

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN-TACNA**

**Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia**

**Escuela Profesional de Ingeniería Civil**

**PROPUESTA PARA USO DE MATERIAL SUPERCONDUCTOR  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$   
EN EL SOPORTE DE 75 Kg/m<sup>2</sup> PARA SU APLICACIÓN FUTURA COMO  
CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS LEVITABLES LIVIANAS  
EN LA COSTA SUR DEL PERÚ Y SU PROYECCIÓN  
EN LA INGENIERÍA CIVIL.**

**TESIS**

**Presentada por:**

**Bach. José Luis Ramos Amachi**

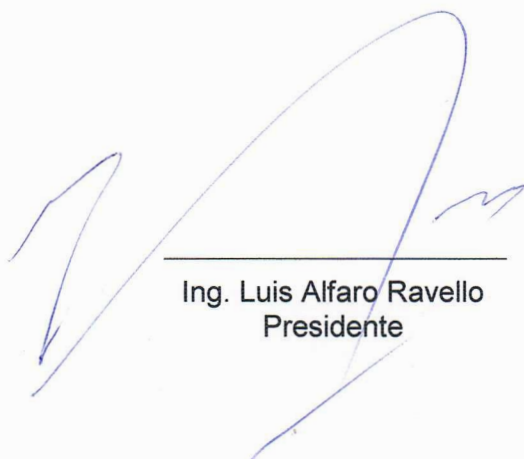
**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**TACNA - PERÚ**

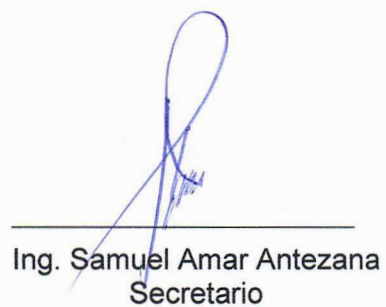
**2017**

**PÁGINA DE JURADOS:**



---

Ing. Luis Alfaro Ravello  
Presidente



---

Ing. Samuel Amar Antezana  
Secretario



---

Ing. Jorge Barriga Gamarra  
Vocal

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, porque gracias a Él tenemos bendiciones como la vida, la salud, el amor y las fuerzas necesarias para seguir adelante.

José Luis Ramos Amachi

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, agradezco a mi señor Jesucristo por ser siempre la luz, quien guía mi camino, por darme fortaleza, salud y sabiduría.

Agradezco a mis Padres por brindarme su apoyo. A mi hermano David que siempre ha estado en las buenas y en las malas. También a mis profesores por ser parte de este camino, por impartir sus clases con dedicación y esmero para aportar en mi carrera profesional.

José Luis Ramos Amachi

## INDICE GENERAL

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I	: GENERALIDADES.	PAG.
1.1	ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.	... 04
1.2	IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.	... 06
1.3	HIPÓTESIS.	... 09
1.4	JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.	... 10
1.5	OBJETIVOS.	... 12
1.5.1	OBJETIVO GENERAL.	... 12
1.5.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	... 13
1.6	ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO.	... 13
1.6.1	ALCANCES.	... 13
1.6.2	LIMITACIONES.	... 14
1.7	VARIABLES.	... 14
1.7.1	VARIABLES DEPENDIENTES.	... 14
1.7.2	VARIABLES INDEPENDIENTES.	... 15
1.8	MATRIZ DE CONSISTENCIA.	... 16

## CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO.

2.1	LEVITACIÓN.	... 17
2.2	LEVITACIÓN CUÁNTICA O SUPERCONDUCTORA.	... 17
2.3	MATERIAL SUPERCONDUCTOR.	... 20
2.3.1	FUNDAMENTACIÓN.	... 20
2.3.2	TIPOS DE SUPERCONDUCTORES.	... 22
2.3.3	SUPERCONDUCTOR $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ .	... 27
2.4	EL EFECTO MEISSNER.	... 32
2.5	ESTADO MIXTO O DE VÓRTICES.	... 33
2.6	APLICACIONES DE LOS MATERIALES SUPERCONDUCTORES EN LA INGENIERÍA CIVIL.	... 36
2.7	VIVIENDA DE ALBAÑILERÍA CONFINADA.	... 37
2.8	VIVIENDA LIVIANA EN UN FUTURO.	... 39
2.8.1	VIVIENDA LIVIANA (SISTEMAS CONSTRUCTIVOS).	... 39
2.8.2	POLICARBONATO ALVEOLAR.	... 50
2.9	COMPARACIÓN DE VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA Y LOS 4 SISTEMAS CONSTRUCTIVOS.	... 53
2.10	CÁLCULO PARA LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUPERCONDUCTORES $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ .	... 54
2.10.1	DEMOSTRACIÓN.	... 55
2.10.2	EXPERIMENTACIÓN.	... 64

### CAPÍTULO III : MARCO METODOLÓGICO.

3.1	METODOLOGÍA APLICADA.	... 67
3.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.	... 68
3.3	TÉCNICAS PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.	... 70
3.4.1	PROPUESTA DE ENSAYO DE LEVITACIÓN EN VIVIENDA A ESCALA.	... 71
3.4.2	EQUIPO PARA ENSAYO FÍSICO-CUÁNTICO DE LEVITACIÓN.	... 73
3.4.3	ENSAYO N°01: EFECTO MEISSNER.	... 77
3.4.4	ENSAYO N°02: SUMA DE PESOS EN LA LEVITACIÓN	... 80
3.4.5	ENSAYO N°03: LEVITACIÓN DE UNA CARGA EQUIVALENTE O MAYOR A 75 kg/m <sup>2</sup> .	... 81
3.4.6	ENSAYO N°04: ALTURAS DE LEVITACIÓN.	... 85

### CAPÍTULO IV : ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1	SOBRE LA PROPUESTA DE VIV. LEVITABLE LIVIANA.	... 90
4.2	ENSAYO N°01: EFECTO MEISSNER.	... 92
4.3	ENSAYO N°02: SUMA DE CARGAS EN LA LEVITACIÓN.	... 93
4.4	ENSAYO N°03: LEVITACIÓN DE UNA CARGA EQUIVALENTE O MAYOR A 75 kg/m <sup>2</sup> .	... 94
4.5	ENSAYO N°04: ALTURAS DE LEVITACIÓN.	... 95

4.6	ALTURAS DE LEVITACIÓN EN VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA Y VIVIENDAS DE ACERO Y DE MADERA	... 97
	CONCLUSIONES	... 99
	RECOMENDACIONES	...100
	TEMAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES	...101
	BIBLIOGRAFIA	...103
	ANEXOS	...106

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 01:** Registro de mayores movimientos sísmicos. Fuente: Estadística del Cismid-Indeci & IGP-UNI 2009 ... pag.10
- Figura 02:** Esquema de fuerzas en el fenómeno de la Levitación / Fuente: Tesis Doctoral: Sistematización del diseño de dispositivos de levitación superconductora por efecto meissner – José Alberto Díaz García – 2008 <sup>(4)</sup> ... pag.17
- Figura 03:** Levitación Cuántica y/o Superconductora / Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa\\_cu%C3%A1ntica\\_de\\_campos](https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_cu%C3%A1ntica_de_campos) ... pag.19
- Figura 04:** Fases de Superconductor I, H vs. T del Nb / Fuente: Elaboración de Superconductores de Alta Temperatura, Ing. Roberto Alfonso Battista, Facultad Regional de Avellaneda – Universidad Tecnológica Nacional <sup>(2)</sup>. ... pag.24
- Figura 05:** Diagrama de Fases de Superconductor II, H vs. T / Fuente: Elaboración de Superconductores de Alta Temperatura, Ing. Roberto Alfonso Battista, Facultad Regional de Avellaneda – Universidad Tecnológica Nacional <sup>(2)</sup>. ... pag.25

- Figura 06:** Localidades donde se encuentra el Mineral Perovskita en forma natural. / Fuente: Mindat.org ... pag.28
- Figura 07:** Estructura Perovskita en sus 2 formas / Book: Solid State Chemistry: An introduction <sup>(11)</sup>. ... pag.29
- Figura 08:** Estructura Cristalina del YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> / Artículo: Ciencia y Química de Materiales Cerámicos 2008. ... pag.30
- Figura 09:** Diagrama del comportamiento diamagnético perfecto exhibido por un superconductor en estado Meissner Puro / Fuente: Tesis Doctoral “Fundamentos de Ingeniería de Mecanismos compuestos por imanes y superconductores en Estado Meissner” <sup>(5)</sup>. ... pag.32
- Figura 10:** Transición gradual de un superconductor tipo II / Fuente: Tesis Doctoral: Fundamentos de Ingeniería de Mecanismos compuestos por imanes y superconductores en estado Meissner <sup>(5)</sup>. ... pag.34
- Figura 11:** Distribución del primer y segundo nivel de vivienda básica / Fuente: Libro “Diseño estructural de una vivienda económica de 160 m<sup>2</sup>” <sup>(3)</sup>. ... pag.38
- Figura 12:** Aplicación de policarbonato alveolar en techo de vivienda / Fuente: www.abrilcerramientos.com.ar – 2017. ... pag.52
- Figura 13:** Líneas de campo cerca del superconductor ajustadas al contorno / Fuente: Tesis Doctoral: Sistematización del diseño de dispositivos de levitación superconductora por Efecto Meissner – Página 105 <sup>(4)</sup>. ... pag.59

**Figura 14:** Componentes del campo magnético paralelos a la superficie del superconductor / Fuente: Tesis Doctoral: Sistematización del diseño de dispositivos de levitación superconductora por Efecto Meissner – Página 106 <sup>(4)</sup>. ... pag.60

**Figura 15:** Paralelepípedo de  $dV$  con su centro en la superficie del superconductor / Fuente: Tesis Doctoral: Sistematización del diseño de dispositivos de levitación superconductora por Efecto Meissner – Página 107 <sup>(4)</sup>. ... pag.61

**Figura 16:** Dispositivo experimental para medida de fuerzas de levitación / Fuente: Tesis doctoral: Fundamentos de ingeniería de mecanismos compuestos por imanes y superconductores en Estado Meissner”, Dr. Efrén Díez Jiménez <sup>(5)</sup>. ... pag.65

**Figura 17:** Distribución de cargas para 2 imanes a una misma distancia  $Z$  / Fuente: Tesis doctoral: Fundamentos de ingeniería de mecanismos compuestos por imanes y superconductores en Estado Meissner”, Dr. Efrén Díez Jiménez <sup>(5)</sup>. ... pag.66

**Figura 18:** Disco 25 mm de diámetro de imán de neodimio utilizado en ensayo / Fuente: Ensayos propiamente realizados. ... pag.75

- Figura 19:** Disco Superconductor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  y/o YBCO utilizado en el ensayo del Efecto Meissner / Fuente: Ensayos propiamente realizados. ... pag.76
- Figura 20:** Termo Criogénico de 2 Kg + Nitrógeno Líquido (a  $-196^\circ\text{C}$ ) / Fuente: Ensayos propiamente realizados. ... pag.76
- Figura 21:** Cubos 30mm x 30mm x 15mm de imán de neodimio utilizado en ensayo / Fuente: Ensayos propiamente realizados. ... pag.77
- Figura 22:** Aplicación de Nitrógeno Líquido (a  $-196^\circ\text{C}$ ) al disco superconductor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  para enfriarlo hasta su  $T_c$  / Fuente: Ensayos propiamente realizados. ... pag.78
- Figura 23:** Colocación de Imán de Neodimio encima de superconductor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  enfriado a  $T_c$ . / Fuente: Ensayos propiamente realizados. ... pag.78
- Figura 24:** Efecto Meissner entre Imán de Neodimio encima de superconductor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  enfriado a  $T_c$ . / Fuente: Ensayos propiamente realizados. ... pag.79
- Figura 25:** Aplicación de otro Imán de Neodimio encima de uno ya colocado anteriormente. / Fuente: Ensayos propiamente realizados. ... pag.80
- Figura 26:** Efecto Meissner de la suma de 2 imanes de Neodimio encima de superconductor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  enfriado a  $T_c$ . / Fuente: Ensayos propiamente realizados. ... pag.81

- Figura 27:** Peso de imán de neodimio de 25 mm de diámetro / Fuente:  
Ensayos propiamente realizados. ... pag.82
- Figura 28:** Efecto Meissner actuando en imán de Neodimio de un peso de  
41 g / Fuente: Ensayos propiamente realizados. ... pag.83
- Figura 29:** Maquetas para ensayos de levitación (6 g, 11 g, 19 g y 24 g) /  
Fuente: Ensayos propiamente realizados. ... pag.85
- Figura 30:** Maqueta de levitación 6 g + superconductor 7 g / Fuente:  
Ensayos propiamente realizados. ... pag.86
- Figura 31:** Maqueta de levitación 11 g + superconductor 7 g / Fuente:  
Ensayos propiamente realizados. ... pag.86

## ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 01:** Material de construcción predominante en viviendas / Fuente:  
I.N.E.I. Censo 2 007. ... pag.07
- Tabla 02:** Tasa de crecimiento promedio anual / Fuente: I.N.E.I. Censo 2 007 ... pag.09
- Tabla 03:** Tabla de Superconductores según Tc de transición / Fuente:  
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>. ... pag.27
- Tabla 04:** Peso total de vivienda básica de 160 m<sup>2</sup> / Fuente: Libro “Diseño  
estructural de una vivienda económica de 160 m<sup>2</sup>”, 2008 <sup>(3)</sup>. ... pag.39
- Tabla 05:** Principales elementos en peso y cantidad de contaminación que  
genera un Sistema constructivo convencional / Fuente: La Sostenibilidad  
en la Construcción Industrializada y la Construcción Modular Ligera  
aplicada a la Vivienda - Capítulo 07 - Página 189 <sup>(12)</sup>. ... pag.42
- Tabla 06:** Principales elementos en peso y cantidad de contaminación que  
genera un Sistema Modular de Concreto / Fuente: La Sostenibilidad  
en la Construcción Industrializada y la Construcción Modular Ligera  
aplicada a la Vivienda - Capítulo 07 - Página 199 <sup>(12)</sup>. ... pag.44
- Tabla 07:** Principales elementos en peso y cantidad de contaminación que  
genera un Sistema Modular de Madera / Fuente: La Sostenibilidad

en la Construcción Industrializada y la Construcción Modular Liger aplicada a la Vivienda - Capítulo 07 - Página 209<sup>(12)</sup>. ... pag.47

**Tabla 08:** “Principales elementos en peso y cantidad de contaminación que genera un Sistema Modular de Acero” / Fuente: La Sostenibilidad en la Construcción Industrializada y la Construcción Modular Liger aplicada a la Vivienda - Capítulo 07 - Página 219<sup>(12)</sup>. ... pag.49

**Tabla 09:** Láminas estructuradas de Policarbonato Alveolar. ... pag.51

**Tabla 10:** Comparación en peso total de los Sistemas Constructivos Modulares y sistema de albañilería confinada / Fuente: Elaboración propia. ... pag.53

**Tabla 11:** Altura de levitación respecto a los pesos (4000 G) / Fuente: Elaboración propia. ... pag.84

**Tabla 12:** Altura de levitación respecto a los pesos (8000 G) / Fuente: Elaboración propia. ... pag.87

**Tabla 13:** Alturas de levitación para viviendas de albañilería confinada, de madera y de acero / Fuente: Elaboración propia. ... pag.89

**Gráfico 01:** Pesos de levitación vs Altura de levitación / Fuente: Elaboración propia. ... pag.88

## ÍNDICE DE TÉRMINOS

B	: Densidad de flujo magnético
D	: Desplazamiento eléctrico
dS	: Diferencial de superficie
dF	: Diferencial de fuerza
H	: Campo magnético
H <sub>c1</sub>	: Campo magnético crítico inferior
H <sub>c2</sub>	: Campo magnético crítico superior
$\bar{H}^{ap}$	: Campo magnético aplicado externamente
$\bar{H}^{sc}$	: Campo magnético generado por corrientes superconductoras
$\bar{H}_{\perp}^{ap}$	: Campo magnético aplicado perpendicular al área
$\bar{H}_{\perp}^{sc}$	: Campo magnético superconductor perpendicular al área
$\bar{H}_{\parallel}^{ap}$	: Campo magnético aplicado paralelo al área
$\bar{H}_{\parallel}^{sc}$	: Campo magnético superconductor paralelo al área
HTSC	: Superconductor de alta temperatura crítica
G	: Gauss (unidad de campo magnético)
K	: Kelvin
T	: Tesla (unidad de campo magnético)
$\lambda$	: Profundidad de penetración
$\bar{J}_S(x, y)$	: Campo vectorial tangente a la superficie del superconductor

$\vec{J}_s$  : Densidad de corriente superficial de superconducción

$\delta(z)$  : Función normal al eje z del superconductor

$\vec{n}_s$  : Vector unidad ortogonal a la superficie

$\mu_0$  : Permeabilidad del aire

## RESUMEN

El presente trabajo trata del estudio de la levitación cuántica en superconductores  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  aplicado a viviendas en escala reducida con el que se busca reducir los daños por sismos. Para esto se evaluó las alturas de levitación de imanes de neodimio que representan en peso a viviendas de albañilería confinada y a otros sistemas constructivos como el de madera y de acero.

Los resultados obtenidos en los ensayos de levitación para viviendas albañilería confinada alcanzan una altura levitación de 17,2 cm . Así mismo, los resultados para un sistema constructivo de vivienda en madera y en acero alcanzan alturas de levitación de 31 cm y 35 cm respectivamente.

Concluyo que la altura de levitación en viviendas de albañilería confinada es insuficiente para que ésta pueda reducir daños por sismos. Los sistemas constructivos de acero y madera lograron alturas de levitación suficientes para que puedan reducir daños por sismos.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales daños provocados en las viviendas del sur de Perú, son producidos por los sismos muy recurrentes que se producen en la costa peruana, y es pues la motivación de muchos profesionales el poder encontrar una solución parcial o total de mitigación para dichos efectos de la naturaleza. La presente Tesis se desarrolló en los siguientes capítulos:

Capítulo I: Generalidades, se explica sobre la condición actual que presentan la construcción de viviendas apoyadas en el suelo y su vulnerabilidad frente a los efectos sísmicos u otras vibraciones que se transmiten por el suelo. Así mismo, se describe y se propone el uso de materiales superconductores (YBCuO) en presencia de imanes, los cuales, al ser colocados en la cimentación de nuevas viviendas, pueda hacerlas levitar y mantenerse estable sin tocar el suelo, gracias a la levitación cuántica. Se definen los objetivos e hipótesis del presente trabajo de investigación, las variables y matriz de consistencia de la Tesis.

Capítulo II: Marco Teórico, se amplía los conceptos sobre levitación cuántica y materiales superconductores. Esta nueva tendencia tecnológica, en un futuro, representaría una solución ya que se contaría con infraestructuras de

vivienda básica suspendida y sin contacto con la superficie terrestre, lo que permitiría que se reduzca la mitigación en daños por sismos. También, se describe teóricamente el tipo de sistema constructivo que adoptarán las viviendas livianas levitables, las cuales tienen como principal característica, que éstas posean el menor peso muerto posible (livianas).

Capítulo III: Marco Metodológico, se describirá el procedimiento para la experimentación, así como los materiales y equipos utilizados para la obtención de resultados.

Capítulo IV: Análisis y Discusión de Resultados, se presentarán los resultados, cálculos y observaciones obtenidos en cada ensayo.

Conclusiones y Recomendaciones.

Temas para futuras investigaciones

Bibliografía y Anexos

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

### 1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

A lo largo de toda la historia de construcción de viviendas, en todo el mundo se construyen viviendas con cimentaciones apoyadas en el suelo, las cuales las hacen vulnerables a efectos sísmicos o de otras vibraciones que se transmiten por el terreno, así mismo por inundaciones y efectos climatológicos.

Así mismo, cada año se vienen desarrollando viviendas con mayores consideraciones estructurales para garantizar su durabilidad y adecuado desempeño en presencia de terremotos. A medida que la tecnología en el sector de construcción avanza, la ciencia física también viene tomando progresos significativos.

Muchos metales presentan propiedades superconductoras si disminuyen su temperatura por debajo de los 10 k (k = kelvin). El primer material en ser estudiado por Heike Kamerlingh-Onnes (Físico alemán de la Universidad de Heidelberg) fue el Hg, en 1912,

donde al enfriarlo a una temperatura de 4,2 k, éste pasaba a un estado desconocido para ese tiempo, al cual Heike Kamerlingh-Onnes denominó superconductor. En los años 60, se experimentaron con aleaciones de Niobio, las cuales se volvían superconductoras a temperaturas entre 10 k y 23 k (Revista: Elementos: La Revolución de los Superconductores, Rafael Baquero, num.11, 1987 <sup>(1)</sup>).

El principal motivo para el estudio y desarrollo de estos materiales fue su propiedad de conducir energía eléctrica con resistencia cero, pero paralelamente, en 1933, Walter Meissner y Robert Ochsenfeld (Físicos de la Universidad Técnica de Múnich, Alemania) descubren una propiedad adicional en estos superconductores, la cual desde entonces se denomina “Efecto Meissner” y que se presenta físicamente (al interactuar con imanes) como un fenómeno que se conoce como “levitación cuántica”.

En 1986 K.A. Muller (Físico Suizo, Nobel de 1987, de la Escuela Politécnica Federal de Zúrich) y J.G. Bednorz (Físico Alemán, Nobel de 1987, de la Universidad de Münster) descubren una nueva familia de compuestos cuyas temperaturas críticas superaban las del punto de ebullición del Nitrógeno que se encuentra a 77 k .

