma cualidad del cuerpo se manifiesta como «inercia» o como «gravedad», según las circunstancias (Einstein, 1916, Pág. 44).

Para Fernández (2015) en (Díaz, Díaz, Galvis 2021) se afirma que no ha habido un edificio que expresa los valores y conflictos de la época, probablemente relacionando los objetivos de su construcción sustentados en una perfecta interacción del nuevo edificio con el Paseo del Prado, concibiendo un espacio público y aumentando la libre circulación y visibilidad de este lugar. Con estos objetivos se busca levantar a edificación del suelo, ajustándose

con el desnivel del terreno, por lo que en alzado de la calle Cenicero se perciben una altura de levitación a 1.61 m con referencia a la plaza y el alzado de la calle Alameda 0.45 m de levitación al ras del suelo. A su vez, el gran monolito

en forma de prisma rectangular de 40.000 m<sup>3</sup> aproximados (35.68 m ancho, 56 m largo y 20m alto) queda ingravido sobre la plaza. (ver imagen 1 (1)).

Imagen 1. Caixa Fórum Madrid. 1. Vista general 2. Corte edificio sobre rasante y bajo rasante 3. Estructura: tres núcleos 4. Grafica de cargas y despiece edificio.



Fuente: interpretaciones sobre imágenes de Pérez (2015)

Esta disposición divide el edificio en dos zonas: bajo rasante, donde se alberga el auditorio, salas, almacén, zonas de servicio y parqueadero y sobre rasante configurado por el volumen superior con el vestíbulo, salas de exposición, zona administrativa y un restaurante con visibilidad al entorno circundante (ver imagen 1 (1)). De acuerdo a esto, Campo (1996)

afirma que la gravedad construye el espacio y los cuerpos volumétricos que hacen reales las formas que conforman el espacio, tienen que acabar transmitiendo la gravedad, el peso de su materialidad, a la tierra. Por consiguiente “El sistema gravitatorio sustentante, la estructura, es la que ordena el espacio, la que lo construye”. (Campo Baeza 1996).

Por su parte, otro de los objetivos radica en el propósito de rehabilitación del edificio original de casi 2.000 metros cuadrados, que data de 1899 con un estilo industrial y en ruinas. Esto se amparó “según el PGOUM, debido a su protección, se debía conservar sus cuatro fachadas de ladrillo y de este modo, preservar la imagen industrial de la antigua fábrica.” (Pérez, 2015, pág. 4). En este orden, de manera prioritaria se da patrocinio a la imagen del conjunto, y las técnicas aplicadas a su geometría original propendieron por el incremento de la superficie a un total aproximado de 10.000 metros cuadrados. De esta forma como lo enuncia Domínguez, (2010) recuperan la utilidad y sobre todo el valor del material como instrumento para provocar sensaciones al espectador, toda vez que la piel original se conserva para alimentar la memoria del lugar.

Con estos derroteros se puede advertir que este monolito suspendido, es extraordinario, no solo por su efecto final de ingravidez sino también por las estrategias constructivas que se emplearon para lograr la eficacia del sistema estructural, visto desde el propio proyecto patrimonial ingravido en interacción con el diseño del empalme entre la carga y el soporte. Se desplegó la práctica constructiva, a pesar de ser el peso una condición inherente al hecho constructivo, iniciando con la limpieza interior de los muros y la estabilización de la fachada, para asegurar la transmisión de las cargas verticales al terreno mediante micropilotes distribuidos tanto por fuera como por dentro (Pérez 2015). Se aseguró mediante andamios esta envolvente, antes de la eliminación del zócalo (Romero, Carmen 2018). Todo este proceso y tecnología aplicada parece disminuir la sensación de pesadez de la edificación.

Por supuesto que, este procedimiento requiere el corte del muro por debajo, eliminando el zócalo junto con la antigua cimentación de estas fachadas. Una vez suspendido todo el cuerpo,

se inician las excavaciones hasta lograr las tres losas de cimentación que corresponden a los tres núcleos que apoyan el nuevo edificio. Estos núcleos se alzan hasta el último nivel, de allí la envolvente en mampostería de ladrillo a la vista se apoya al muro de hormigón postesado (Pérez 2015), a su vez apeado a la parte inferior perimetral, permitiendo el vacío continuo por debajo de la gran caja voluminosa y corpórea (ver imagen 1 (3)). Se observa la noción física del espacio – tiempo y su influencia en el progreso de la espacialidad arquitectónica del edificio. El concepto se abre al exterior sin perder su noción interior y se contrapone así a la dicotomía espacial entre afuera y adentro. El espacio interno (estructura nueva) y el externo (envolvente patrimonial) no se dividen ni se unen, sino que se manifiestan mostrando su propia identidad industrial; conectándose de modo particular. De este modo, la estructura se convierte en el sistema que hace posible esa continuidad (Oña 2017).