Es así como se descubre la aleación superconductora del Superconductor  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  (YBaCuO), la cual desde entonces es ampliamente estudiada y en muchos casos llevada a la práctica en el sector de transporte urbano al ser aplicada para la levitación de trenes, que siendo levitables alcanzan velocidades de más de 400 km/h (Libro: Levitación Magnética, Hyung-Suk Han, 2016 <sup>(7)</sup>).

El constante desarrollo de estos materiales comienza a expandirse en el sector transportes, electrónico y eléctrico. Esta forma de levitación superconductora o cuántica, continúa en desarrollo y expansión en diferentes disciplinas y áreas de estudio.

## **1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

En el sur del país se cuenta con un total de 342 131 viviendas que en su mayoría son de dos niveles (en promedio). De acuerdo con los informes del Censo 2007 realizado por el Instituto Nacional de Estadística (I.N.E.I.), en la Tabla 01 se puede observar que el material de construcción predominante está constituido en gran parte por ladrillo, la cual representa a un sistema constructivo de

albañilería confinada con un 84% del total de viviendas en la costa sur del Perú.

Tabla 01: Material de construcción predominante en viviendas del sur del Perú.

PROVINCIA	Material en las paredes exteriores (CENSO 2007)			
	TOTAL	Ladrillo o bloque de cemento	Adobe o Tapia	Piedra con barro
Total	342 131	285 171 (84%)	45 158 (13%)	11 802 (4%)
Tacna	68 297	58 905 (86%)	8865 (13%)	527 (1%)
Moquegua	40 660	25 869 (64%)	13 796 (34%)	995 (2%)
Arequipa	233 174	200 397 (86%)	22 497 (10%)	10 280 (4%)

Fuente: I.N.E.I. Censo 2007

Así mismo estas viviendas requieren de una cimentación adecuada que sea capaz de soportar el peso de los muros y elementos estructurales de concreto armado que son utilizados a nivel nacional.

En la actualidad las viviendas se construyen apoyadas al suelo por medio de sus cimientos, debido a su gran peso muerto (CM), siendo

de esta forma, vulnerables a los movimientos sísmicos livianos y/o severos, generando daños económicos en la propiedad y pérdidas humanas irreparables.

A nivel mundial se vienen usando, en edificios de cinco niveles a más (en promedio), disipadores de energía y/o aisladores sísmicos, los cuales nos permiten reducir los daños entre 30% a 70% de mitigación producida por eventos sísmicos. Sin embargo, en la realidad a nivel de Sudamérica, así como lo es en la Costa Sur del Perú, no existen dispositivos y/o aisladores aplicados en viviendas.

De acuerdo con las estadísticas obtenidas en el VI Censo de Vivienda del I.N.E.I. realizado en el 2007, se tiene una tasa de crecimiento promedio anual de 3,9% (Tacna), 3,4% (Moquegua) y 3,2% (Arequipa) que se presentan en la Tabla 02.

Teniendo en consideración estas tasas de crecimiento, podemos afirmar que son un total de 647 621 viviendas nuevas que se construirán en el sur del país. Una cantidad de estas futuras viviendas a construirse, hasta dentro de 25 años, podrían presentar una mejora en respuesta a acontecimientos sísmicos, si se

contempla el uso de materiales ligeros y condiciones de superconductividad en sus cimentaciones.

Tabla 02: Tasa de crecimiento promedio anual.

PROVINCIA	Tasa de crecimiento promedio anual			
	1993	2007	Tasa de crecim. promedio anual	2039
Total	199 151	342 131		98 9752
Tacna	42 084	68 297	3,9%	232 327
Moquegua	20 620	40 660	3,4%	118 529
Arequipa	136 447	233 174	3,2%	638 896
	Total, de nuevas viviendas para el 2039:			<b>647 621</b>

Fuente: I.N.E.I. Censo 2007

### 1.3 HIPÓTESIS

Mediante el uso del superconductor  $YBa_2 Cu_3 O_{7-x}$  de alta temperatura crítica se hará levitar un peso equivalente mayor a  $75 \text{ kg/m}^2$ , que representarán a viviendas levitables livianas, que al desprenderse del suelo permitirán mitigar daños provocados por sismos leves y severos protegiendo de esta manera las viviendas y vidas humanas.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

En la actualidad en muchas partes del mundo, así como en la costa sur de Perú, los sismos son peligros latentes que ocasionan muchas pérdidas económicas y humanas.

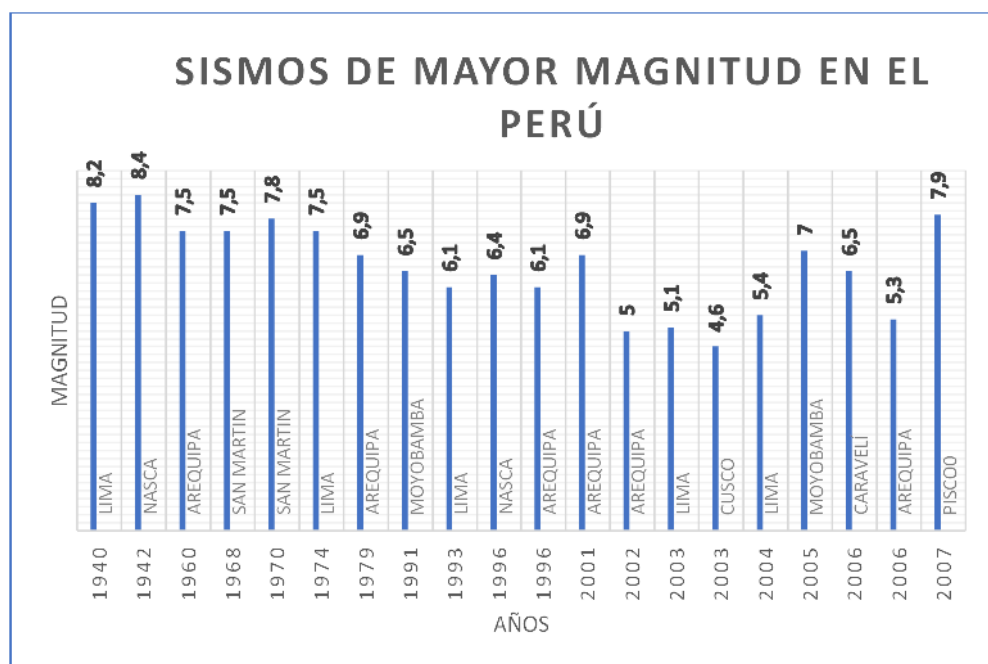


Figura 01. Registro de mayores movimientos sísmicos en el Perú.

Fuente: Estadística del Cismid-Indeci & IGP-UNI 2009

En la Figura 01 se puede observar las mayores magnitudes sísmicas presentadas en Perú entre los años 1940 a 2007. Las distintas soluciones que permiten mitigar sismos se presentan

mediante disipadores o dispositivos que están conectados necesariamente con el suelo, estos dispositivos permiten que los daños por sismos se reduzcan significativamente entre 30% a 70%. Sin embargo, los dispositivos con los que se cuentan actualmente aún dependen del comportamiento y calidad del suelo los cuales siempre transmitirán las energías de vibración a la vivienda u estructura.

En la Ingeniería Civil se busca obtener las soluciones más eficientes para que los daños sean los menores posibles, es por lo que existen diversos modelos, formas y aplicaciones para poder disipar y mitigar las fuerzas sísmicas. Por otro lado, las viviendas de albañilería confinada (común en la Costa Sur del Perú.) son estructuras pesadas, el cual lo hace un peligro latente provocando pérdidas de vidas humanas.

Teniendo en el panorama actual de la Costa Sur del Perú, el total de 342 131 viviendas en promedio de dos niveles, construidas de albañilería confinada, adobe y/o piedra-barro, apoyadas en el suelo, y directamente propensas a los daños que pueden provocar sismos severos, el presente trabajo de investigación propone, a futuro, dejar

los principales fundamentos teóricos para la posibilidad de construir viviendas que se encuentren liberadas del suelo (levitables).

Por medio de la Levitación Cuántica se buscará construir viviendas livianas que, a futuro, no presenten daños severos por sismos, así como asegurar el bienestar de las personas.

Para alcanzar dicho logro, en la investigación siguiente se planteará los conceptos físicos necesarios para tener en cuenta en la utilización de estos materiales superconductores en la construcción de viviendas levitables livianas.

Así mismo, en este trabajo se buscará ensayar el fenómeno de levitación cuántica aplicando una carga aplicada de  $75 \text{ kg/m}^2$  o mayor, el cual nos permitirá observar el comportamiento de los superconductores para su futuro uso en dichas viviendas livianas.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 OBJETIVO GENERAL**

Mediante las teorías de la física cuántica, demostrar la levitación de un peso equivalente que supere la relación de  $75 \text{ kg/m}^2$  usando el superconductor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  para proyectarse a la construcción de viviendas levitables livianas en la costa sur del Perú.

### **1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir el sistema constructivo más adecuado para la construcción de viviendas livianas levitables.
- Reconocer las propiedades físicas del superconductor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  en presencia del efecto Meissner.
- Analizar y describir si la levitación cuántica, que se presenta en los superconductores  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ , puede lograr una levitación que disipe los efectos y fuerzas provenientes de los sismos.

## **1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO**

### **1.6.1 ALCANCES**

- El presente trabajo se proyecta para la evaluación de un peso equivalente (representado por un imán de neodimio) mayor a 75 kg/m<sup>2</sup> de promedio en peso, la cual será representada en un ensayo con superconductor YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> e imán de peso equivalente.
- Al analizar la levitación cuántica de los superconductores YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub>, para dos campos magnéticos diferentes, obtendremos alturas de levitación, las cuales serán utilizadas para estimar alturas de levitación en ensayos a escala real.

### **1.6.2 LIMITACIONES**

- La falta o escasa investigación existente para el uso de los superconductores YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub>.
- La finita cantidad de tamaños a la venta, producidos a nivel mundial, de superconductores YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub>.

## **1.7 VARIABLES**

### **1.7.1 VARIABLES DEPENDIENTES**

- Carga total de levitación (Medición:  $\text{kg/m}^2$ ).
- Altura de Levitación (Medición: mm).

### **1.7.2 VARIABLES INDEPENDIENTES**

- Vivienda Liviana levitable (“Imanes de Neodimio”).  
Medición: Gramos
- Líquido de enfriamiento (Nitrógeno líquido).
- Temperatura de Ensayo (Termómetro de Resistencia de Platino).  
Medición: Grados °C
- Fuente o recipiente de enfriamiento (Tecnopor).
- Tipo de material superconductor (Superconductor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ).

### **1.8 MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**MATRIZ DE CONSISTENCIA DE LA TESIS**

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	METODOLOGIA	VARIABLES	INDICADORES	TÉCNICA	INSTRUMENTOS
<p><b>Problema general:</b></p> <p>¿Será posible mitigar los sismos que padecerían futuras viviendas levitables livianas aplicadas en la costa sur del Perú proponiendo el uso del superconductor YBa2Cu3O7-x en su cimentación?</p> <p><b>Problemas Específicos:</b></p> <p>a) ¿Qué propuesta o sistema constructivo vendrían a constituir una vivienda liviana futura en el sur del Perú que sean capaces de mitigar daños por sismos?</p> <p>b) ¿Es capaz el superconductor YBa2Cu3O7-x de soportar un peso de 75 Kg/m2 en presencia del Efecto Meissner de la Física Cuántica?</p> <p>c) ¿Cuáles serían las futuras aplicaciones como propuestas para su proyección en la Ingeniería Civil?</p>	<p><b>Objetivo general:</b></p> <p>Mediante las teorías de la física cuántica, demostrar la levitación de un peso equivalente que supere la relación de 75 Kg/m2 usando el superconductor YBa2Cu3O7-x para proyectarse a la construcción de viviendas levitables livianas en la costa sur del Perú.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <p>a) Definir el sistema constructivo más adecuado para la construcción de viviendas livianas levitables.</p> <p>B) Reconocer las propiedades físicas del superconductor YBa2Cu3O7-x. en presencia del efecto Meissner</p> <p>C) Analizar y describir si la levitación cuántica, que se presenta en los superconductores YBa2Cu3O7-x, puede lograr una levitación que disipe los efectos y fuerzas provenientes de los sismos.</p>	<p><b>Hipótesis general:</b></p> <p>Mediante el uso del superconductor YBa2 Cu3 O7-x de alta temperatura crítica se hará levitar un peso equivalente mayor a 75 Kg/m2, que representarán a viviendas livianas, que al desprenderse del suelo permitirán mitigar daños provocados por sismos leves y severos protegiendo de esta manera las viviendas y vidas humanas.</p>	<p>Cuantitativo / Descriptivo</p> <p>Cualitativa</p> <p>Explicativa</p> <p>Cualitativo</p>	<p><b>Variables Independientes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de ensayo</li> <li>- Fuente o recipiente de enfriamiento</li> <li>- Líquido de enfriamiento</li> <li>- Tipo de material superconductor</li> <li>- Vivienda Liviana levitable</li> </ul> <p><b>Variables Dependientes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Carga Total de Levitación</li> <li>Altura de Levitación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medición con termómetro de resistencia de platino</li> <li>- El material de Tecnopor es capaz de soportar bajas temperaturas sin daños su composición.</li> <li>- Nitrógeno líquido, cuyo punto de ebullición está por debajo de los 77K</li> <li>- Se utilizará el tipo YBa2Cu3O7-x ya que es el más comercial</li> <li>- Será representada con el peso de Imanes de Neodimio.</li> <li><math>F = W/A</math> (W: masa; A=área)</li> <li>- Medición con láminas de vidrio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cuantitativa</li> <li>Cualitativa</li> <li>Cualitativa</li> <li>Cualitativa</li> <li>Cuantitativa</li> <li>Cuantitativa</li> <li>Cuantitativa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pinzas</li> <li>- Guantes de protección</li> <li>- Lentes de seguridad</li> <li>- Termómetro de resistencia de platino</li> <li>- Bandeja criogénica</li> <li>- Termo Criogénico</li> <li>- Nitrógeno líquido</li> <li>- Superconductor YBa2Cu3O7-x, de 25 mm diámetro</li> <li>- Imanes de Neodimio</li> <li>- Láminas de vidrio de espesores distintos (2, 3, 4mm.)</li> <li>- Imanes de neodimio de 25mm de diámetro, cubos de 40x40x25mm</li> </ul>

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 LEVITACIÓN

El fenómeno de Levitación es una propiedad física donde un cuerpo se mantiene en flotación sin ningún soporte aparente. De acuerdo con la Figura 02, la fuerza contra-gravitatoria es una fuerza repulsiva a distancia entre dos cuerpos (fuerza de levitación  $FL$ ), por lo que para conseguir que uno de los cuerpos levite, se ha de colocar encima del otro cuerpo y así compensar la fuerza gravitatoria (peso  $W$ ).

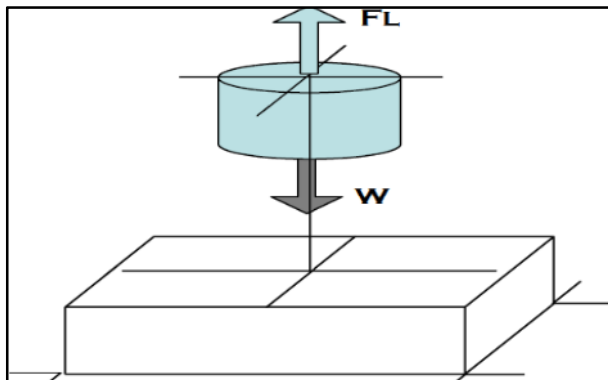


Figura 02. Esquema de fuerzas en el fenómeno de la Levitación

Fuente: Tesis "Sistematización del Diseño de dispositivos de levitación", 2008 <sup>(4)</sup>

## **2.2 LEVITACIÓN CUÁNTICA O SUPERCONDUCTORA**

Los principios básicos de la física cuántica son fundamentalmente dos. El primero es que las partículas intercambian energía en múltiplos enteros denominados quantum. El segundo es que la posición teórica de las partículas es probabilística. Estos dos principios también se cumplen en la levitación cuántica.

La levitación cuántica ocurre cuando un superconductor y un material con campo magnético (imán), ocupan un mismo campo gravitacional sin necesidad de un contacto físico directo, quedando uno suspendido por encima del otro.

De acuerdo con lo mencionado en la Tesis Doctoral de Miquel Joan Pallarés de la Universidad Politécnica de Catalunya <sup>(10)</sup>, se define a la levitación cuántica como un fenómeno que consiste en la desaparición total del flujo del campo magnético, emitido por un material (imán), en el interior de un superconductor por debajo de su temperatura crítica, expulsándolos desde su núcleo (Efecto Meissner-Ochsenfeld), haciendo que dicho material levite.

La ventaja principal del uso de la levitación es la eliminación de elementos de unión y/o fijación entre piezas, elementos o soportes fijos anclados en el suelo (terreno o superficie) que deben tener un movimiento relativo a elementos de soporte fijos.

Otra importante ventaja de disponer de estos elementos levitables es que elimina otros problemas propiciados por el contacto como el deterioro por el uso, la fatiga, deslizamientos y adhesiones, fricción, pérdidas de energía, y otros efectos directos, que para fines de la ingeniería civil serían el aislamiento de fuerzas sísmicas, el caliche por humedad, la transmisión de altas y/o bajas temperaturas provenientes del suelo hacia la vivienda y el cuidado de las viviendas en presencia de sismos.



Figura 03. Levitación Cuántica y/o Superconductora

Fuente: <https://es.wikipedia.org/>, 2017

En la Figura 03 se puede apreciar un ensayo de levitación cuántica imán-superconductor. La levitación superconductor se presenta en la interacción de un material diamagnético perfecto (HTSC  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+x}$  en estado meissner) y un imán permanente (imán de neodimio), los cuales provocarán un campo de fuerzas conservativo que puede proporcionar posiciones de equilibrio estables. Una combinación adecuada de las geometrías del imán y el superconductor puede lograr una levitación estable.

## **2.3 MATERIAL SUPERCONDUCTOR.**

### **2.3.1 FUNDAMENTACIÓN.**

El descubrimiento, en 1986, de superconductividad en el sistema  $\text{BaLaCuO}$  por encima de los 40 k (Hecho por K.A. Muller, físico Suizo de la Escuela Politécnica Federal de Zúrich y J.G. Bednorz, Físico Alemán) dio pie a un nuevo empuje en la búsqueda de materiales superconductores entre los materiales cerámicos, consiguiéndose al poco tiempo materiales superconductores a temperaturas superiores a los 77 k, la barrera tecnológica del nitrógeno líquido (Libro: Levitación Magnética, Hyung-Suk Han,

2016 <sup>(7)</sup>). Esta nueva familia de superconductores llamados superconductores de alta temperatura ha incrementado las expectativas de aplicación mostrando un enorme potencial de utilización en el campo de la industria y en los mercados de la electricidad, transporte y electrónica.

Desde entonces numerosos investigadores en todo el mundo dedican su esfuerzo, tanto a mejorar el conocimiento teórico como a desarrollar aplicaciones prácticas para estos materiales, creando una nueva tecnología. Esta nueva tecnología abarca prácticamente todos los aspectos del conocimiento, pero exige trabajar juntamente con profesionales físicos, químicos, ingenieros, matemáticos y otros. Aunque el potencial es enorme, la materialización de aplicaciones requiere de cierta maduración que, poco a poco, se manifiesta en campos que no están en competencia con tecnologías más clásicas.

Un material superconductor se define a partir de una serie de parámetros, los cuales por debajo de cierta temperatura (temperatura crítica), este presenta conductividad nula, generándose la levitación. Por debajo de un valor de campo magnético (campo magnético crítico), un material superconductor

se comporta como un material diamagnético perfecto, es decir, el material expulsa las líneas de campo magnético (Efecto Meissner). Así mismo, debajo de una intensidad de corriente (intensidad de corriente crítica), un material superconductor conduce la corriente eléctrica sin resistencia.

### **2.3.2 TIPOS DE SUPERCONDUCTORES.**

Dentro de los tipos de superconductores que podemos mencionar tenemos los siguientes:

#### **2.3.2.1 Según su composición química:**

Podemos dividir los materiales superconductores conocidos en cuanto a su composición química en tres grandes grupos:

- Elementos Metálicos: Son elementos que específicamente ofrecen este tipo de propiedad superconductor pero que no ofrecen grandes posibilidades de aplicaciones prácticas.
- Aleaciones, compuestos inter-metálicos y semiconductores: Las aleaciones contienen elementos de transición como el Nb-Zr, Nb-Ti y Mo-Re.

- Superconductores de alta temperatura (HTSC): Los primeros (HTSC) consistían en óxidos de cobre con bario y lantano.

#### **2.3.2.2 Según su comportamiento al campo magnético:**

- Superconductores Tipo I: También conocidos como superconductores blandos, presentan un valor de  $T_c$  y  $H_c$  bajos. Algunos elementos metálicos como el plomo, estaño, mercurio y el aluminio pertenecen a este grupo. El campo magnético de éstos solo puede penetrar la capa superficial, y la corriente solo puede fluir por esta capa. Así mismo solo presenta un campo magnético crítico ( $H_c$ ) el cual marca dos fases en el superconductor, una fase superconductora denominada “efecto meissner” y otra fase normal donde no presenta características superconductoras.
- Superconductores Tipo II: Poseen un comportamiento distinto al de los superconductores Tipo I. Son conocidos como “duros”; estos presentan dos campos magnéticos críticos ( $H_{c1}$  y  $H_{c2}$ ) haciendo que posean tres fases como superconductor.

Superconductores Tipo II: Poseen un comportamiento distinto al de los superconductores Tipo I. Son conocidos como “duros”; estos presentan dos campos magnéticos críticos ( $H_{c1}$  y  $H_{c2}$ ) haciendo que posean tres fases como superconductor. Por debajo del campo magnético  $H_{c1}$  se comportan como los de Tipo I (efecto meissner), entre  $H_{c1}$  y  $H_{c2}$  exhiben un estado mixto en donde el campo magnético penetra el material a través de una red de vórtices, finalmente en  $H_{c2}$  el flujo penetra todo el material y éste deja de ser superconductor.

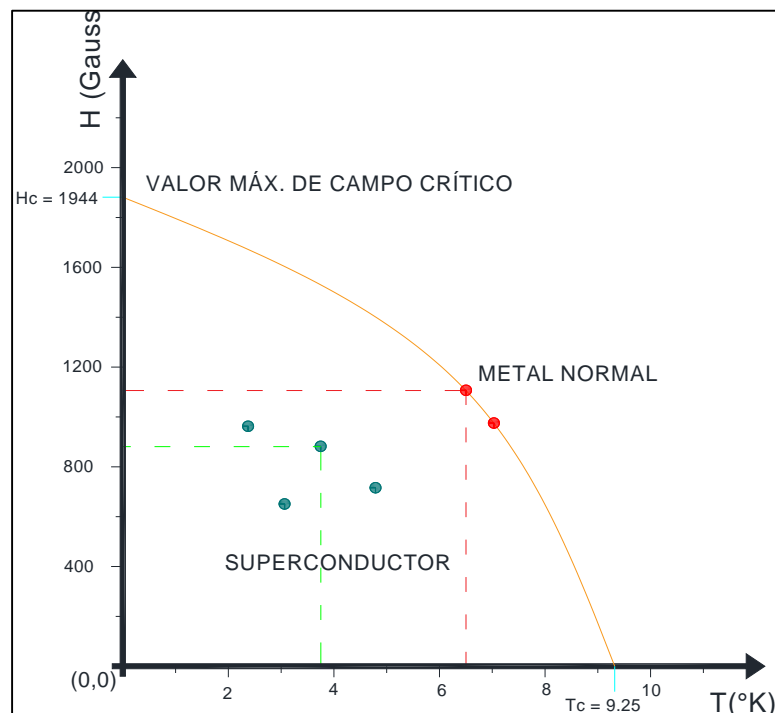


Figura 04. Fases de Superconductor I, H vs. T del Nb

Fuente: UTN, Elaboración de Superconductores de Alta Temperatura <sup>(2)</sup>

En la Figura 04 se observan las dos fases de un superconductor tipo I, la fase normal y la fase superconductor. El Niobio (Nb), estudiado por Heike Kamerlingh Onnes, presenta valores de  $T_c=9,25$  k y  $H_c=1944$  G (Libro: Los Superconductores, Luis Fernando Magaña Solís, segunda edición, 1997 <sup>(8)</sup>).

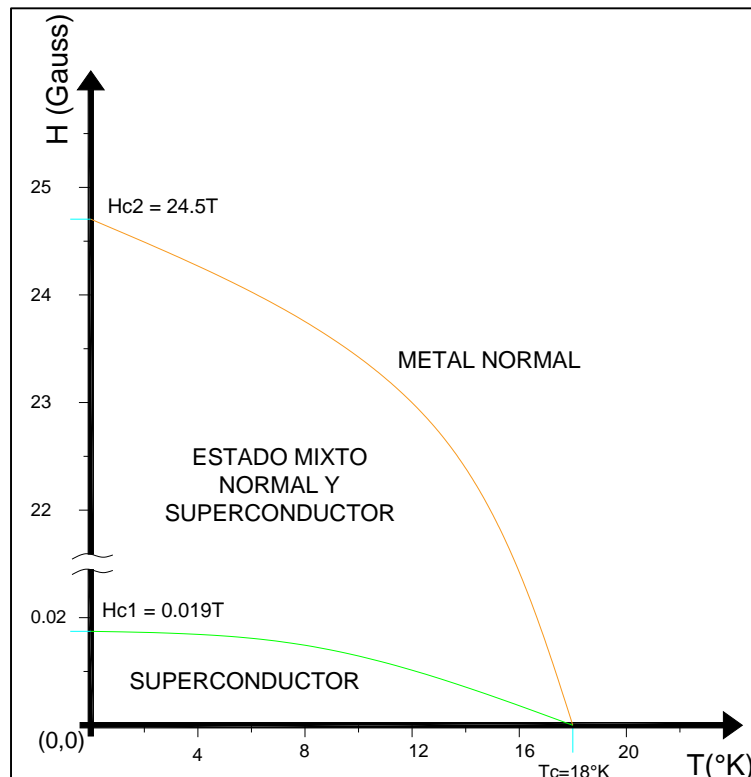


Figura 05. Diagrama de Fases de Superconductor II, H vs. T

Fuente: Artículo "Elaboración de Superconductores de Alta Temperatura", 2009 <sup>(2)</sup>

En la Figura 05 se observan las tres fases de un superconductor tipo II, la fase normal, la fase mixta o de vórtices y la fase

superconductor. El Niobio-Estano ( $\text{Nb}_3\text{-Sn}$ ), estudiado por Heike Kamerlingh Onnes, presenta valores de  $H_{c1}=0,019 \text{ T}$  y  $H_{c2}=24,5 \text{ T}$  (Libro: Los Superconductores, Luis Fernando Magaña Solís, segunda edición, 1997 <sup>(8)</sup>)

### **2.3.2.3 Según su temperatura crítica:**

El descubrimiento de superconductores de alta temperatura (HTSC) provocó una serie de estudios sobre el material en tres direcciones preferentemente:

- a) Nuevos compuestos a fin de obtener las "Tc" más elevadas.
- b) La mejora de los métodos para sintetizar estos materiales.
- c) La comprensión de sus propiedades físicas.

Su clasificación se puede definir de acuerdo con la temperatura crítica que alcanza, según: Superconductores con Tc menores a la temperatura de ebullición (T.E.) del Helio o  $T_c < 4,2 \text{ k}$ , superconductores con Tc menores a la T.E. del Nitrógeno o  $T_c < 77 \text{ k}$ , entre otros.

En la Tabla 03 se observan materiales superconductores clasificados por los límites de puntos de ebullición del helio,

hidrógeno y nitrógeno líquido. El superconductor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  presenta una temperatura crítica más elevada que el punto de ebullición del nitrógeno líquido.

Tabla 03. Tabla de Superconductores según  $T_c$  de transición

Temperatura de transición (K)	Material	Clase
133	$\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$	Superconductores de óxido de cobre
110	$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ (BSCCO)	
90	$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (YBCO)	
77	Punto de ebullición del nitrógeno líquido	
55	$\text{SmFeAs}$ (O, F)	Superconductores basados en hierro
41	$\text{CeFeAs}$ (O, F)	
26	$\text{LaFeAs}$ (O, F)	
20	Punto de ebullición del hidrógeno líquido	
18	$\text{Nb}_3\text{Sn}$	Superconductores Metálicos de baja temperatura
10	$\text{NbTi}$	
9.2	$\text{Nb}$	
4.2	Punto de ebullición del helio líquido	
4.2	$\text{Hg}$ ( mercurio )	Superconductores metálicos de baja temperatura

Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>, 2017

### 2.3.3 SUPERCONDUCTOR $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ .

#### 2.3.3.1 Generalidades:

El  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ , o conocido también como YBCO, es un óxido cerámico superconductor de alta temperatura crítica, que al igual que los superconductores de alta temperatura crítica, es un compuesto anisotrópico, debido a su estructura laminar.

### 2.3.3.2 Descripción Química del HTSC $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ :

Para conocer con más familiaridad al superconductor YBCO se debe estudiar cómo está conformada su estructura química, en la cual, el superconductor presenta estructuras del tipo “Perovskita”. Una estructura perovskita viene a ser representada por la fórmula general “ $\text{ABO}_3$ ”, donde A y B son metales y O es el oxígeno. En la Figura 06 se observa la ubicación de yacimientos de Perovskita en su estado natural:



Figura 06. Localidades donde se encuentra el Mineral Perovskita.

Fuente: Mindat.org, 2017

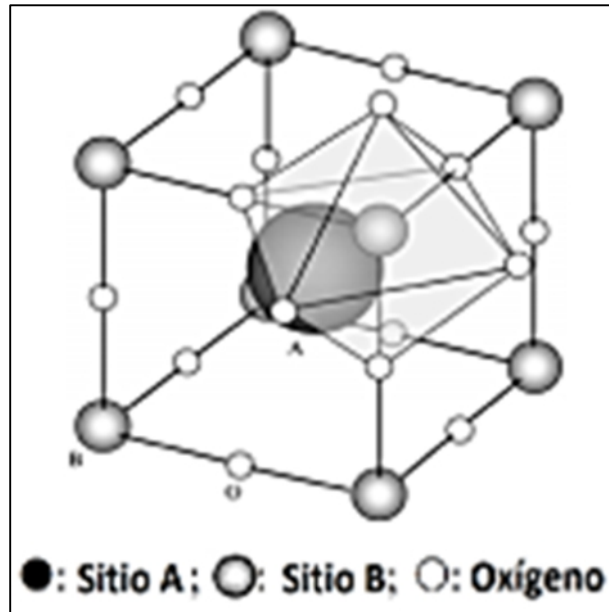


Figura 07. Estructura Perovskita Tipo A

Fuente: Libro: "Solid State Chemistry: An introduction", 2012 <sup>(11)</sup>

En la Figura 07 se pueden observar la forma de estructuración Perovskita tipo A, donde "Sitio A" es un catión grande y puede ser un alcalino, alcalino-terreo o lantánido, y el "Sitio B" es un catión de tamaño medio y normalmente un material de transición.

Conociendo a esta estructura matriz mencionada, podemos definir al HTSC "YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub>" como un superconductor de estructura triple perovskita (ver Figura 08) no estequiométrica por lo mismo que presenta vacancia en las posiciones de los lugares de arista

correspondientes a los átomos de oxígeno, debido a esto, en su fórmula, la “x” representa a estos lugares vacantes ( $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ).

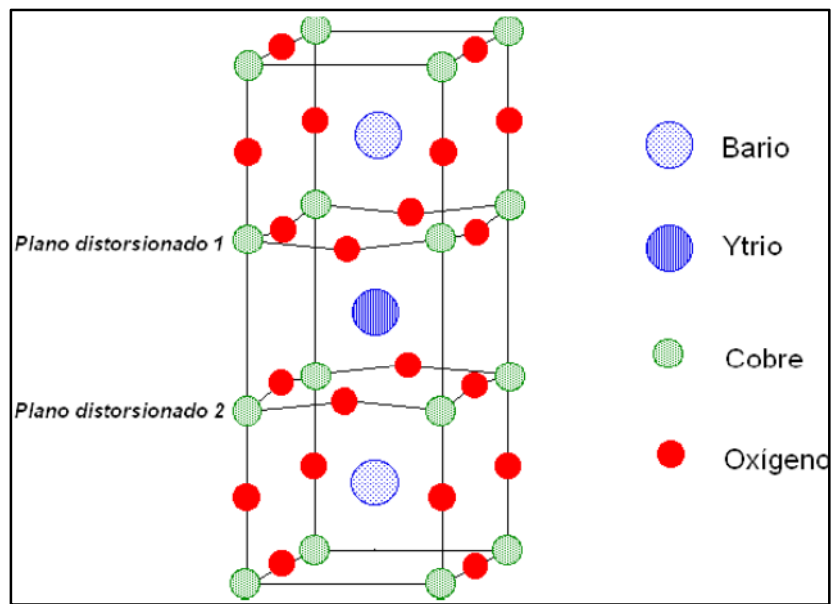


Figura 08. Estructura Cristalina del  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

Fuente: Artículo “Ciencia y Química de Materiales Cerámicos”, 2008

La celda unitaria del HTSC  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  resulta del apilamiento de tres celdas cúbicas en las cuales, los átomos de Y y Ba, se encuentran ocupando las posiciones del Ca, y el Cu las del Ti (“ $\text{CaTiO}_3$ ” estructura Perovskita natural). De este modo resulta una celda ortorrómbica, cuyos parámetros son:  $a = 3,187 \text{ \AA}$ ,  $b = 3,882 \text{ \AA}$  y  $c = 11,671 \text{ \AA}$ .

### 2.3.3.3 Descripción Física del HTSC $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ :

La superconductividad de un HTSC  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  presenta pérdida total de resistencia al paso una corriente eléctrica y también presenta el Efecto Meissner (cuando levita por encima de un imán y/o material magnético) cuando la temperatura se reduce por debajo de una temperatura crítica  $T_c$ . Este superconductor no presenta campo magnético, y a una cierta temperatura  $T_c$ , toda inducción magnética es expulsada del interior y se comprueba haciendo levitar un imán sobre el HTSC  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ , sumergiéndolo en nitrógeno líquido, puesto que su  $T_c$  es de 92 k .

Este superconductor cerámico de Tipo II, presenta dos campos magnéticos críticos ( $H_{c1}$  y  $H_{c2}$ ) haciendo que posean tres fases como superconductor.

En resumen, el HTSC  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  exhibe dos propiedades:

- Resistividad Nula: No ofrece resistencia al paso de una corriente eléctrica.
- Expulsión del campo magnético aplicado: Este expulsa todo tipo de campo magnético al mantenerse a temperaturas inferiores a la temperatura crítica (efecto meissner)

## 2.4 EL EFECTO MEISSNER.

Al enfriar un superconductor en presencia de un campo magnético externo  $B$  por debajo de una temperatura crítica  $T_c$ , se produce el efecto Meissner, que consiste en la expulsión del campo magnético del interior del superconductor al aplicarle un campo magnético externo, de manera que un superconductor se comporta como un diamagnético ideal. Esto origina la levitación de un imán sobre un superconductor.

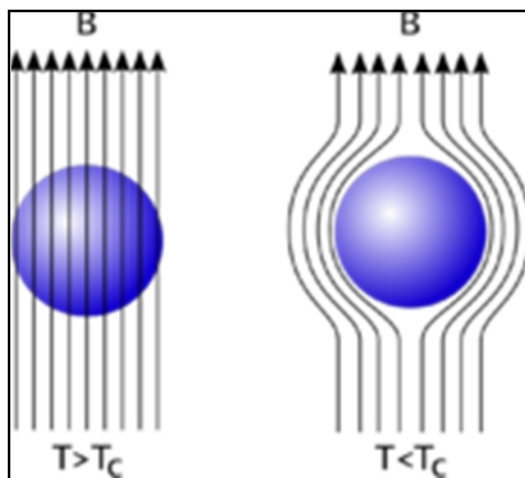


Figura 09. Diagrama del comportamiento diamagnético perfecto exhibido por un superconductor en estado Meissner puro.

Fuente: Tesis doctoral "Fundamentos de Ingeniería de mecanismos compuestos por imanes y superconductores en estado Meissner", 2011 <sup>(5)</sup>

Como se puede ver en la Figura 09, se requiere de una temperatura crítica necesaria para que se genere el “Efecto Meissner”, así mismo este diamagnetismo perfecto implica que la densidad de flujo magnético en cualquier punto del interior del superconductor debe ser cero.

Las condiciones fundamentales que se dan en el efecto Meissner son las siguientes:

- Que el campo magnético sea nulo en el interior del superconductor.
- Que las corrientes eléctricas estén limitadas a la superficie del superconductor, en una capa de un espesor del orden de lo que se conoce como la longitud de penetración, siendo nulas en el interior.

Que se genere la Levitación de un elemento (imán) encima del superconductor.

## **2.5 ESTADO MIXTO O DE VÓRTICES.**

Los superconductores Tipo II, como lo es el HTSC  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+x}$ , presentan una transición de fase gradual que se conoce como

estado mixto. Este estado mixto (estado de vórtices) tiene dos límites característicos: campo magnético crítico superior y campo magnético crítico inferior.

El campo crítico inferior es el límite a partir del cual las líneas de flujo magnético exteriores empiezan a penetrar en el superconductor. Si se aumenta el campo, las líneas de flujo se incrementan, hasta que, al alcanzar el campo crítico superior  $H_{c2}$ , el superconductor vuelve a su estado normal.

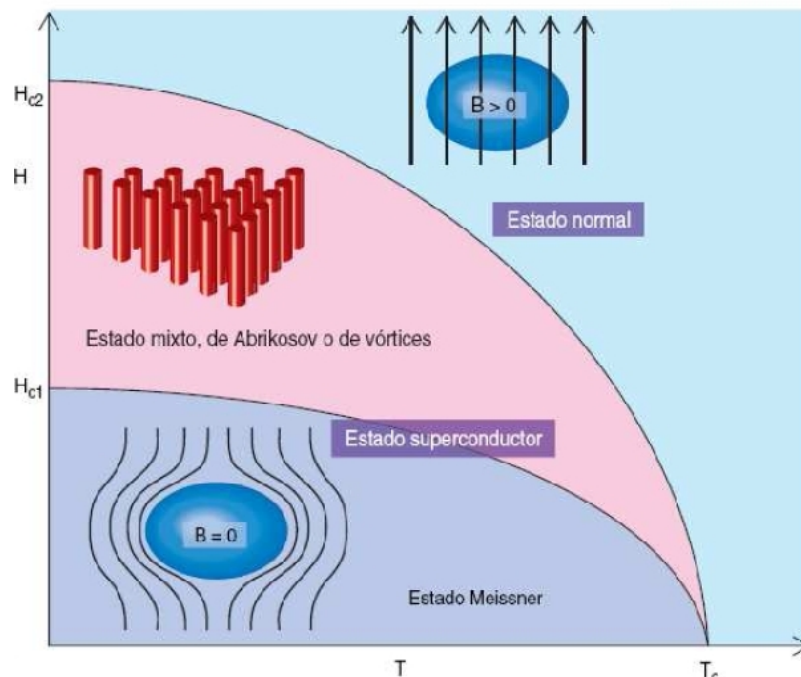


Figura 10. Transición gradual de un superconductor tipo II

Fuente: Tesis Doctoral "Fundamentos de Ingeniería de Mecanismos compuestos por imanes y superconductores", 2011 <sup>(5)</sup>

En la Figura 10 se observa el comportamiento en estado mixto de un HTSC  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+x}$  donde  $H_{c1}$  es su campo crítico inferior (entre 0,3 T a 0,5 T) y  $H_{c2}$  es su campo crítico superior (entre 85 T a 93 T). En un superconductor (tipo II) seguimos encontrando las corrientes de apantallamiento y/o líneas de flujo magnético por Efecto Meissner. Por lo tanto, el efecto de repulsión sigue existiendo en el estado mixto. Sin embargo, y a diferencia del Estado Meissner puro, esta repulsión se combina con una atracción propiciada por la magnetización en forma de vórtices.

La magnetización en forma de vórtices, se localizan según estudios, en los defectos que presentan las superficies de estructura cristalina del superconductor (Tesis: Fundamentos de ingeniería de mecanismos compuestos por imanes y superconductores en estado Meissner, Ing. Efrén Díez Jiménez, 2011 <sup>(5)</sup>).

El nivel de desarrollo tecnológico con el que se cuenta actualmente, para la fabricación de los superconductores HTSC  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7+x}$ , nos permite obtener superconductores con superficies de estructura cristalina no uniformes y con presencia de impurezas. Estas

imperfecciones en sus superficies son objeto de una lucha constante y pendiente para la mejora futura de estos superconductores.

## **2.6 APLICACIONES DE LOS MATERIALES SUPERCONDUCTORES EN LA INGENIERÍA CIVIL.**

Dentro de la disciplina de la Ingeniería Civil, en la actualidad, los superconductores han tenido mayor aceptación en el área de transporte. Éstos han sido empleados como componente en los rieles de trenes, conocidos ahora por el mundo entero como MagLev.

Éstos maglev son medios de transporte que, al contar con electroimanes distribuidos a lo largo de todo el riel que los sostiene, son capaces de hacer levitar cargas entre  $700 - 900 \text{ kg/m}^2$  a una altura de levitación de 15 cm despegado del suelo. Esta distancia de levitación fue lograda debido a la interacción de campos magnéticos provenientes de “electroimanes”, los cuales ascienden a aproximadamente 5 T .

Para la levitación de los Trenes MagLev, se han tomado en cuenta superconductores en estado mixto o de vórtices. La inexistencia de

fricción o contacto entre el riel y la máquina de transporte le permite alcanzar velocidades de hasta 500 km/h .

Esta sin duda es una aplicación que permite ahorrar tiempos de transporte para comunicar ciudades bien distanciadas. Existen estudios que se vienen realizando para optimizar la producción de electricidad y su transporte sin presenciar pérdida por resistencia eléctrica.

## **2.7 VIVIENDA DE ALBAÑILERÍA CONFINADA.**

Las viviendas de albañilería confinada están conformadas por elementos de mampostería, confinada por concreto armado en todo su perímetro y vaciado posteriormente (Norma E.070). Se ha tomado como referencia, para el presente trabajo, la distribución de una vivienda básica de albañilería confinada estudiada y publicada en el libro titulado “Diseño estructural de una vivienda económica de 160m<sup>2</sup> de área techada” del Ing. Genaro Delgado Contreras <sup>(3)</sup>.

En la Figura 11 se observan los planos de distribución de la vivienda básica considerada en el diseño publicado en el libro de la fuente ya mencionada. La vivienda consta de dos niveles; el primer nivel

cuenta con 1 sala, 1 hall, 1 cocina, 1 comedor y 1 baño; el segundo nivel cuenta 4 dormitorios y 1 baño.