Se trata, de una metodología constructiva capaz de someter la fuerza de gravedad de la mampostería de ladrillo que configura la envoltura del edificio, como una manifestación de la levedad, al encamisar las fachadas y sostenerlas hasta aportarles un nuevo apoyo. De modo que aquí el encauzamiento de la gravedad por medio de líneas de fuerza en celosía en su interior, hace que la caja o piel -de la antigua fábrica- sostenida en el aire se libere de toda responsabilidad estructural (ver imagen 1 (4)).

Así la garantía de estabilidad reside en el trabajo en voladizo y la capacidad de sus apoyos, con ello se resuelve el recorrido de las cargas verticales transmitiéndolas a la cimentación, manteniendo la idea de un edificio “suspendido” lo que propicia la continuidad de los recorridos libres y la visibilidad completa debajo del cuerpo monolítico. Dicho de otro modo, se plantea un complejo sistema estructural formado por tres núcleos de hormigón, que constituyen los

únicos elementos portantes verticales, el muro perimetral continuo de hormigón postensado, que sostiene directamente al muro de ladrillo preexistente de la central y dos Vigas-muro gran canto interiores que conectan los núcleos con el muro perimetral (Pérez, 2015). Linares de la Torre (2014) lo explica como: “La tendencia a la caída de la materia que conforma la cubrición comprime la masa y fija su postura. Su estabilidad queda de este modo garantizada por geometría y cohesión interna”. (pág. 56)

En efecto alcanza esta propuesta la levedad en la medida que oculta sus apoyos y reduce al mínimo la sección de sus tres soportes. Para Linares de la Torre (2014) otro recurso es la aplicación de materiales con capacidad de concentrar grandes tensiones en secciones muy reducidas lo que permite minimizar el número y la superficie de contacto entre la carga y el soporte hasta extremos aparentemente inverosímiles. Tal como sucede en el Caixa Forum Madrid.

6 2 8

El edificio formalmente para Díaz, Díaz y Centurión (2021) adquiere una espacialidad interesante por cuanto con los muros portantes de la antigua fábrica pasan a ser una envoltura suspendida, la materialidad de este envolvente en ladrillo macizo y una lámina de cobre perforada como remate superior, le otorgan una innegable corporeidad llamativa, firme y voluminosa. Esta caracterización le asigna una belleza particular, radicada precisamente en la experiencia que brindan las superficies coloridas, táctiles lisas y rústicas, aproximando el paseo a una experiencia cinestésica del peatón quien puede incluso, recorrer, palpar y admirar las láminas que recubren el nivel que configura a cubierta de la misma plaza.

Este tránsito casi místico, logrado por el desnivel de la plaza y el diseño fragmentado de módulos triangulares metálicos con pliegues que se ajustan tridimensionalmente al volumen, ocultan de cierta manera los tres núcleos de apoyo. Las láminas metálicas se vuelven protagónicas del

espacio debajo del poliedro rectangular, toda vez, que los transeúntes se sorprenden, tocan, exploran estas irregularidades o quiebres de las láminas que desciende para jugar modularmente con las alturas, estrechándose progresivamente al paso, todo con fin de gravitar sobre los visitantes (ver figura 1 (2)).

Con esta práctica de cubrir el sobre rasante, se puede revelar la cualidad de mantener la masa suspendida en el aire, disimulada por la presencia de un material llamativo, brillante, reflectivo, como la lámina metálica plegada, que distrae los sentidos, de manera fenomenológica, para desaparecer perceptivamente los elementos que favorecen los apoyos, donde descansa realmente el edificio. Por ende, “Ya no se trata de oponerse a la pesantez por medio del aligeramiento real, sino de negarla por medio de una aparente levedad formal” (Linares de la Torre, 2014 pág. 56).

Esta estrategia se complementa con el uso de los voladizos, al remeter los núcleos de las fachadas queda figuradamente al aire la envoltura del proyecto. Así mismo debajo del volumen suspendido se dibuja un área de sombra que va desde los núcleos hasta el perímetro en contacto con la cota cero, lo cual fenomenológicamente también disimula las superficies de contacto entre la carga y el soporte. Todas estas estrategias estructurales y formales, contradicen los principios de la gravedad, al reafirmar la noción del peso que posee Caixa Fórum con su evidente materialidad, la flotación se convierte en un fenómeno sensacional e inexplicable que sorprende al visitante quien camina por debajo de la materia en equilibrio estático.

## CONCLUSIÓN

La visión de Herzog & de Meuron vista en su práctica constructiva, propone en Caixa Fórum Madrid un paradigma tectónico al configurar una arquitectura que adquiere una espacialidad interesante por cuanto la liberación de los

muros portantes de la antigua construcción con valor patrimonial. Este envolvente se reutiliza para formular una caja suspendida -prisma rectangular de 40.000 m<sup>3</sup> aproximados- en ladrillo macizo, lo que le otorgan una innegable corporeidad llamativa, firme y voluminosa a este proyecto de integración urbana y arquitectónica en Madrid.