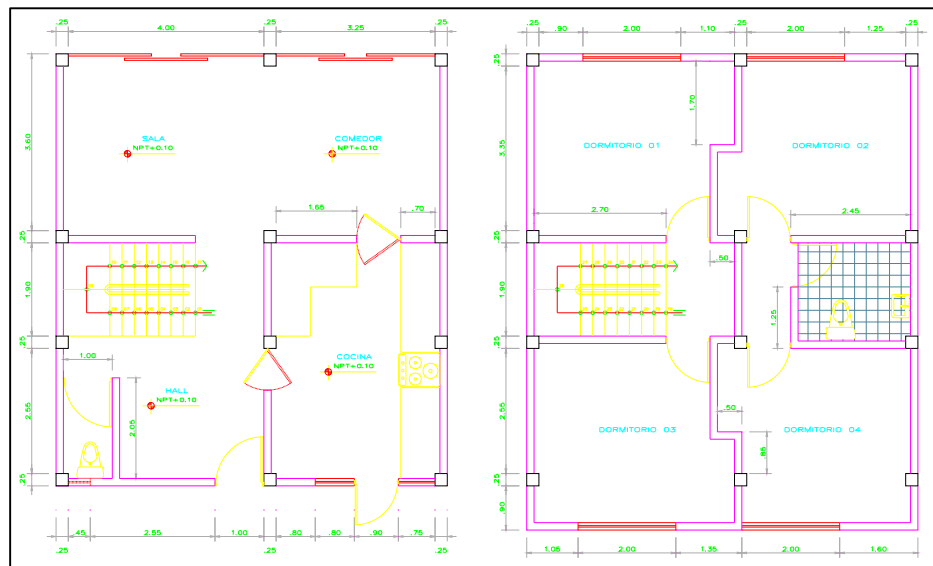


Figura 11. Distribución del primer y segundo nivel de vivienda básica

Fuente: Libro "Diseño estructural de una vivienda económica de 160 m<sup>2</sup>" <sup>(3)</sup>

Del presente estudio, que se ha tomado como referencia, se tomarán los resultados obtenidos del metrado de cargas de peso propio.

En la Tabla 04 se observa que el peso promedio para una vivienda básica de dos pisos y de 160 m<sup>2</sup> de área techada representa un total de 1 000,74 kg/m<sup>2</sup>.

Tabla 04: Peso total de Vivienda básica de 160 m<sup>2</sup>

<b>PESO TOTAL DE VIVIENDA BÁSICA (160 m<sup>2</sup>)</b>			
<b>Especificación</b>	<b>1er Piso (kg)</b>	<b>2do Piso (kg)</b>	<b>SUBTOTAL (kg)</b>
1. Losa aligerada	19 308,9	18 975,3	38 284,2
2. Ladrillo pastelero y acabados	7 110	8 000	15 110
3. Vigas soleras y dinteles	2 786,4	2 160	4 946,4
4. Vigas de amarre	3 513,6	3 513,6	7 027,2
5. Vigas chatas	1 080	2 160	3 240
6. Columnas	4 500	4 500	9 000
7. Sobrecargas	3 520	3 000	6 520
8. Vigas	900	900	1 800
9. Muros y alfeizar	30 991	43 200	74 191
			<b>160 118,8</b>

En 160 m<sup>2</sup>: **TOTAL (kg/m<sup>2</sup>) = 1 000,74**

Fuente: Libro "Diseño estructural de una vivienda económica de 160 m<sup>2</sup>", 2008 <sup>(3)</sup>

## **2.8 VIVIENDA LIVIANA EN UN FUTURO.**

### **2.8.1 VIVIENDA LIVIANA (SISTEMAS CONSTRUCTIVOS).**

Una vivienda liviana es aquella que permite obtener un lugar cómodo, seguro y duradero para poder habitar, pero cuya principal

característica sería aquella que presenta las mejores ventajas con respecto al menor peso muerto total de la vivienda.

La presente información se obtuvo de la Tesis Doctoral: “La sostenibilidad en la construcción industrializada, la construcción modular ligera aplicada a la vivienda” del Arq. Gerardo Wadel <sup>(12)</sup>.

Como ejemplo daremos “cuatro tipos de sistemas constructivos”. Los esquemas en planta y elevación de las construcciones en estudio se describen en el anexo A.

#### **2.8.1.1 Sistema Constructivo Convencional**

El sistema convencional es aquel que viene representado por las construcciones en las cuales se encuentran las técnicas constructivas más difundidas en la construcción de viviendas y/o edificios.

En ésta prácticamente no se incluye ningún elemento prefabricado, sino que su proceso se basa en la adición de materiales y componentes mediante un intenso trabajo manual y mecánico en obra.

De acuerdo con el proceso constructivo y a la consulta de diversos estudios y/o expedientes, de costo mediano o bajo, se ha determinado que las técnicas y los materiales más usuales son los mencionados en el anexo B. Los pesos más representativos se muestran en la Tabla 05.

Este estudio corresponde a una edificación con un tiempo de vida útil de 50 años. Los indicadores de peso y emisiones son próximos a los valores que pueden encontrarse en otros estudios de edificios construidos con sistemas constructivos convencionales (entre 1 500 y 2 000 kg/m<sup>2</sup> y 600 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>). Quizás algo menores, por tratarse de un edificio de planta racional y sin particiones interiores.

Se puede mencionar también que, con respecto al peso debido a modificaciones y mantenimiento en una edificación de sistema convencional, a lo largo de su vida útil y desde su construcción, se tiene una ocupación de áridos en 36% del peso, yeso en 18% del peso y agua en 15% del peso.

En total el estudio representa un peso total de 1 464,55 kg/m<sup>2</sup>.

Tabla 05: Principales elementos en peso del Sistema Constructivo convencional.

Subsistemas	kg/m2	%	kgCO2/m2	%
Cimientos y muros de contención	393,56	26,87%	40,07	6,67%
Espacios comunes	41,71	2,85%	30,62	5,10%
Estructuras	539,37	36,83%	139,95	23,31%
Cubierta	45,39	3,10%	25,6	4,26%
Fachada principal	75,62	5,16%	15,7	2,61%
Divisiones y elementos inter.	87,68	5,99%	14,26	2,37%
Acabados exteriores	10,46	0,71%	1,05	0,17%
Acabados interiores	159,73	10,91%	52,36	8,72%
Cerramientos int. y ext. Secundarios	36,48	2,49%	173,69	28,92%
Saneario y aguas grises*	27,88	1,90%	18,99	3,16%
Red de agua fría y caliente*	2,89	0,20%	8,78	1,46%
Electricidad e iluminación*	19,66	1,34%	25,24	4,20%
Gas/Combustible*	0,024	0,00%	0,36	0,06%
Climatización/Ventilación*	4,34	0,30%	21	3,50%
Audiovisuales*	0,77	0,05%	2,36	0,39%
Aparatos de elevación	0,71	0,05%	4,87	0,81%
Protección contra incendios*	0,042	0,00%	0,46	0,08%
Equipamiento fijo	18,23	1,24%	25,13	4,18%
Total	1 464,55	100,00%	600,49	100,00%

Fuente: Tesis Doctoral "La Sostenibilidad en la Construcción Industrializada y la Construcción Modular Ligera de Viviendas, 2009 <sup>(12)</sup>

### **2.8.1.2 Sistema Modular de Concreto**

El sistema modular de concreto armado representa una opción pesada de fabricación. En este caso, para tomar como consideraciones generales en peso y contaminación ambiental, se ha tomado como referencia un módulo de sección tubular de 4,5 m de ancho por 11 m de largo.

Los lados menores se cierran con carpinterías de aluminio y forman las caras de acceso delantero y terraza posterior respectivamente. Los módulos en estudio se apilan a una altura similar a las dimensiones consideradas para el sistema convencional presentado líneas arriba.

El conjunto se completa con escaleras, pasillos de acceso de acero y hormigón. Considerando los mismos niveles y áreas de construcción que el anterior, se puede obtener los siguientes valores para pesos e impacto ambiental.

Los alcances de interés que podemos observar para definir el peso del diseño de la futura vivienda liviana se analizaron de forma similar a la anterior.

Tabla 06: Principales elementos en peso de Sistema Modular de Concreto

<b>Subsistema</b>	<b>kg/m2</b>	<b>%</b>	<b>kgCO2/m2</b>	<b>%</b>
Cimientos y muros de contención	208,12	22,00%	24,23	3,94%
Espacios comunes	40,96	4,33%	28,47	4,63%
Cubierta	13,86	1,47%	48,22	7,83%
Fachadas laterales	2,48	0,26%	8,63	1,40%
Estructura módulo	536,06	56,67%	196,21	31,88%
Fachada acceso módulo	12,69	1,34%	56,2757	9,14%
Fachada terraza módulo	12,45	1,32%	78,987	12,83%
Revestimientos interiores módulo	28,32	2,99%	31,58	5,13%
Mobiliario módulo	18,09	1,91%	24,57	3,99%
Baño módulo	6,05	0,64%	14,92	2,42%
Terrazas módulo	10,46	1,11%	21,33	3,47%
Saneamiento y aguas grises*	27,88	2,95%	18,99	3,09%
Red agua fría y caliente*	2,89	0,31%	8,78	1,43%
Electricidad e iluminación*	19,66	2,08%	25,24	4,10%
Gas/Combustible*	0,02	0,00%	0,36	0,06%
Climatización/Ventilación*	4,34	0,46%	21,00	3,41%
Audiovisuales*	0,77	0,08%	2,36	0,38%
Aparatos de elevación	0,71	0,08%	4,87	0,79%
Protección contra incendios*	0,04	0,00%	0,46	0,07%
<b>Total</b>	<b>945,86</b>	<b>100,00%</b>	<b>615,48</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Tesis Doctoral "La Sostenibilidad en la Construcción Industrializada y la Construcción Modular Ligera de Viviendas", 2009 <sup>(12)</sup>

Bajo las mismas dimensiones constructivas dadas para el sistema convencional, según la Tabla 06, tenemos que el promedio en peso del sistema modular de concreto es de 945,86 kg/m<sup>2</sup>.

El peso es significativamente menor al anterior, lo habitual es que se encuentre entre 1 000 a 1 500 kg/m<sup>2</sup> y con 600 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>). Así mismo el índice de contaminación que genera este tipo de edificaciones es de aprox. 615,48 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

En los indicadores de peso, el hormigón armado representa el mayor porcentaje con el 56% y el árido con el 23%, el resto de los materiales representa el tercio restante.

### **2.8.1.3 Sistema modular de Madera**

El sistema modular de madera representa una solución constructiva de menor difusión global, aunque presente en varios países del mundo y de Europa. Existen diversos sistemas constructivos de módulos de madera, la mayoría de ellos basados en técnicas relativamente nuevas de formación de paneles con multilaminados, aglomerados de virutas, partículas o fibras y sándwich con núcleo de aislamiento térmico.

Para el presente estudio se ha considerado una construcción modular en madera con paneles laminados macizos de tres capas de madera de diferentes espesores y resistencias estructurales, que cierran las seis caras del prisma. Sus dimensiones, con anchos de 2,42 m - 2,95 m y largos de 3 m - 8 m, varían de acuerdo con la configuración del edificio.

Siguiendo las mismas dimensiones y similar configuración que los ejemplos anteriores, se obtuvieron los siguientes resultados para contaminación por emisiones de CO<sub>2</sub> y cantidades de peso que tiene un sistema modular de madera los cuales se muestran en la Tabla 07.

Debido a la utilización intensiva de madera, los indicadores de peso y emisiones son muy inferiores a los que pueden encontrarse en estudios construidos con sistemas constructivos convencionales.

La repercusión de capítulos de cimentaciones, hormigón armado y, en estructura modular de madera laminada, reúne alrededor del 60% del peso.

Tabla 07: Principales elementos en peso de Sistema Modular de Madera

Subsistema	kg/m2	%	kgCO2/m2	%
Replanteo y movimiento de tierras	0	0,00%	0	0,00%
Cimentaciones y muros de contención	162,21	32,01%	9,68	3,31%
Espacios comunes	39,52	7,80%	21,98	7,51%
Cubierta	15,72	3,10%	20,93	7,15%
Fachadas laterales	4,76	0,94%	7,63	2,61%
Estructura módulo	136,11	26,86%	32,44	11,08%
Fachada acceso módulo	13,19	2,60%	8,79	3,00%
Fachada terraza módulo	15,17	2,99%	10,95	3,74%
Revestimientos interiores módulo	27,27	5,38%	24,29	8,29%
Mobiliario módulo	21,77	4,30%	30,77	10,51%
Baño módulo	4,41	0,87%	40,03	13,67%
Terrazas módulo	10,38	2,05%	3,3	1,13%
Saneamiento y aguas grises*	27,88	5,50%	18,99	6,48%
Red agua fría y caliente*	2,89	0,57%	8,78	3,00%
Electricidad e iluminación*	19,66	3,88%	25,24	8,62%
Gas/Combustible*	0,02	0,00%	0,36	0,12%
Climatización/Ventilación*	4,34	0,86%	21,00	7,17%
Audiovisuales*	0,77	0,15%	2,36	0,81%
Aparatos de elevación	0,71	0,14%	4,87	1,66%
Protección contra incendios*	0,04	0,01%	0,46	0,16%
Total	506,83	100	292,85	100%

Fuente: Tesis Doctoral “La Sostenibilidad en la Construcción Industrializada y la Construcción Modular Ligera de Viviendas”, 2009 <sup>(12)</sup>

Las cimentaciones y muros de contención representan el 32.01% del peso total de esta estructura con sistema modular de madera. El peso total que representa el módulo de madera es de 506,83 kg/m<sup>2</sup>.

#### **2.8.1.4 Sistema modular de Acero**

El sistema modular en acero representa la solución constructiva más difundida del mercado. Su origen se remonta a la fabricación de contenedores de transporte y a la producción de módulos ligeros.

Para el presente análisis se está considerando un sistema modular de acero formado por espacios de 3,3 m de ancho y entre 7,5 m y 14,25 m de largo. Se prefabrican casi por entero en planta, recibiendo en obra tratamientos de juntas y acabados superficiales.

La estructura incluida en cada módulo puede recibir diferentes tipos de cerramientos y carpinterías. De acuerdo con las mismas dimensiones y similar configuración que las anteriores, se tiene los siguientes resultados de pesos y emisiones de CO<sub>2</sub> correspondientes para su construcción con proyección de vida útil de 50 años:

Tabla 08: Principales elementos en peso de Sistema Modular de Acero

Subsistema	kg/m2	%	kgCO2/m2	%
Replanteo y movimiento de tierras	0	0,00%	0	0,00%
Cimentaciones y muros de contención	162,21	39,70%	9,68	1,37%
Espacios comunes	33,62	8,23%	56,79	8,01%
Cubierta	4,06	0,99%	19,18	2,71%
Fachadas laterales	2,18	0,53%	8,05	1,14%
Estructura módulo	80,36	19,67%	332,72	46,95%
Fachada acceso módulo	7,81	1,91%	47,48	6,70%
Fachada terraza módulo	9,28	2,27%	67,55	9,53%
Revestimientos interiores módulo	20,43	5,00%	19,42	2,74%
Mobiliario módulo	21,77	5,33%	30,77	4,34%
Baño módulo	2,50	0,61%	9,04	1,28%
Terrazas módulo	8,03	1,97%	25,92	3,66%
Saneamiento y aguas grises*	27,88	6,82%	18,99	2,68%
Red agua fría y caliente*	2,89	0,71%	8,78	1,24%
Electricidad e iluminación*	19,66	4,81%	25,24	3,56%
Gas/Combustible*	0,024	0,01%	0,36	0,05%
Climatización/Ventilación*	4,34	1,06%	21	2,96%
Audiovisuales*	0,77	0,19%	2,36	0,33%
Aparatos de elevación	0,71	0,17%	4,87	0,69%
Protección contra incendios*	0,04	0,01%	0,46	0,06%
Total	408,57	100%	708,66	100

Fuente: Tesis Doctoral “La Sostenibilidad en la Construcción Industrializada y la Construcción Modular Ligera de Viviendas”, 2009 <sup>(12)</sup>

Como se puede apreciar en la Tabla 08, el promedio de peso total que presenta una construcción, en sistema modular de acero, es de aprox. 408,57 kg/m<sup>2</sup> y un índice de contaminación en emisiones de 708,66 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

El porcentaje promedio en peso que representan las cimentaciones y muros de contención son de un total promedio de 39.70%.

### **2.8.2 POLICARBONATO ALVEOLAR**

Es un material de estructura multipared con características extraordinarias en cuanto a resistencia mecánica, bajo peso y translucidez, el cual está ganando una creciente participación en el mercado de techos y muros divisorios. La versatilidad de este material lo hace adecuado para muchas aplicaciones en techos.

La distinta disposición en secciones, de fibras termoplásticas con que cuentan los policarbonatos alveolares, hacen que este material sea resistente a cargas de impacto (en techos o cubiertas), aislamiento térmico, transmisión de luz, etc.

En la Tabla 09, se observan algunas planchas de policarbonato alveolar disponibles en el mercado, donde su principal característica que presentan es su bajo peso por m<sup>2</sup>.

Tabla 09: Láminas estructuradas de Policarbonato Alveolar

ESTRUCTURA	ESPESOR (mm)	PESO (g/m <sup>2</sup> )	ANCHO (m)
	8	1 650	1,83
	10	1 750	2,10
	10	1 750	1,05 - 1,20
	16	2 500	2,10
	16	3 000	1.05 - 2,10
	20	3 000	1,20 - 2,10
	25	3 500	

Fuente: "Productos Polygal", 2010

Al considerar que las viviendas serán livianas, y éstas de poco peso, es posible optimizar un sistema modular de acero con la aplicación de techos de policarbonato alveolar.

En la Figura 12 observamos una de las aplicaciones del policarbonato alveolar utilizado como cobertura de techo en viviendas:



Figura 12. Aplicación de Policarbonato alveolar en techo de vivienda

Fuente: [www.abrilcerramientos.com.ar](http://www.abrilcerramientos.com.ar), 2017

Es importante aclarar que se deben considerar como óptimos, los materiales nuevos que se vienen desarrollando hasta la fecha, como lo es la aplicación del policarbonato alveolar.

Su aplicación generará futuras construcciones de vivienda aún más ligeras.

## 2.9 COMPARACIÓN DE VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA Y LOS 4 SISTEMAS CONSTRUCTIVOS.

Para realizar la comparación final de viviendas de albañilería confinada y los 4 sistemas constructivos presentados, se han tomado las cantidades finales obtenidas en las Tablas 04 hasta 08. Los resultados se presentan en la siguiente Tabla resumen:

Tabla 10: Comparación en peso total de los Sistemas Constructivos Modulares y sistema de albañilería confinada.

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE VIVIENDA			
Tipo de Sistema	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	N° Pisos	Por Piso (kg/m <sup>2</sup> )
1. Albañilería confinada	1 000,74	2,0	500,37
2. Sistema Constructivo Convencional	1 464,55	3,0	488,18
3. Sistema Constructivo de concreto	945,86	3,0	315,29
4. Sistema Constructivo de madera	506,83	3,0	168,94
5. Sistema Constructivo de acero	408,57	3,0	136,19

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 10, respecto al peso total de viviendas referidas a los sistemas constructivos y el de albañilería confinada, es el de albañilería confinada el que posee más cantidad en peso, le sigue el sistema convencional, modular de hormigón, de madera y finalmente el de acero.

Los sistemas modulares de madera y acero parecen ser los de mejores características para una “Vivienda Liviana”.

CONCLUSION: La investigación presentada mencionó al sistema de albañilería confinada y sistemas constructivos modulares de distintas clases. Esta redacción (según las fuentes bibliográficas) nos permite entender que el sistema más adecuado para una “Vivienda Liviana” es el Sistema modular en acero (Tesis: La Sostenibilidad en la Construcción Industrializada y la construcción modular ligera aplicada a la vivienda, Mgr. Gerardo Wadel, 2009 <sup>(12)</sup>), la cual es claramente más liviana que un sistema constructivo de albañilería confinada.

## **2.10 CÁLCULO PARA LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUPERCONDUCTORES YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub>.**

La repulsión (levitación) que aparece entre un imán permanente (neodimio) y un superconductor ( $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ) ha sido tradicionalmente interpretada como debida a la exclusión por parte del superconductor del campo magnético de su interior conociéndose a este fenómeno con el nombre de “Efecto Meissner”. Esta fuerza ha sido empleada como fuerza contra-gravitatoria en el fenómeno de la levitación.

Por lo tanto, satisfaciendo las ecuaciones de Maxwell y London, la atracción y la estabilidad pueden surgir simplemente de la repulsión del campo magnético, pero con la condición de que el superconductor tenga un tamaño finito y que presente un estado Meissner puro ( $H < H_{c1}$ ), tal cual como se plantea en el uso de círculos planos superconductores en los soportes (columnas) y puntos de apoyo de la vivienda liviana levitable.

### **2.10.1 DEMOSTRACIÓN.**

En presencia del Estado Meissner, para los análisis que seguirán, asumimos que tanto el campo magnético  $H$ , como la densidad de flujo magnética  $B$  son iguales a cero dentro del superconductor. En cualquier caso, se asume que la media de los momentos

magnéticos de los núcleos es nula. Esto significa que la magnetización debida a la orientación del spin de los núcleos es igual a cero. Cuando se le aplica un campo magnético al superconductor, se genera una corriente superficial en la piel del superconductor.

Según las ecuaciones de London, esta corriente está confinada a una distancia de la superficie denominada profundidad de penetración  $\lambda(T)$ . Los superconductores tipo II como el YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub>, tienen los valores más elevados de la profundidad de penetración, alcanzando valores típicos de miles de angstrom. Por lo tanto, si estamos tratando con elementos macroscópicos, podemos aproximar esa corriente como una corriente localizada de valor infinitesimal.

$$\vec{J} = \vec{J}_S(x, y)\delta(z) \quad (1)$$

Formada por un campo vectorial tangente a la superficie  $\vec{J}_S(x, y)$  y la función delta de Dirac  $\delta(z)$  según la normal a la superficie del superconductor ( $z$ ). Esta corriente hará que el campo magnético

total H sea discontinuo cuando pasemos del aire o vacío ( $z>0$ ) al superconductor ( $z<0$ ).

La ecuación de Maxwell:

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (\text{II})$$

Relaciona el campo magnético H con la densidad de corriente “j” y el desplazamiento eléctrico D, si asumimos que estamos trabajando en el límite del efecto Meissner puro, nos quedaría:

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{j} \quad (\text{III})$$

El campo magnético total H se descompone en el campo magnético aplicado externamente y el campo magnético generado por las corrientes de superconducción:

$$\vec{H} = \vec{H}^{ap} + \vec{H}^{sc} \quad (\text{IV})$$

Además, es posible descomponer también el campo magnético total H en dos componentes vectoriales, una perpendicular a la superficie local del superconductor y otra componente vectorial tangente a la misma superficie:

$$\vec{H} = \vec{H}_{\perp} + \vec{H}_{\parallel} \quad (V)$$

Dado todo esto, se podrá descomponer también:

$$\vec{H}^{ap} = \vec{H}_{\perp}^{ap} + \vec{H}_{\parallel}^{ap} \quad (VI)$$

$$\vec{H}^{sc} = \vec{H}_{\perp}^{sc} + \vec{H}_{\parallel}^{sc} \quad (VII)$$

La presencia de la densidad de corriente superficial existente de superconducción hace discontinuo el campo magnético en z, de manera que:

$$H(z>0) \neq 0 \text{ mientras que } H(z<0) = 0$$

Como el  $H^{ap}$  es un campo vectorial continuo, obliga y hace que el  $H^{sc}$  sea discontinuo. En el límite infinitesimal, en relación con la superficie del superconductor, solo tendremos componentes tangentes a esta superficie; así se cumple la condición de contorno.

En la Figura 13, podemos observar que a nivel infinitesimal y estando cerca al superconductor ( $Z^+ \rightarrow 0$ ), solo se tienen líneas de

campo magnético tangentes o paralelas a la superficie del superconductor.

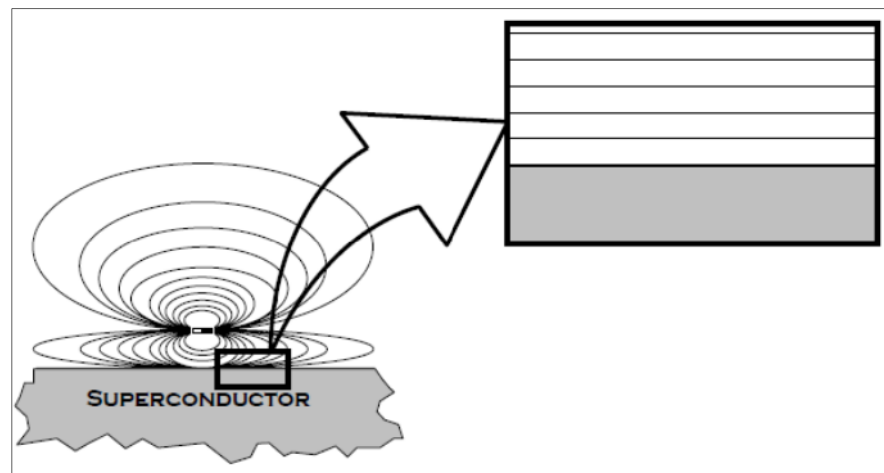


Figura 13. Líneas de campo cerca del superconductor ajustadas al contorno.

Fuente: Tesis Doctoral "Sistematización del diseño de dispositivos de levitación superconductora por efecto meissner", 2008 <sup>(4)</sup>

Debido al comportamiento que presenta el campo, podemos únicamente quedarnos con la componente tangente, entonces podemos obtener:

$$\bar{H}_{\parallel}^{ap} = \text{continua en } z$$

$$\bar{H}_{\parallel}^{sc} = \text{discontinua en } z$$

Luego:

$$\Rightarrow \bar{H}_{//}^{sc}(z = 0^-) = -\bar{H}_{//}^{ap}(z = 0^-) \quad (VIII)$$

$$\Rightarrow \bar{H}_{//}^{sc}(z = 0^+) = \bar{H}_{//}^{ap}(z = 0^+) \quad (IX)$$

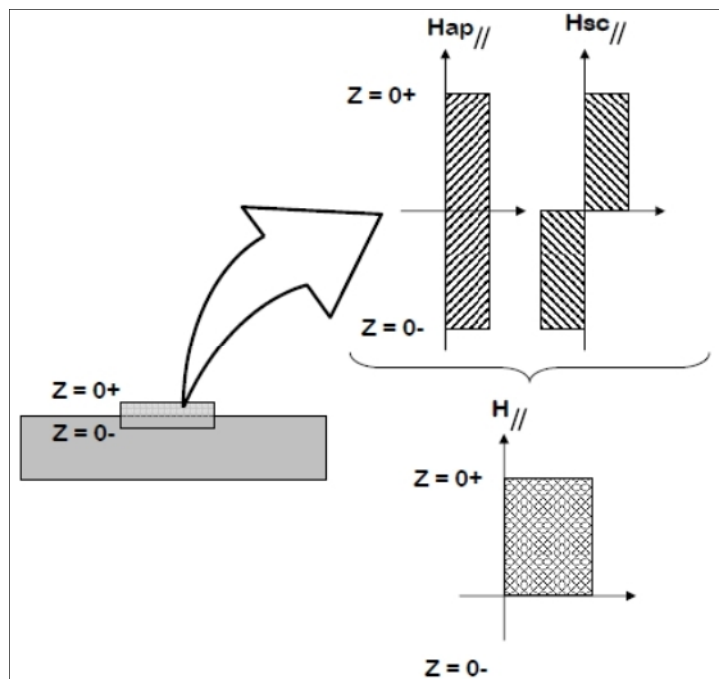


Figura 14. Componentes del campo magnético paralelos a la superficie del superconductor

Fuente: Tesis Doctoral "Sistematización del diseño de dispositivos de levitación superconductor por efecto meissner", 2008 <sup>(4)</sup>

En la Figura 14 se observa el resultado total de los campos magnéticos, el cual es representado por los campos paralelos a la superficie del superconductor ( $\bar{H}_{//}$ ). Entonces, de acuerdo con el

cálculo de diferenciales, tomaremos un volumen diferencial en las cercanías de la superficie del superconductor, y resolveremos la integral volumétrica de la correspondiente ecuación:

$$\nabla \cdot (\nabla \times \vec{H}) \cdot dV = \nabla \cdot (\vec{j}) \cdot dV \quad (X)$$

Utilizando el teorema de la divergencia en un paralelepípedo infinitésimo de volumen  $V$ , de sección cuadrada, con una de sus caras por encima del área superconductora y la otra paralela justo por debajo (según la Figura 15).

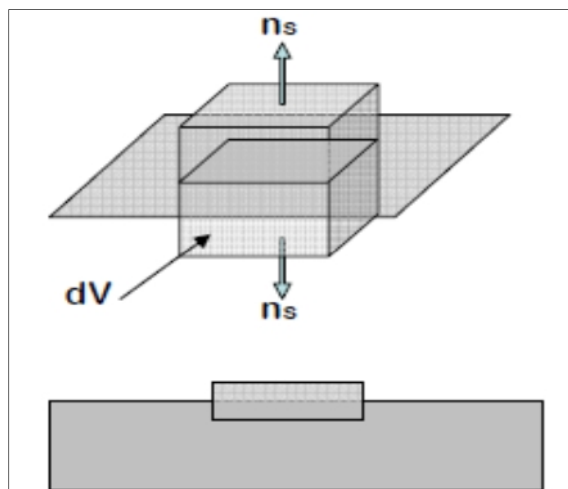


Figura 15. Paralelepípedo de  $dV$  con su centro en la superficie del superconductor.

Fuente: Tesis Doctoral "Sistematización del diseño de dispositivos de levitación superconductora por efecto meissner", 2008 <sup>(4)</sup>

Entonces, haciendo que  $dZ = 0$ , podemos definir:

$$\int_S (\vec{n}_s \times \vec{H}) \cdot d\vec{S} = \int_S (\vec{n}_s \times \vec{H}_{//}) \cdot d\vec{S} \quad (\text{XI})$$

Donde “S” representa a la superficie que define el paralelepípedo y  $\vec{n}_s$  es el vector normal en dirección al exterior del diferencial de volumen. Al aplicar las condiciones de la ecuación de Maxwell (ecuación III), podemos reducir la expresión teniendo:

$$\int_S \vec{J}_s \cdot d\vec{S} = \int_S (\vec{n}_s \times \vec{H}) \cdot d\vec{S} \quad (\text{XII})$$

Conociendo que bajo la superficie superconductora existe un campo magnético equivalente a  $\vec{H} = 0$  obtenemos lo siguiente:

$$\int_S \vec{J}_s \cdot d\vec{S} = \int_S (\vec{n}_s \times \vec{H}) \cdot d\vec{S} = \int_S (\vec{n}_s \times \vec{H}_{//}) \cdot d\vec{S}$$

En esta expresión se evalúa  $\vec{H}_{//}$  solamente en el límite superior de la correspondiente superficie superconductora ( $z = 0^+$ ) ya que en el límite inferior  $\vec{H} = \vec{0}$ . Debido a que este resultado es independiente del paralelepípedo escogido, los integrados para ambos lados de la ecuación, deberán ser iguales, teniendo:

$$\vec{J}_s = \vec{n}_s \times \vec{H}_{\parallel} \quad , \quad (z = 0^+) \quad (XIII)$$

Entonces, conociendo la ecuación IX, reemplazamos y escribimos:

$$\vec{J}_s = \vec{n}_s \times \vec{H}_{\parallel} = \vec{n}_s \times (\vec{H}_{\parallel}^{sc} + \vec{H}_{\parallel}^{ap}) = 2\vec{n}_s \times \vec{H}_{\parallel}^{ap}$$

$$\vec{J}_s = 2\vec{n}_s \times \vec{H}_{\parallel}^{ap} \quad (XIV)$$

La fuerza externa por unidad de superficie que experimenta un superconductor puede ser evaluada utilizando la ley de Lorentz:

$$\frac{d\vec{F}}{dS} = \vec{J}_s \times \vec{B}^{ap}$$

La ecuación constitutiva de la densidad de flujo magnético en el aire es de  $\vec{B}^{ap} = \mu_0 \vec{H}^{ap}$ , reemplazando XIV, en el resultado anterior, y esta última expresión, tendremos:

$$\frac{d\vec{F}}{dS} = 2\mu_0 (\vec{n}_s \times \vec{H}_{\parallel}^{ap}) \times \vec{H}_{\parallel}^{ap} \quad \dots \quad (XV)$$

Donde:

$\vec{H}_{\parallel}^{ap}$ : Campo magnético aplicado,

dS : Diferencial de superficie superconductora

El cálculo de la presión, tensiones superficiales o fuerza por unidad de superficie a las que se encuentra sometido un elemento superconductor bajo la aplicación de un campo magnético (imán) puede ser calculada resolviendo la ecuación final, integrando para la superficie superconductora que se desea.

Esta expresión y análisis fueron experimentadas y desarrolladas en la Tesis Doctoral “Sistematización del diseño de dispositivos de Levitación Superconductora por efecto Meissner” del Mgr. José Alberto Díaz García <sup>(4)</sup>. La ecuación XV nos ayuda a concluir que cuando se incrementa el área de superconductividad, también se incrementa la fuerza de levitación; así también, cuando se incrementa el campo magnético aplicado, se incrementa la fuerza de levitación.

### **2.10.2 EXPERIMENTACIÓN.**

En la Tesis doctoral: “Fundamentos de ingeniería de mecanismos compuestos por imanes y superconductores en Estado Meissner” del Dr. Efrén Díez Jiménez <sup>(5)</sup>, se han experimentado con

superconductor YBCO e imanes de neodimio. Para el cálculo de la fuerza de levitación, se ha dispuesto un equipo de laboratorio (ver Figura 16) que constaba de:

- (1) Superconductor YBCO
- (2) Imanes de  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  (neodimio)
- (3) Vaso de poliestireno compacto
- (4) Barra de PVC en voladizo
- (5) Galgas extensométricas
- (6) Equipo electrónico de registro
- (7) Mesa de desplazamiento 3D

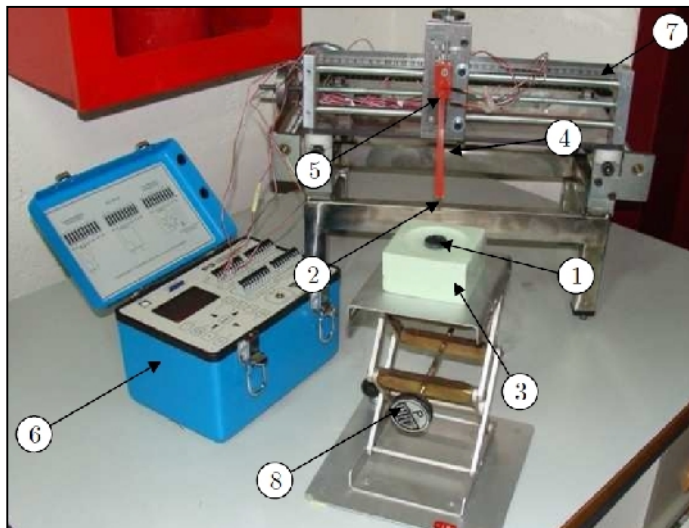


Figura 16: Dispositivo experimental para medida de fuerzas de levitación

Fuente: Tesis doctoral: Fundamentos de ingeniería de mecanismos compuestos por imanes y superconductores en Estado Meissner", Dr. Efrén Díez Jiménez <sup>(5)</sup>

Parte de los resultados de las mediciones realizadas en dicha investigación fueron los que se detallan en la Figura 17:

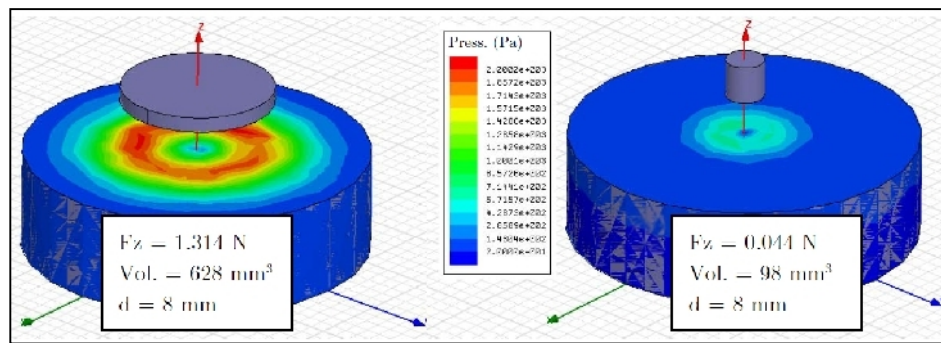


Figura 17: Distribución de cargas para 2 imanes a una misma distancia Z

Fuente: Tesis doctoral: Fundamentos de ingeniería de mecanismos compuestos por imanes y superconductores en Estado Meissner”, Dr. Efrén Díez Jiménez <sup>(5)</sup>

En la Figura 17, los valores para las distribuciones de carga en distintas ubicaciones, sobre el superconductor, varían entre 200 Kg/m<sup>2</sup> a 0,2 Kg/m<sup>2</sup>. Se observa que, al moverse el imán en dirección X o Y dentro del contorno del área superconductora, y acercándose al mismo, las distribuciones de carga comienzan a descender.

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 METODOLOGÍA APLICADA

El desarrollo de la parte experimental de la presente investigación se llevó a cabo de la siguiente manera:

- Se realizó una revisión bibliográfica de los conceptos involucrados en el presente estudio con el fin de establecer los parámetros bajo los cuales se realizará este trabajo.
- Se definió que los ensayos a realizar son los siguientes: Efecto Meissner, cargas en levitación, carga equivalente mayor a 75 kg/m<sup>2</sup> y alturas de levitación
- El superconductor YBCO utilizado se adquirió mediante una compra en “CAN - SUPERCONDUCTORS” (República Checa)
- Los imanes de Neodimio utilizados se adquirieron en “Jholu Magnet” (Lima - Perú)

- Para la conservación y utilización del nitrógeno líquido, necesaria para todos los ensayos, se utilizó un termo criogénico de 2 kg, facilitado por el Fongal - Tacna
- Se realizaron los ensayos estipulados, con el fin de obtener temperaturas de ensayo y alturas de levitación para diferentes pesos y campos magnéticos.
- Se analizaron los datos obtenidos para los casos. Con los datos obtenidos se elaboró gráficas de “peso vs altura de levitación”, con la cual se establecieron conclusiones referidas a las viviendas de albañilería confinada y a las futuras viviendas livianas.

### **3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.**

Este trabajo está contenido dentro del Diseño de Campo Descriptivo - Experimental, dado que se observan los fenómenos, hechos o situaciones en su ambiente natural para después analizarlos.

Esta investigación tiene dos etapas, la primera es descriptiva, ya que ésta nos permitirá entender las características, óptimas en peso, de las viviendas livianas levitables, dentro de las cuales se ha

citado una estimación para el peso total de una vivienda básica de albañilería y el de una vivienda de sistema modular convencional, de concreto, de madera y de acero. Los pesos, finalmente estimados, se describieron en la Tabla 10.

El segundo momento o etapa de la presente investigación es de carácter experimental, donde se realiza el estudio del Efecto Meissner presente en el estado superconductor del YBCO. Aquí también, se evaluarán los fenómenos y caracteres relacionados a la levitación cuántica, las cuales se observarán por experimentación para reconocer las propiedades físicas que intervienen y así responder a los objetivos planteados.

### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.**

**Población:** Se considera como población a los superconductores YBCO elaborados en los laboratorios de la Empresa “CAN SUPERCONDUCTORS”. Así mismo se considera también, como población a los Imanes adquiridos de “Tiendas Jholu Magnet”. Estos imanes representarán al peso de las viviendas tanto en albañilería confinada, como en viviendas ligeras (a escala), las cuales se hará levitar.

**Muestra:** El muestreo representativo, para la parte experimental que se considera en la investigación, es de carácter probabilístico, cuyo muestreo es al “Azar Simple”, debido a que todos los elementos tienen la misma probabilidad de ser seleccionados.

#### **3.4 TÉCNICAS PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.**

En el presente trabajo se estimaron, con ayuda de fuentes bibliográficas ya mencionadas anteriormente, los pesos de los distintos tipos de sistemas constructivos y de albañilería confinada (ver Tabla 10).

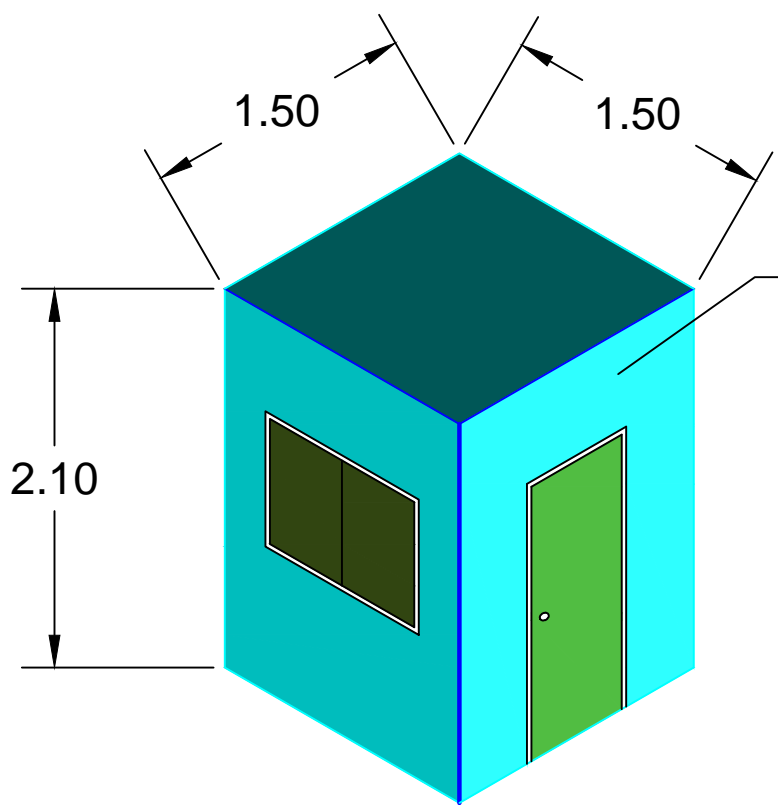
A continuación, con respecto a la parte experimental, se mencionarán las propiedades y componentes necesarios para evaluar la levitación cuántica, analizando algunas de sus propiedades ya mencionadas en el marco teórico. Así mismo se evaluará si la levitación cuántica es capaz de hacer levitar un peso igual o mayor a  $75 \text{ kg/m}^2$ . Las condiciones locales que se tomaran en cuenta, para la experimentación, son las siguientes:

- Lugar: Ciudad de Tacna, Distrito G.A.L. Laboratorio del Centro de Salud San Francisco.
- Personal: 02 .
- Medición: Milímetros (altura de levitación).
- Otras medidas: Kelvin (Temperatura crítica), gramos (peso de imanes).
- Medida constante: Campo magnético (en G o T).