Este monolito ingravido, es extraordinario, también por las estrategias constructivas que se emplearon para lograr la eficacia del sistema estructural. Desde la propia metodología constructiva que reta la gravedad al elevarse el volumen, sostenerlo y empalmarlo sobre su nuevo sistema estructural de apoyos. La técnica y tecnología aplicada parece disminuir la sensación de pesadez de la edificación. No obstante, el peso es una condición inherente al hecho constructivo, por lo que, al estabilizar los muros, se asegura la transmisión de las cargas verticales al terreno.

6 2 9

En últimas, sus tres núcleos que conforman el apoyo de toda la estructura, distribuyen las cargas al piso con materiales capaces de concentrar grandes tensiones en secciones muy reducidas lo que permite minimizar el número y la superficie de contacto entre la carga y el soporte. En efecto se alcanza a contradecir perceptivamente los principios de la gravedad, reafirmando lo inexplicable para quien camina por debajo de la materia en equilibrio estático.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Campo, Baeza Alberto (1996). La idea construida: la arquitectura a la luz a la luz de las palabras. 2 ed Madrid: Colegio oficial de arquitectos.
- Díaz, Yannette, Díaz, Xiomara. & Galvis, Ramón. (2021). 35 proyectos de arquitectura contemporánea. Materia forma & contexto. ECOE ediciones. Bogotá.
- Díaz-Umaña, Y., Delgado-Rojas, J. A. ., & Vergel-Ortega, M. . (2021). La geometría basada en la malla como mecanismo compositivo de Villa Savoye. *Eco Matemático*, 12(1). <https://doi.org/10.22463/17948231.3070>
- Domínguez, E. (2010) Herzog & de Meuron. Madrid: Unidad editorial Revistas, 2010.
- Einstein. Albert (1916). Sobre la teoría de la relatividad. <https://guao.org/sites/default/files/biblioteca/Sobre%20la%20Teor%C3%ADa%20de%20la%20Relatividad%20.pdf>
- Fernández-Galiano, L. (Ed.) (2005) AV Monografías. Herzog & de Meuron 2000-2005. Vol. No. 114. Madrid, España: Arquitectura Viva SL.
- Gerling, Geraldine. (2012). Herzog y la ambigüedad significativa. *Anuario de Letras Modernas*; Vol 14: 2007-2008. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/56904>
- Investigación y desarrollo ID (2017). Conoce qué significa E=MC<sup>2</sup> y por qué es tan importante en la historia. INVDES. <https://invdes.com.mx/ciencia-ms/conoce-significa-emc2-tan-importante-la-historia/>



Lehner, Luis. (2020). La Gravedad según Albert Einstein (La Teoría de la Relatividad General) / Física. <https://www.youtube.com/watch?v=LTR3gytVgt8>

Linares de la Torre, Óscar (2014). La influencia de la comprensión de la gravedad como hecho físico en la configuración del espacio arquitectónico. REVISTA AUS 18 / 52-57 / segundo semestre 2015 / DOI:10.4206/aus.2015.n18-09

<http://revistas.uach.cl/pdf/aus/n18/art09.pdf>

Massad, F; y Guerrero, a. (2008). Herzog & de Meuron, Caixaforum Madrid. Arqa. <https://arqa.com/actualidad/colaboraciones/herzog-de-meuron-caixaforum-madrid.html>

Miralles, Luis (2005). Internacional de la física. Año Einstein. Historia de la ecuación:  $E = mc^2$  Didáctica de las ciencias experimentales y sociales. N.º 19. 2005, 75-89

Oña, María (2017). Arquitectura: “La potencia de la gravedad”. MUNDO CLUB HOUSE . Los andes. <https://www.losandes.com.ar/arquitectura-la-potencia-de-la-gravedad/>

Pérez, Cristina (2015). Análisis estructural de la evolución del CaixaForum Madrid. Universidad de Alcalá, Escuela de Arquitectura.

Prado, Moruno. (2020). ¿Qué causa la gravedad? Los efectos gravitatorios son una consecuencia de la forma del espacio-tiempo. El País. <https://elpais.com/ciencia/2020-09-09/que-causa-la-gravedad.html>

Romero, Carmen (2018). Análisis constructivo de la Obra Herzog y de Meuron. trabajo final de Grado. [https://riunet.](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/102062/ROMERO%20-%20CSA-F0088%20An%C3%A1lisis%20constructivo%20de%20la%20obra%20de%20Herzog%20y%20De%20Meuron.pdf?sequence=1)

[upv.es/bitstream/handle/10251/102062/ROMERO%20-%20CSA-F0088%20An%C3%A1lisis%20constructivo%20de%20la%20obra%20de%20Herzog%20y%20De%20Meuron.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/102062/ROMERO%20-%20CSA-F0088%20An%C3%A1lisis%20constructivo%20de%20la%20obra%20de%20Herzog%20y%20De%20Meuron.pdf?sequence=1)