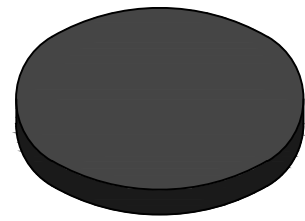
#### **3.4.1 PROPUESTA DE ENSAYO DE LEVITACIÓN EN VIVIENDA A ESCALA.**

Una vivienda levitable liviana, es una vivienda que a futuro podrá ser usada como alternativa constructiva. Ésta también será óptima y adecuada para poder usarse en conjunto con los superconductores YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub>.

Para un futuro ensayo de levitación en viviendas livianas, se propone un prototipo de un “Sistema Modular de Acero”, el cual deberá disponer de materiales livianos alternativos como los de policarbonato alveolar. El modelo a escala que se presenta en el Plano 01, se propone para un futuro ensayo con superconductores en su base:

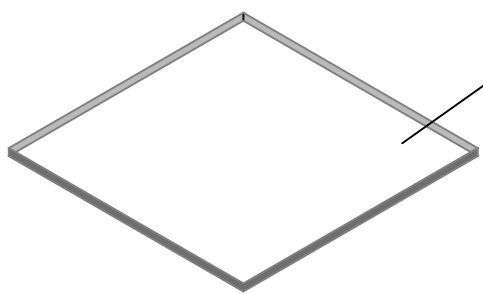


Módulo de vivienda liviana fabricada en policarbonato alveolar de 8mm. termo-acustico con vanos y CM = 75 Kg/m<sup>2</sup>

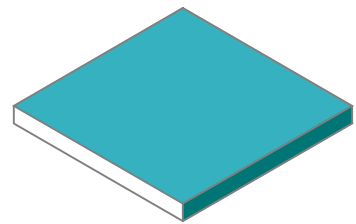


Superconductores YBCO (YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub>)

- Diametro : 50 mm.
- Altura : 12 mm.
- Fuerza Levitación : 200 N

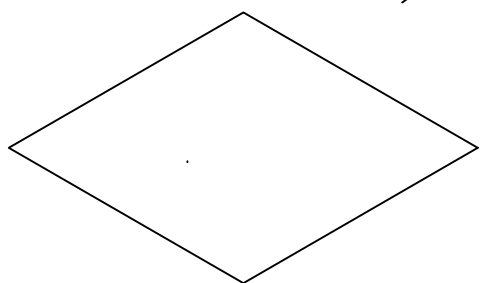


Marco de Aluminio de perfil L, con pernos de 1.5" y remaches para fijación al módulo.

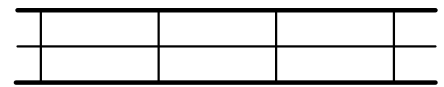


Imanes de Neodímio:

- Largo : 75 mm.
- Ancho : 75 mm.
- Altura : 10 mm.

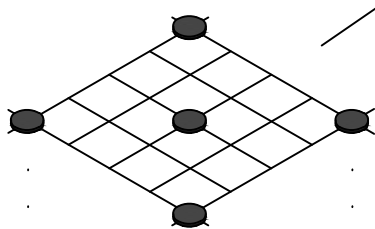


Trazo para adosamiento de HTSC YBCO sobre pantalla de acrílico de 16mm. de policarbonato alveolar.

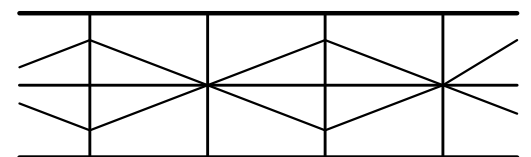


Plancha de Policarbonato Alveolar Triple-Clear de 8mm.

- Peso: 1.65 Kg/m<sup>2</sup>
- Utilidad: Muros y techo.
- Carga de Impacto: 150Kg/m<sup>2</sup>

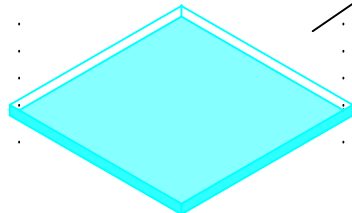


Pastillas superconductoras inmersas en refrigerante de nitrógeno líquido.



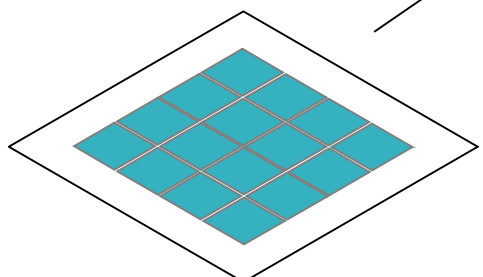
Plancha de Policarbonato Alveolar Thermogal de 20mm.

- Peso: 3.00 Kg/m<sup>2</sup>
- Utilidad: Piso de módulo.
- Carga de Impacto: 250Kg/m<sup>2</sup>



Bandeja hermética con nitrógeno líquido para inmersión de las pastillas YBCO adosadas a la plataforma de acrílico superior

Campo magnético externo con imanes de neodímio adosados a la plataforma de piso.



PLANO		<b>MOD. DE VIV. LIVIANA LEVITABLE</b>		LAMINA N°:
ELABORADO		REVISADO		01
Bach. José Luis Ramos A.				
PROCESO Y DIBUJO	ESCALA	FECHA		
	Sin Escala	Junio - 2016		

El presente módulo de vivienda liviana presentado forma parte de la investigación, que viene desarrollando actualmente, el Arq. Freddy Niebles, en su trabajo titulado “Habitación Arquitectónica flotante a través de la levitación cuántica y superconductores”, 2016.

#### **3.4.2 EQUIPO PARA ENSAYO FÍSICO-CUÁNTICO DE LA LEVITACIÓN.**

En las siguientes evaluaciones se podrá entender mejor el comportamiento de los superconductores YBCO, así como su evaluación con respecto a lo descrito en la fórmula XV de la relación de la fuerza de levitación y el área superconductora.

Para el desarrollo de los ensayos se utilizó el siguiente equipo:

- Vernier o Calibrador: Para la medición de los espesores de láminas de vidrio.
- Láminas de vidrio para medición de alturas: De espesores desde 2 mm hasta 8 mm .
- Pinzas: Será de un material plástico, resistente a bajas temperaturas de contacto.

- Balanza “Electronic”: Carga máxima: 5 kg .
- Guantes de protección: Serán usados para la manipulación del nitrógeno líquido.
- Lentes de Protección: De color transparente.
- Bandeja criogénica o de tecnoport.
- Nitrógeno líquido: Fongal Tacna, a una temperatura de 77 k (-196°C).
- Termo criogénico contenedor: Capacidad de 2 kg, modelo “XC Milenium 2”.
- Termómetro con Resistencia de Platino AM1760/1762 AccuMac, Rango “-200 °C a 300 °C”, precisión 0,5 °C .
- Material superconductor YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub>: Disco en diámetro de 25 mm y T<sub>c</sub> = 92k (-181 °C). De Tienda “Can-Superconductors – Rep. Checa”.

- Imán de Neodimio: Discos en diámetros de 15 mm y 25 mm .  
Tiendas “Jholu Magnet - Lima”. Campo magnético de 0.4 T  
(4000 Gauss).
- Imán de Neodímio: 04 Cubos de 30 mm x 30 mm x 15 mm .  
Tiendas “Jholu Magnet - Lima”. Campo magnético de 0.8 T  
(8000 Gauss).



Figura 18: Disco (25 mm diámetro) de imán de neodimio utilizado en ensayo.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 19: Disco Superconductor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  y/o YBCO utilizado en el ensayo del Efecto Meissner.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 20 Termo Criogénico de 2 kg + Nitrógeno Líquido (a  $-196\text{ }^\circ\text{C}$ ).

Fuente: Elaboración propia.



Figura 21: Cubos (30 mm x 30 mm x 15 mm) de imán de neodimio utilizado en ensayo.

Fuente: Elaboración propia.

### **3.4.3 ENSAYO N°01: EFECTO MEISSNER.**

Con ayuda de un imán de neodimio y un superconductor, se hará el reconocimiento visual del fenómeno u “Efecto Meissner”. Para el desarrollo se usaron un disco de material superconductor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  y unas partículas de imán de neodimio para hacerlas levitar.

Una vez enfriado el disco superconductor, se coloca el imán de Neodimio por encima de la superficie superconductora.



Figura 22: Aplicación de Nitrógeno Líquido (a  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) al disco superconductor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  para enfriarlo hasta su  $T_c$ .

Fuente: Elaboración propia.



Figura 23: Colocación de Imán de Neodimio encima de superconductor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  enfriado a  $T_c$ .

Fuente: Elaboración propia.

El fenómeno de la Levitación Cuántica es inmediato, de esta forma se logra observar el fenómeno del Efecto Meissner. Los materiales y resultados obtenidos son los siguientes:

- Superconductor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  (disco de 25 mm de diámetro).
- Peso de imán de neodimio: 3 g .
- Termo Criogénico de 2 kg + Nitrógeno Líquido (a  $-196\text{ }^\circ\text{C}$ ).
- Campo magnético del imán: 0,4 T (4000 Gauss).
- Temperatura de ensayo:  $-188\text{ }^\circ\text{C}$  .
- Altura de levitación: 7 mm .



Figura 24: Efecto Meissner entre Imán de Neodimio encima de superconductor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  enfriado a  $T_c$ .

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.4.4 ENSAYO N°02: SUMA DE PESOS EN LA LEVITACIÓN

Determinar el comportamiento del superconductor en presencia de dos campos magnéticos aplicados al mismo tiempo, y comentarios al respecto de la altura de levitación. Este ensayo nos ayuda a determinar que la levitación es permanente en presencia de cargas y descargas del peso levitado.

Para esto se colocó cuidadosamente un imán de neodimio encima de uno ya levitado.

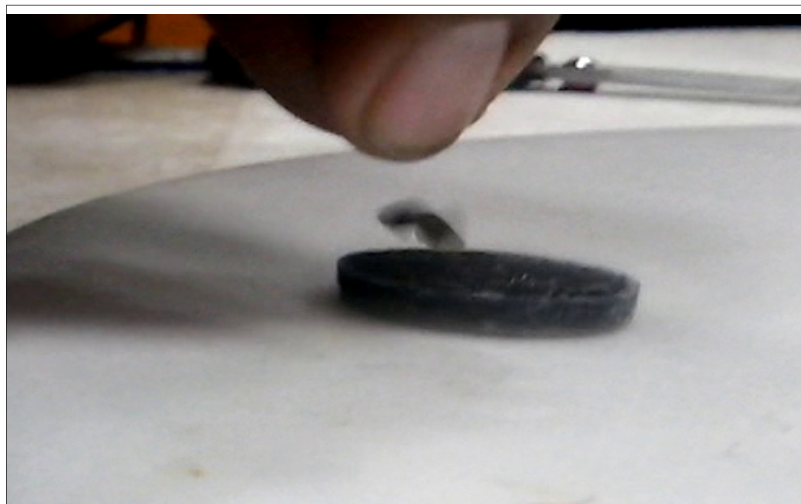


Figura 25: Aplicación de otro Imán de Neodimio encima de uno ya colocado anteriormente.

Fuente: Elaboración propia.

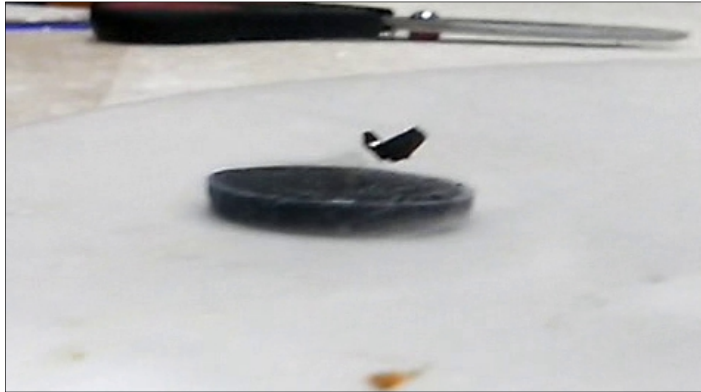


Figura 26: Efecto Meissner de la suma de 2 imanes de Neodimio encima de superconductor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  enfriado a  $T_c$ .

Fuente: Elaboración propia.

En el desarrollo del ensayo, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Superconductor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  (disco de 25 mm de diámetro).
- Peso de imán de neodimio: 7 g .
- Termo Criogénico de 2 kg + Nitrógeno Líquido (a  $-196\text{ }^\circ\text{C}$ ).
- Campo magnético del imán: 0,4 T (4000 Gauss).
- Temperatura de ensayo:  $-190\text{ }^\circ\text{C}$  .
- Altura de levitación: 5 mm .

#### **3.4.5 ENSAYO N°03: LEVITACIÓN DE UNA CARGA EQUIVALENTE O MAYOR A $75\text{ kg/m}^2$ .**

De carga directa sobre campo diamagnético del material superconductor: Con ayuda de imanes de neodimio de 15 mm y 25 mm de diámetro, los cuales levitarán en presencia de un Superconductor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ , se buscará llegar a los  $75 \text{ kg/m}^2$  equivalente propuesto. En la Figura 27 se observa el peso del imán de neodimio de 25 mm de diámetro.

El procedimiento para lograr su levitación es similar a los anteriormente descritos.



Figura 27: Peso de imán de neodimio de 25 mm de diámetro.

Fuente: Elaboración propia.

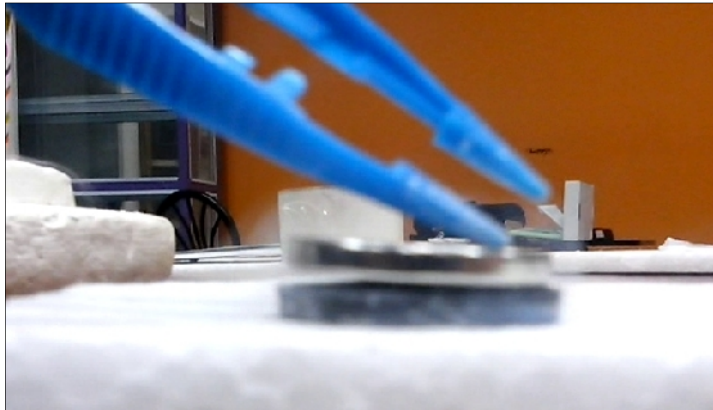


Figura 28: Efecto Meissner actuando en imán de Neodimio de un peso de 41 g .

Fuente: Elaboración propia.

En el desarrollo del ensayo, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Superconductor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  (disco de 25 mm de diámetro).
- Termo Criogénico de 2 kg + Nitrógeno Líquido (a  $-196\text{ }^\circ\text{C}$ ).
- Campo magnético: 0,4 T (4000 G).
- Temperatura de ensayo:  $-189\text{ }^\circ\text{C}$  y  $-190\text{ }^\circ\text{C}$  .
- Alturas de levitación: 2 mm y 3 mm .
- Peso de imán de neodimio: 41 g y 34 g .

El superconductor YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> empleado es de 0,000491 m<sup>2</sup> de área (según especificaciones técnicas de la compra realizada).

Entonces:

$$Carga\ 1 = \frac{M}{A} = \frac{0.034\ kg}{0,000491\ m^2} = 69,26\ kg/m^2$$

$$Carga\ 2 = \frac{M}{A} = \frac{0.041\ kg}{0,000491\ m^2} = 83,52\ kg/m^2$$

El imán de neodimio de 25 mm de diámetro pudo levitar a 2 mm de altura y con una relación de 83,52 kg/m<sup>2</sup>.

Durante el desarrollo de los ensayos 01, 02 y 03 de levitación se han medido las distancias y/o alturas de levitación las cuales son resumidas en la Tabla 10:

Tabla 11: Alturas de Levitación respecto a los pesos (4000 G)

Número de Ensayo	Altura de Levitación (mm)	Peso levantado (g)
1	7	4
2	5	9
3	3	34
4	2	41

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.6 ENSAYO N°04: ALTURAS DE LEVITACIÓN.

Evaluación de alturas de levitación en presencia de un campo magnético de 0,8 T. Se realizará una comparación entre las alturas de levitación obtenidas para un campo magnético de 0,4 T (de los ensayos anteriores) y las alturas de levitación obtenidas en ensayos utilizando cubos de imanes de neodimio de 30 mm x 30 mm x 15mm con 0,8 T de campo magnético.



Figura 29. Maquetas para ensayos de levitación (6 g, 11 g, 19 g y 24 g).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 29 se muestran maquetas pequeñas de pesos equivalentes de 6 g, 11 g, 19 g, 24 g, las cuales sumadas al peso

del superconductor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  de diámetro de 25 mm (7 g), serán utilizadas para calcular nuevas alturas de levitación.



Figura 30. Maqueta de levitación 6 g + superconductor 7 g .

Fuente: Elaboración propia.

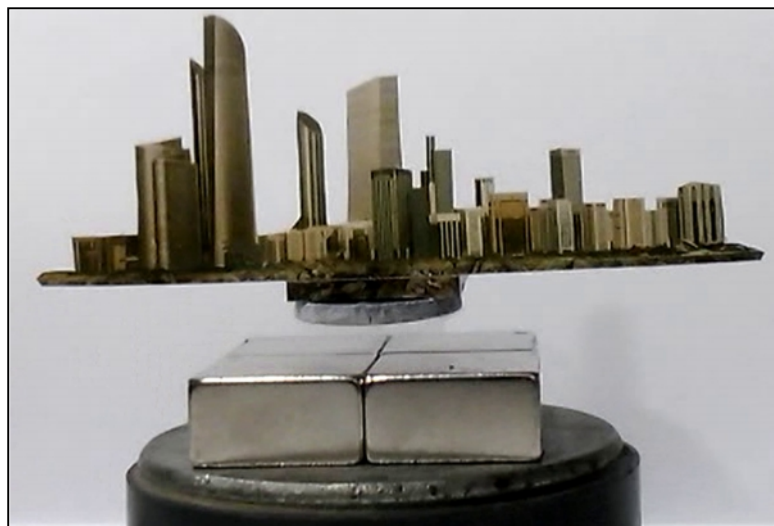


Figura 31. Maqueta de levitación 11 g + superconductor 7 g .

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 12: Alturas de Levitación respecto a los pesos (8000 G).

Número de Ensayo	Altura de Levitación (mm)	Peso levantado (g)	Temperatura de ensayo (°C)
1	11	13	-191
2	10	18	-187
3	8	26	-188
4	7	31	-191

Fuente: Elaboración propia.

Se ha realizado un ajuste de la dispersión de datos obtenidos en las tablas 10 y 11, para los cuales se consideró la “función potencial” de la forma  $Y = A X^B$ .

Se obtuvieron 2 cifras para amplificación de la escala reducida a escala real. El factor de amplificación para llegar a 1 m<sup>2</sup> de superconductor es de 2037 veces más. El factor de amplificación para llegar a 12 000 G de campo magnético es de 2,21 veces más.

El ajuste de las dispersiones y cálculos de las relaciones que existe entre campo magnético y altura de levitación se describen en la siguiente hoja de cálculo:

### ESTIMACIÓN DE LA "ALTURA DE LEVITACIÓN"

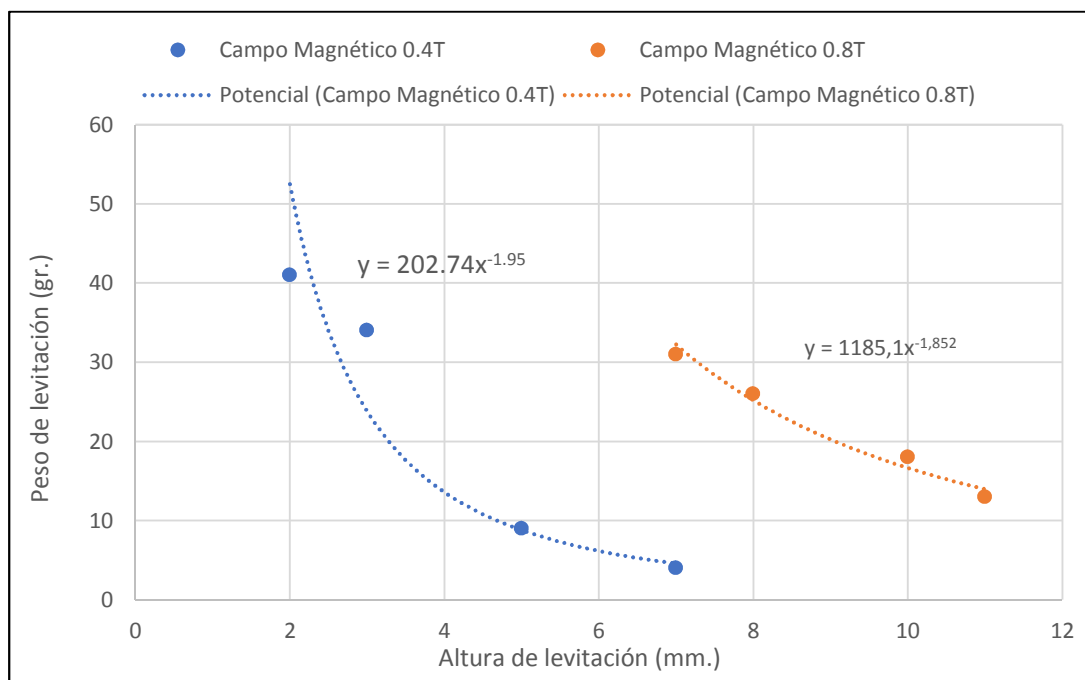
H = 0.4T (4000 G)

Altura de Levitación (mm.)	Peso levantado (gr.)
7	4
5	9
3	34
2	41

H = 0.8T (8000 G)

Altura de Levitación (mm.)	Peso levantado (gr.)
11	13
10	18
8	26
7	31

Gráfico 01: Pesos de levitación vs Alturas de levitación



Fuente : Elaboración Propia

Area de superconductor Si = 0,000491 Sf = 1/Si= 2036,66

X : Altura de levitación  
 Y : Peso total de Levitación  
 A : Constante de ecuación  
 B : Constante de ecuación

Hi: Campo magnético inicial  
 Hf = 1,2 T

$$Y = A X^B \longrightarrow X = \sqrt[B]{Y/A}$$

	Y (gr.)	A	B	X (mm.)	Hi (T)	FH = X2/X1	Xf = X*Sf (mm.)
1	75000	202,74	-1,95	0,05	0,4	-	98,16
2	75000	1185,1	-1,852	0,11	0,8	2,20983	216,92

Donde : FH : Factor por incremento de campo magnético  
 FH = 2,210  
 Xf : Altura de levitación en "1 m2" de superconductor

Por lo tanto, la altura de levitación estimada para "1 m2" de superconductor, un peso de 75 Kg aplicado, en un campo magnético de 1.2 T será de:

$$\text{Altura} = 0,11 \times 2,210 \times 2036,66$$

Altura de Levitación = 479 mm.

Los imanes de neodimio representan al peso de las viviendas que levitarán. Los datos de la escala reducida considerados para el posterior análisis se detallan a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 13: Alturas de levitación para viviendas de albañilería confinada, de madera y de acero.

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE VIVIENDAS A ESCALA						
Item o Tipo de Sistema	Peso (Kg/m <sup>2</sup> )	Escala	Peso Final (g.)	H= 2 000 G	H=8 000 G (en mm)	Alturas de Levitación a escala real
		1:2037		FH = 2,210		H = 12000G (en cm)
Albañilería confinada	500,37	0,000491	245,7	2,210	0,0381	17,2
Sistema constructivo de madera	168,94	0,000491	82,9	2,210	0,0688	31,0
Sistema constructivo de acero	136,19	0,000491	66,9	2,210	0,0773	34,8
Ensayo para 31 gr.	63,14	0,000491	31,0	2,210	0,1169	52,6
Ensayo para 26 gr.	52,95	0,000491	26,0	2,210	0,1285	57,8

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### **4.1 SOBRE LA PROPUESTA DE VIV. LEVITABLE LIVIANA.**

Uno de los objetivos del presente trabajo, es el de poder definir las características del tipo de sistema constructivo más adecuado de vivienda liviana levitable que se utilizarán para lograr una levitación por medio de superconductores e imanes de neodimio.

Dentro del marco teórico se han evaluado en forma teórica los sistemas constructivos de albañilería confinada, sistema convencional, de concreto, de acero y de madera. Siendo el punto de evaluación el peso total que cada una representaría, el sistema constructivo de acero cumple con ser el más liviano.

La investigación se fundamenta en principios físicos de levitación cuántica, la cual se logra con la intervención de superconductores y campos magnéticos (representados por imanes de neodimio). Si se toma en cuenta un sistema constructivo de acero, para una vivienda liviana levitable, éste afectaría el desarrollo de la levitación cuántica

debido a que los imanes de neodimio se encontrarían entre dos campos magnéticos, por la parte inferior con la acción de superconductores, y por la parte superior con la estructura de la vivienda de sistema constructivo de acero.

Por otro lado, se conoce por medio de la teoría mostrada, que el sistema constructivo de madera es el segundo más liviano en peso. Las construcciones de madera podrían representar una solución a posibles interacciones de campo magnético que se generarían si consideramos una vivienda con sistema constructivo de acero.

Así mismo, se ha presentado la alternativa de la incorporación del policarbonato alveolar en su constitución, ésta ayudará a que este módulo sea muy ligero, ya que el mismo policarbonato pesa entre 1 kg/m<sup>2</sup> a 5 kg/m<sup>2</sup>, así mismo sus propiedades de resistencia van desde 150 kg/m<sup>2</sup> – 300 Kg/m<sup>2</sup>.

Un sistema constructivo de madera y policarbonato alveolar harían que nuestra vivienda sea liviana y a su vez sea segura para la levitación. Un nuevo estudio que se podría desprender del presente análisis sería establecido al experimentar y evaluar los efectos de un campo magnético externo, aplicado en una levitación cuántica

superconductora, lo cual podría utilizarse para verificar si es posible o no el uso de viviendas livianas levitables con materiales de acero.

Las condiciones necesarias que requieren las viviendas livianas levitables, en su cimentación, son básicamente el adosamiento de pastillas superconductoras debajo del piso o losa de la cimentación. Cualquier otro diseño es posible siempre que exista contacto entre los campos magnéticos (imanes) y áreas superconductoras.

#### **4.2 ENSAYO N°01: EFECTO MEISSNER.**

El primer ensayo realizado tuvo como objetivo principal el poder demostrar el fenómeno de levitación cuántica por medio del Efecto Meissner.

La levitación superconductora o cuántica se observó de acuerdo con lo señalado en el marco teórico referido al Efecto Meissner en superconductores  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ . Estos superconductores levitan en un estado mixto o de vórtices.

En este caso, el fenómeno se manifestó en presencia de una temperatura mayor a  $-196\text{ }^\circ\text{C}$  y menor a  $-181\text{ }^\circ\text{C}$ , puesto que el

nitrógeno líquido se mantuvo en un estado transitorio entre líquido y gaseoso.

Es importante señalar que el Superconductor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  presenta el efecto meissner a temperaturas mayores a los 92 k (-181 °C), con lo cual se logró con éxito los resultados señalados (Temperatura de ensayo: -188 °C). También se pudo apreciar una altura de levitación de 7mm .

#### **4.3 ENSAYO N°02: SUMA DE CARGAS EN LA LEVITACIÓN.**

El segundo ensayo realizado tuvo la finalidad de demostrar lo que ocurre cuando se coloca dos imanes del mismo tipo, y así mismo describir los efectos que se generan al incrementar la carga de levitación.

Al incrementar el peso de sumar dos imanes del mismo tipo (peso total de 7 g), las fuerzas de levitación se incrementan. Así mismo, la altura de levitación resultante disminuye (altura de levitación de 5 mm).

De lo mencionado en el marco teórico, se conoce que la aplicación de superconductores YBCO en Trenes MagLev, han logrado alcanzar alturas de levitación de 15 cm . En estos trenes se usan electroimanes de alta potencia los cuales expulsan un campo magnético de aproximadamente 5 T (50 000 Gauss), soportando cargas de 700 kg/m<sup>2</sup> a 900 kg/m<sup>2</sup>. A comparación del campo magnético aplicado para el presente ensayo (H = 4000 G), éste es relativamente bajo.

De acuerdo con la “fórmula XV”, correspondiente a la “fuerza de levitación”, ésta depende directamente del campo magnético aplicado. Entonces, con los resultados obtenidos en el ensayo 02 y los obtenidos de las investigaciones en los Trenes MagLev, se pudo comprobar que, a mayor campo magnético aplicado, mayor es la fuerza de levitación existente. Por lo tanto, para futuras investigaciones será posible obtener mayores cargas y alturas de levitación, estas también serán analizadas en el ENSAYO N°04 posteriormente.

#### **4.4 ENSAYO N°03: LEVITACIÓN DE UNA CARGA EQUIVALENTE O MAYOR A 75 kg/m<sup>2</sup>.**

Para el tercer ensayo se buscó obtener la mayor carga para la levitación. La medición del peso del imán de neodimio se realizó en una balanza electrónica simple, teniendo los resultados de 34 g y 41 g para discos de imanes de 15 mm y 25 mm de diámetro respectivamente.

Junto con el área del superconductor utilizado (área del superconductor =  $0,000491 \text{ m}^2$ ), estos datos nos permiten decir que el efecto Meissner que se pudo obtener, para este tercer ensayo, logró hacer levitar una carga total equivalente a  $69,26 \text{ kg/m}^2$  y  $83,52 \text{ kg/m}^2$  y alturas de levitación de 3 mm y 2mm respectivamente.

El resultado para el imán de neodimio de 25 mm demostró que “sí” es posible superar cargas de  $75 \text{ kg/m}^2$  y mayores a ésta, lo cual permitirá ampliar más las posibilidades de obtener nuevas propuestas constructivas de viviendas livianas levitables semejantes a la también presentada en este trabajo.

#### **4.5 ENSAYO N°04: ALTURAS DE LEVITACIÓN.**

En las Tabla 11 y 12 se puede observar qué al incrementar las cargas de levitación, las alturas de levitación se reducen. Se puede

señalar también, que se ha trabajado con un superconductor YBCO de 25 mm de diámetro y con imanes cuyos campos magnéticos son de 4 000 G y 8 000 G respectivamente. Al experimentar con estas condiciones, podemos afirmar que el incremento de campos magnéticos utilizados para los ensayos de las Tablas 11 y 12, generan mayores alturas de levitación; por lo que se podrían conseguir mejores resultados, si se incrementasen aún más los campos magnéticos.

Así mismo, en lo expuesto en la ecuación XV del marco teórico, el Dr. José Alberto Díaz García realiza un análisis diferencial por el método de las imágenes, el cual lleva a la conclusión que a mayor área superconductora, mayor será la fuerza de levitación.

El área superconductora aplicada en todos los ensayos es la definida por el superconductor YBCO de 25 mm de diámetro, cuya área es de "0,000491 m<sup>2</sup>". Para un ensayo a escala real se plantearían superficies superconductoras de 1 m<sup>2</sup>, por lo tanto 1 m<sup>2</sup> es "2 036,66 veces" la cantidad utilizada en los ensayos del presente trabajo. El factor "2 036,66" es una cantidad que considerar, para

dar una representación a escala real en estudios que se deseen realizar posteriores a éste.

Tomando en cuenta éste área superconductora, y los datos obtenidos experimentalmente (Tablas 11 y 12), los resultados estimados, a escala real, para una carga de 75 kg (75 000 g) y usando áreas superconductoras de 1 m<sup>2</sup>, son de: 9,8 cm de levitación para 4 000 G y de 21,7 cm de levitación para 8 000G.

Al considerar un campo magnético de 12 000 G y a escala real con 75 Kg de carga y superconductor YBCO de 1 m<sup>2</sup> en área, se espera obtener una altura de levitación de 47,9 cm .

Las alturas de levitación, a escala real, pueden aumentar aún más cuando se trabaje con imanes de mayor potencia o con electroimanes (que alcanzan hasta los 5 T). Es por eso por lo que, el límite de 75 kg/m<sup>2</sup> puede mejorar e incrementarse, haciendo posible, módulos de vivienda de mayor peso.

#### **4.6 ALTURAS DE LEVITACIÓN EN VIVIENDAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA Y VIVIENDAS DE ACERO Y DE MADERA**

Según la Tabla 10, presentada anteriormente, son los sistemas constructivos de madera y acero, los dos más ligeros. Así mismo también, se estimó la altura de levitación en viviendas de albañilería confinada debido a que ésta representa al 84% de viviendas ya construidas en la costa sur del Perú.

En la tabla 13 se ha calculado que, para una vivienda de albañilería confinada, se presentará una altura de levitación de 17,2 cm . Esta altura de levitación no es la suficiente para poder disipar fuerzas sísmicas.

Además, para el sistema constructivo en madera (altura de levitación de 31 cm) y para el sistema constructivo en acero (35 cm), los resultados son más favorables.

## CONCLUSIONES

1. En la Ingeniería civil, la levitación cuántica con superconductores  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  será aplicable solo para viviendas de poco peso, y también en la actualidad, para el transporte en trenes de alta velocidad.
2. La levitación cuántica calculada para viviendas de albañilería confinada con una carga de  $500,37 \text{ kg/m}^2$  alcanzan una altura de levitación de 17,2 cm el cual es un valor insuficiente para reducir el daño provocado por sismos en la costa sur del Perú.
3. El cálculo para  $136,19 \text{ kg/m}^2$  para un sistema constructivo de acero, es de 35 cm de altura de levitación, siendo éste el más adecuado para la construcción de "Viviendas livianas".
4. Para un peso de  $168,94 \text{ kg/m}^2$ , en un sistema constructivo de madera, se obtuvo una altura de levitación de 31 cm, siendo la segunda mejor opción para la futura construcción de viviendas livianas y la primera opción como viviendas livianas levitables.

5. Para lograr viviendas más livianas, en ambos sistemas constructivos, se recomienda el uso de láminas de “policarbonato alveolar” en las divisiones interiores y techo de la vivienda puesto que su peso es de 1 kg/m<sup>2</sup> a 5 kg/m<sup>2</sup>. Así mismo, el sistema constructivo para viviendas livianas levitables más óptimo es el de viviendas de madera, siendo adecuado el uso de la “Guazuma crinita” (Madera bolaina blanca), por ser liviana en peso y cuya densidad básica es de 0,41 g/cm<sup>3</sup>.
6. Las 647 621 nuevas viviendas de albañilería confinada que se construirán hasta el año 2039, no levitarán debido a que sus cimentaciones estarán apoyadas en el suelo.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda realizar un estudio que nos permita conocer los efectos de una vivienda construida en acero (módulo a escala real) en presencia de la levitación cuántica usando superconductores YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub>.
2. Los experimentos elaborados en este trabajo fueron a una escala de 1:2037. Para posteriores trabajos se recomienda utilizar ensayos con

mayores áreas de superconductor  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  la cual nos permitirá elaborar módulos a escalas mayores para obtener mejores resultados.

3. Los ensayos presentados se realizaron con imanes de neodimio de hasta 8000 G. Se recomienda realizar nuevos trabajos usando imanes que expulsen mayores campos magnéticos o utilizar electroimanes puesto que éstos presentan mayores campos magnéticos de hasta 5 T.
4. Los efectos de la interacción de campos magnéticos entre “Superconductor – Imán – Vivienda de acero”, en futuros ensayos a mayores escalas, podrían afectar los resultados de la levitación cuántica. Por lo tanto, se recomienda que este efecto sea considerado en estudios posteriores.

### **TEMAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES**

La aplicación de superconductores en la base para cimentación de viviendas levitables livianas puede realizarse siempre que los apoyos superconductores puedan soportar el peso necesario y a una distancia adecuada para que las fuerzas sísmicas pasen por debajo sin afectar la construcción. Para ello es necesario seguir realizando estudios que puedan

comprobar algunos puntos que no se han tocado en la presente Tesis, debido a que este tema, como cualquier otro, se extiende en distintos campos. Por ello se puede dejar los siguientes puntos para futuras investigaciones:

1. Evaluación de la altura adecuada para la levitación de viviendas levitables que deberá ser entre 30 cm a 40 cm tomando como base bibliográfica los Trenes MagLev cuya levitación alcanza los 15 cm .
2. Análisis del comportamiento físico de superconductores a Temperatura ambiente tales como el  $Y_2Ba_10Cu_{12}O_{25+}$  con 307 k de  $T_c$  para su aplicación en la ingeniería civil.
3. Evaluación de la “disposición óptima” de los elementos superconductores YBCO en la base de fundación de Viviendas Levitables, que permitan optimizar la disipación de las fuerzas sísmicas.
4. La intensidad de los campos magnéticos en electroimanes aplicados al fenómeno de la levitación cuántica para su uso en nuevas construcciones de viviendas de albañilería y su efecto en la búsqueda de una óptima altura de levitación, capaz de disipar las fuerzas sísmicas.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BAQUERO, Rafaél. “La Revolución de los Superconductores”. Elementos. Puebla de Zaragoza. Año 3, N°11. Universidad Autónoma de Puebla. Abril-Junio 1987. Pag. 57-74.
2. CABRERA, Jorge. “Elaboración de Superconductores de Alta Temperatura”. *Investigación Aplicada*. Avellaneda. Argentina, Universidad Tecnológica Nacional. N° 32 noviembre 2009. Página 46 a 52.
3. DELGADO, Genaro. 2008. Diseño estructural de una vivienda económica de 160m<sup>2</sup> de área techada. Sétima edición. Perú
4. DÍAZ, José. 2008. Sistematización del Diseño de Dispositivos de Levitación Superconductora por Efecto Meissner. Tesis (Doctorado). Universidad Carlos III de Madrid.

5. DÍEZ, Efrén. 2011. Fundamentos de Ingeniería de Mecanismos compuestos por Imanes y Superconductores en Efecto Meissner. Tesis (Doctorado). Universidad Carlos III de Madrid.
6. HOU, Yumin. 2008. General Theory of Superconductivity. Nova Science Pub. New York.
7. HYUNG-SUK, Han. 2016 Magnetic Levitation: Maglev Technology and Applications. Scholarly & Professional. USA.
8. MAGAÑA. Luis. 1997. Los Superconductores. Fondo de Cultura Economica. México.
9. OSORIO, María. 2013. Estudio Cristalográfico del Superconductor  $YBa_2Cu_3O_7$  sintetizado por el método Sol-Gel. Tesis (Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería.
10. PALLARÉS, Miquel. Hacia el motor superconductor: estudio de las interacciones entre un rotor superconductor y un estator

convencional. Tesis (Doctorado). Universidad Politécnica de Catalunya.

11. SMART, Lesley. 2012 Solid State Chemistry: An introduction. Taylor & Francis Group. United States of America.

12. WADEL, Gerardo. 2009. La sostenibilidad en la construcción industrializada, la construcción modular ligera aplicada a la vivienda. Tesis (Doctorado). Universidad Politécnica de Cataluña.

13. CAN SUPERCONDUCTORS, Czech Company Products Shop, EN: <http://www.can-superconductors.com/products.html>.

14. HyperPhysics is hosted by the Department of Physics and Astronomy, Georgia State University, EN: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/solids/scex2.html>.

## **ANEXOS**

Anexo A: Tipología de los edificios de Estudio de los cuatro tipos de construcción modular y convencional.

Anexo B: Descripción de los materiales y acabados considerados en el sistema constructivo convencional.

Anexo C: Descripción de los materiales y acabados considerados en el sistema constructivo de concreto.

Anexo D: Descripción de los materiales y acabados considerados en el sistema constructivo de madera.

Anexo E: Descripción de los materiales y acabados considerados en el sistema constructivo de acero.

Anexo F: Especificaciones técnicas del material superconductor YBCO.

Anexo G: Especificaciones técnicas del Kit para ensayos de Levitación cuántica.

Anexo H: Especificaciones técnicas del Imán de Neodimio de 25mm. de diámetro.

Anexo I: Tipología de la vivienda de albañilería confinada en estudio.

Anexo J: Características del sistema constructivo para una vivienda liviana levitable.

Anexo K: Panel fotográfico de ensayos post-investigación

### Tipología del edificio de estudio

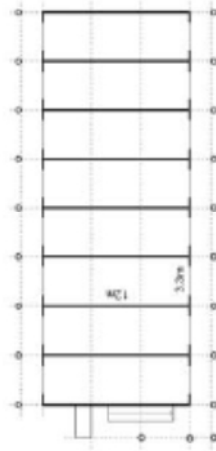
#### Convencional y hormigón armado



Modulación en planta

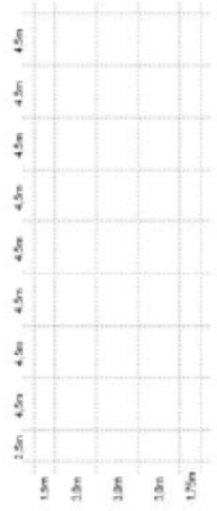


Planta de cimentaciones



Planta tipo

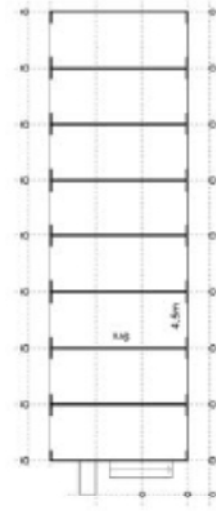
#### Madera y acero



Modulación en planta

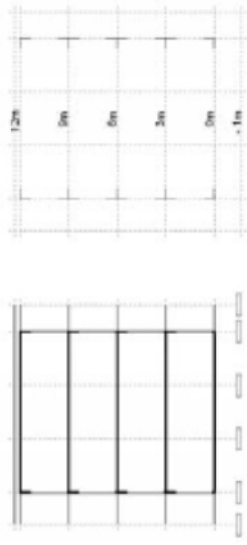


Planta de cimentaciones

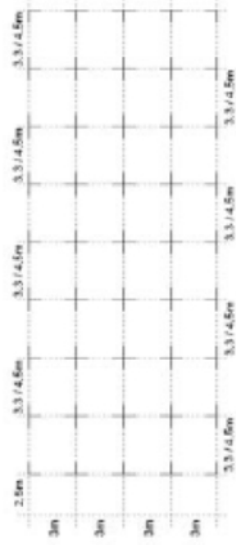


Planta tipo

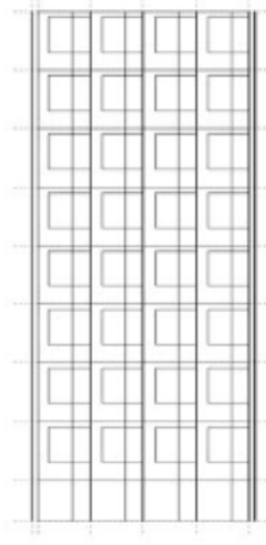
#### Esquemas comunes



Sección transversal



Modulación sección longitudinal



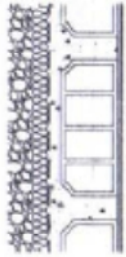
Alzado longitudinal (acceso)

## 7.2 Sistema constructivo convencional

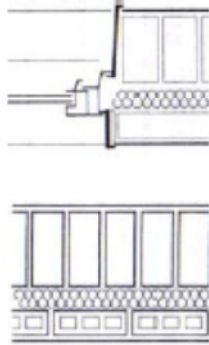
El sistema convencional, que representa las técnicas constructivas más difundidas en la construcción de edificios de vivienda de obra nueva en Cataluña, muy similar a la de otras partes de España, prácticamente no incluye ningún elemento prefabricado sino que su proceso se basa en la adición de materiales y componentes mediante un intenso trabajo manual y mecánico en obra.

Para determinar esta solución estándar, que puede presentar ligeras variaciones según el caso que se considera, han sido consultados diversos estudios así como también han sido entrevistados profesionales con larga experiencia en ejecución de obra de vivienda plurifamiliar de promoción pública o privada de coste mediano o bajo. A partir de ello ha podido determinarse, para el caso de un edificio como el que se estudia, que las técnicas y los materiales más usuales son los siguientes:

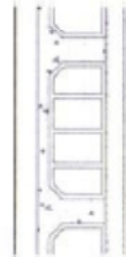
- Cimentaciones con zapatas y vigas de encadenado de hormigón armado.
- Estructura de pilares, vigas y forjados reticulares (25+5cm) de hormigón armado.
- Fachadas de muro de ladrillo perforado de 14cm revocado con mortero monocapa, cámara de aire con aislamiento térmico y tabique interior de ladrillos extruidos de 4cm espesor).
- Aislamientos térmicos de plancha de poliestireno expandido.
- Cubierta plana sobre forjado superior tipo invertida, impermeabilizada con láminas bituminosas acabada con capa de grava.
- Carpinterías exteriores de perfiles de aluminio anodizado con rotura de puente térmico.
- Carpinterías interiores de marcos y hojas de madera y paneles aglomerados.
- Persianas de aluminio lacado con aislamiento térmico de espuma de poliuretano.
- Vidrios cámara 4+4/20/6 en carpinterías exteriores.
- Paredes interiores enyesadas, revestimiento de gres porcelánico en baños, y techos de placas de cartón yeso.
- Pintura plástica sobre paramentos verticales y horizontales interiores.
- Pavimento interior de terrazo y exterior de gres extruido esmaltado.
- Barandillas de estructura de acero galvanizado y cerramiento de vidrio laminado 5+5.
- Estructura de perfiles de acero galvanizado y chapa colaborante en el espacio de comunicaciones.
- No se consideran las particiones interiores debido a que el edificio a estudiar no las tiene, aunque de haberlas éstas serían de ladrillo cerámico hueco de entre 6 y 7cm de espesor, enyesado por ambas caras.



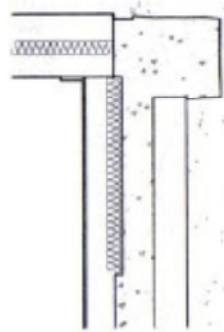
Cubierta invertida



Muro exteriores de doble hoja

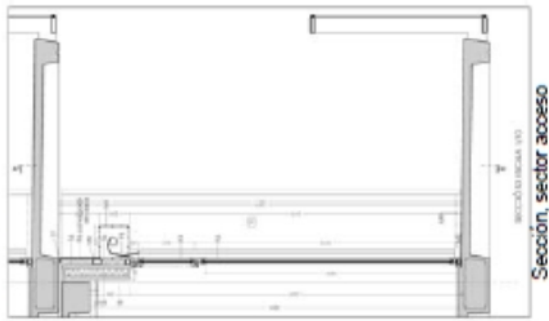


Forjado reticular

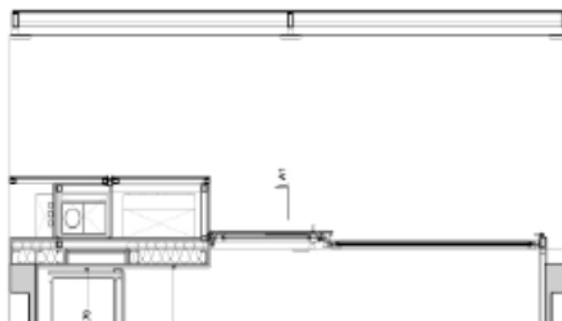


Solera sobre capa de grava

Detalles constructivos del sistema convencional.  
 CTE-HE Ahorro de energía. Aplicación a edificios de uso residencial Vivienda-DIV. Monografía CTE. 2da edición revisada. Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España.



Sección, sector acceso



Planta, sector acceso

### 7.3 Sistema modular de hormigón (Compact Habit)

El sistema modular de hormigón armado representa la opción pesada de prefabricación, empleada en el mercado local, sólo que mediante sistemas bidimensionales. Se ha optado por estudiar el sistema Compact Habit [Compact Habit 2007] creado por Constructora d'Aro, S.A. en 2006<sup>4</sup>, debido a que se trata de un producto que recoge la tradición de la prefabricación de elementos tridimensionales de hormigón y ciertas innovaciones con respecto a otros sistemas, como la disminución de la masa del material estructural para facilitar el transporte y el montaje. El módulo consiste en un prisma cuyos laterales, así como los forjados inferiores y superiores, están realizados en una sola pieza de hormigón, formando una sección tubular de 4,5m de ancho por 11m de largo (medidas interiores). Los lados menores se cierran con carpinterías de aluminio y forman las caras de acceso delantero y terraza posterior respectivamente. Los módulos se disponen uno al lado del otro y se apilan hasta seis plantas de altura máxima (planta baja más tres en el caso de estudio) para formar diferentes edificios. El conjunto se completa con escaleras, pasillos de acceso y terrazas que pueden realizarse con diversos materiales, entre ellos el acero y el hormigón. A continuación se describen las técnicas y materiales empleados en este sistema.

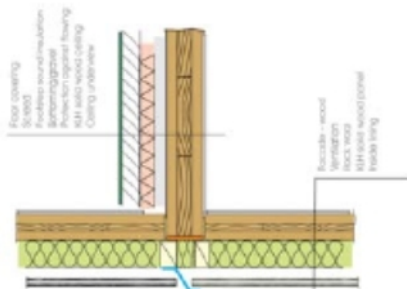
- Cimentaciones con zapatas y vigas de hormigón prefabricado.
- Estructura monolítica de forjados y tabiques nervados de hormigón armado prefabricado.
- Fachadas laterales ventiladas (acabados de chapa de acero y fibrocemento NT).
- Aislamientos térmicos de lana de roca y poliestireno expandido.
- Aislamiento de protección al fuego interior de lana de roca.
- Cubierta de panel sándwich de acero galvanizado y lacado montados sobre estructura de acero galvanizado.
- Carpinterías exteriores de aluminio anodizado con rotura de puente térmico.
- Vidrios cámara 4+4/20/6 en las carpinterías exteriores.
- Persianas de aluminio lacado con aislamiento térmico de espuma de poliuretano.
- En las fachadas de los módulos, panel de aluminio anodizado y espuma de poliuretano.
- Revestimientos interiores (paredes y techos) con placas de cartón yeso sobre estructura de perfiles de chapa de acero galvanizado.
- Lavabo modular con paredes y techo prefabricados a base de poliéster y fibra de vidrio.
- Pavimento interior de parquet flotante de madera y exterior de baldosas cerámicas.
- Barandillas de estructura de acero galvanizado con cerramientos de vidrio laminado 5+5.
- Estructura de acero galvanizado y chapa colaborante en los espacios de comunicaciones.

### 7.4 Sistema modular de madera (die.modulfabrik KLH)

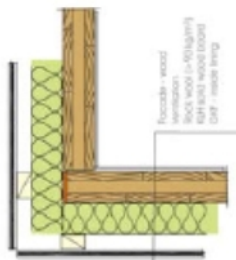
El sistema modular de madera representa una solución constructiva de menor difusión global, aunque presente desde hace décadas en el mercado de Europa central y norte. Existen diversos sistemas constructivos de módulos de madera, la mayoría de ellos basados en técnicas relativamente nuevas de formación de paneles como multilaminados, aglomerados de virutas, partículas o fibras y sándwich con núcleo de aislamiento térmico. Entre las diversas marcas y modelos existentes se ha escogido die.modulfabrik GmbH [die.modulfabrik 2007], que pertenece al grupo austriaco KLH Massivholz GmbH dedicado a la fabricación de paneles de madera de conífera para forjados, fachadas, divisórias y cubiertas de edificios, ya que ha sido considerado como suficientemente representativo de la construcción modular en madera. El módulo die.modulfabrik está formado por paneles laminados macizos de tres capas de madera de diferentes espesores y resistencias estructurales, que cierran las seis caras del prisma. Sus dimensiones, con anchos de 2,42-2,95m y largos de 3-8m, varían de acuerdo a la configuración del edificio, que puede alcanzar una altura de planta baja más tres superiores. La protección al fuego se logra por tratamiento ignífugo de la madera y por aumento del espesor. Ciertos elementos de otros materiales, como basamentos, pilares, cubiertas, etc., pueden ser necesarios en ocasiones.

A continuación se describen las técnicas y materiales empleados en este sistema.

- Cimentaciones prefabricadas de hormigón armado (bases y riostras).
- Estructura vertical de paneles laminados de picea austriaca (conífera), 94mm de espesor.
- Forjado inferior y forjado de cubierta de paneles laminados de picea austriaca (conífera) de 102 y 94mm de espesor respectivamente.
- Fachadas de panel laminado e impermeabilizado sobre subestructura de madera (también pueden utilizarse materiales sintéticos, metálicos, e incluso mortero de revoque).
- Aislamiento térmico de lana de roca aplicada sobre el panel laminado de cerramiento.
- Barrera de vapor de lámina transpirable tipo Tyvek.
- Cubierta de paneles de madera, lámina de barrera de vapor, aislamiento térmico de panel de lana de madera (Heraklith DDP), lámina impermeable de PVC y capa de grava.
- Carpinterías exteriores de perfiles de madera laminada y persianas enrollables de madera.
- Vidrios cámara 4+4/20/6 en las carpinterías exteriores.
- Revestimientos interiores (paredes y techos) de barniz sintético sobre panel laminado.
- Pavimento interior de tablero de madera tipo OSB y de losetas de PVC en el lavabo.
- Barandillas de madera.

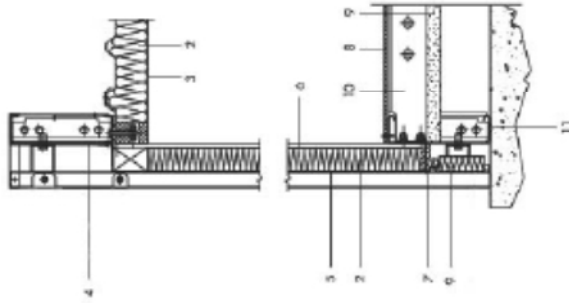


Fachada y forjado en sección y planta respectivamente



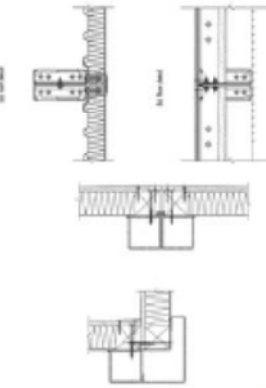
La cubierta, en esta investigación, incluye capa de gravas

Sección integral por la fachada



- 1 profile galvanneated aluminum-zinc steel outer skin
- 2 injected PVC-free polymer insulation
- 3 polyethylene reinforced wall-floor joint
- 4 polyethylene reinforced wall-floor joint
- 5 aluminum reinforced steel outer skin
- 6 12.5 mm Gypsum board wall-board inner lining
- 7 impervious polymer coating w/1
- 8 multilayered structural particle board floor deck
- 9 FFCF-free rigid urethane insulation board
- 10 galvanized galvanneated steel (zinc steel floor steel) joint
- 11 polyethylene waterproof course

Detalles de encuentros de módulos planta/sección



## 7.5 Sistema modular de acero (Yorkon)

El sistema modular de acero representa la solución constructiva más extendida en su segmento de mercado. Su origen se remonta a la fabricación de contenedores de transporte y luego a la producción de módulos más ligeros. La evolución constructiva de estos últimos hacia espacios y envolventes de mayores prestaciones en cuanto a las exigencias de habitabilidad ha dado lugar a sistemas modulares de acero de mayor sofisticación, de entre los que se ha escogido el de la empresa inglesa Yorkon [Yorkon 2008], [BBA 2002], subsidiaria del grupo Portakabin con actividad desde 1961, por ser líder en este tipo de construcciones en su país y por representar su sistema un estándar en este tipo edificatorio. El módulo Yorkon se basa en un basidor tridimensional de acero, formando espacios de de 3,3m de ancho y entre 7,5 y 14,25m de largo (medidas interiores). Se prefabrica casi por entero en planta, recibiendo en obra tratamientos de juntas y acabados superficiales. La estructura incluida en cada módulo puede recibir diferentes tipos de cerramientos y carpinterías, siendo apta para apilamientos de hasta seis plantas. Existen módulos estándar especiales con lados irregulares para producir giros en planta y también otros que incluyen escaleras y vestíbulos. A continuación se describen las técnicas y materiales empleados.

- Cimentaciones prefabricadas de hormigón armado (bases y riostras).
- Estructura vertical de perfiles tubulares de acero galvanizado.
- Forjado y cubierta de entramado de perfiles de chapa plegada de acero galvanizado.
- Fachadas de panel sándwich de acero galvanizado y lacado, con núcleo de aislamiento térmico de espuma sintética (en este estudio no se consideran, pero sobre el panel pueden disponerse diversos materiales de acabado sintéticos).
- Aislamiento térmico de espuma de poliuretano y acústico de lana de roca.
- Cubierta de panel sándwich nervado de chapa de acero galvanizado plegada con núcleo de aislamiento térmico en base a espumas sintéticas.
- Carpinterías exteriores de perfiles de acero galvanizado con rotura de puente térmico.
- Vidrios cámara 4+4/20/6 en las carpinterías exteriores.
- Mecanismos de oscurecimiento y protección solar en base a *screens* de estructura de aluminio, cables de acero inoxidable y cerramientos de tela de PVC y fibra de vidrio.
- Revestimientos interiores (paredes y techos) con placas de cartón yeso sobre estructura de perfiles de chapa de acero galvanizado. Losetas de PVC hasta los 2m de altura en el lavabo.
- Pavimento interior de losetas de PVC sobre tablero de madera contrachapada.
- Barandillas de estructura de acero galvanizado con cerramientos de vidrio laminado 5+5.
- Estructura de acero galvanizado y chapa colaborante en los espacios de comunicaciones.

## ANEXO F

2017-01-09

CSYL-25 YBCO Levitation Disk - CAN SUPERCONDUCTORS e-shop



[contact](#) | [sitemap](#)



Levitation Disks - YBCO crystals

CSYL-25 YBCO Levitation Disk



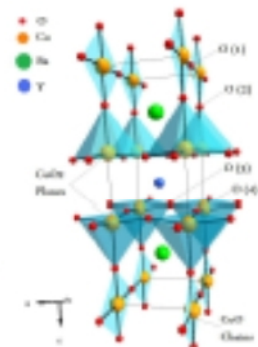
### CSYL-25 YBCO Levitation Disk

Reference: CSYL-25

Condition: New product

- Diameter: 25 mm
- Height: 10 mm,
- Levitation force: 70 N
- Material: Polycrystalline HTSC
- ceramicComposition:  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$
- Critical Temperature: 92K (-181°C)

The levitators are made of encapsulated superconducting sheets, protected against moisture and physical damage. The superconductor material is a compound made from yttrium, barium, copper and oxygen,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ . Its atoms arranged in an orthorhombic crystallographic structure (a cuboid shaped unit cell). The material is a bad electrical conductor at room temperature and becomes a superconductor below 92K (-181°C).



### YBCO Levitation Disk

Superconducting single domain YBaCuO levitation disk with ability to trap magnetic field. The disk exhibits considerable levitation force. The disk can be used (in combination with strong permanent magnets) in self-stabilizing frictionless magnetic bearing of very low friction. These disks can also be used for levitating train models.

## ANEXO G

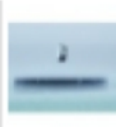
2018-10-13

CSDK1 - Meissner Effect - CAN SUPERCONDUCTORS e-shop



Demonstration Kits

CSDK1 - Meissner Effect



### CSDK1 - Meissner Effect

Reference: CSDK1

Condition: New product

- Demo kit,
- YBCO-123 disk,
- NdFeB magnet,
- Accessories,

Superconducting Disc

- Material: Polycrystalline HTSC ceramic
- Composition: YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub>
- Diameter: approx. 22mm
- Critical Temperature: 92K (-181°C)

### Demonstration Kit 1 — Meissner Effect

Demonstration of basic property of superconductors - Meissner Effect (expulsion of a magnetic field from a superconductor during its transition to the superconducting state)

Levitation of a small rare earth magnet above high temperature superconductor YBaCuO disk cooled by liquid nitrogen. (Note: The disk does not exhibit strong levitation force. To demonstrate strong levitation/suspension experiments please choose our Demonstration Kit 2. For other levitation experiments, superconducting train models etc. please choose from our levitation disks range.)

The kit contains:

- 1 x YBCO-123 disk for Meissner Effect, diameter 22 mm, height 3 mm
- 1 x small rare earth magnet, NdFeB, diameter 4 mm, height 1.5 mm, grade N42
- 1 x tweezers
- 1 x insulation cup
- 1 x instructions

## ANEXO H

2016-11-19

Imán de Neodimio Disco 1" x 1/8" (25mm x 3mm aprox) - Tienda de Imanes en LIMA PERU - JHOLU MAGNET



🏠 > Imanes de Neodimio > Discos > Imán de Neodimio Disco 1" x 1/8" (25mm x 3mm aprox)



### Imán de Neodimio Disco 1" x 1/8" (25mm x 3mm aprox)

Condición: Nuevo producto

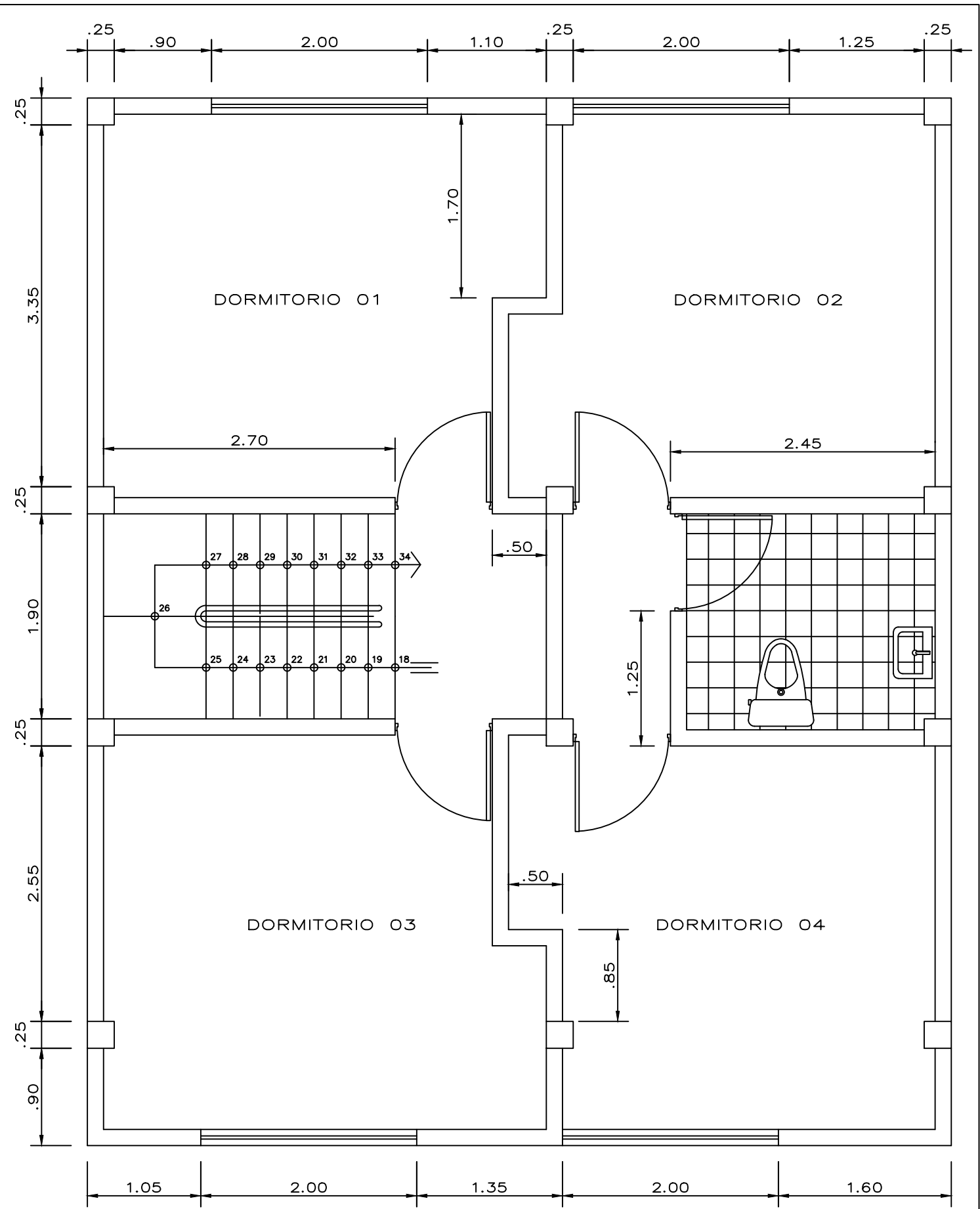
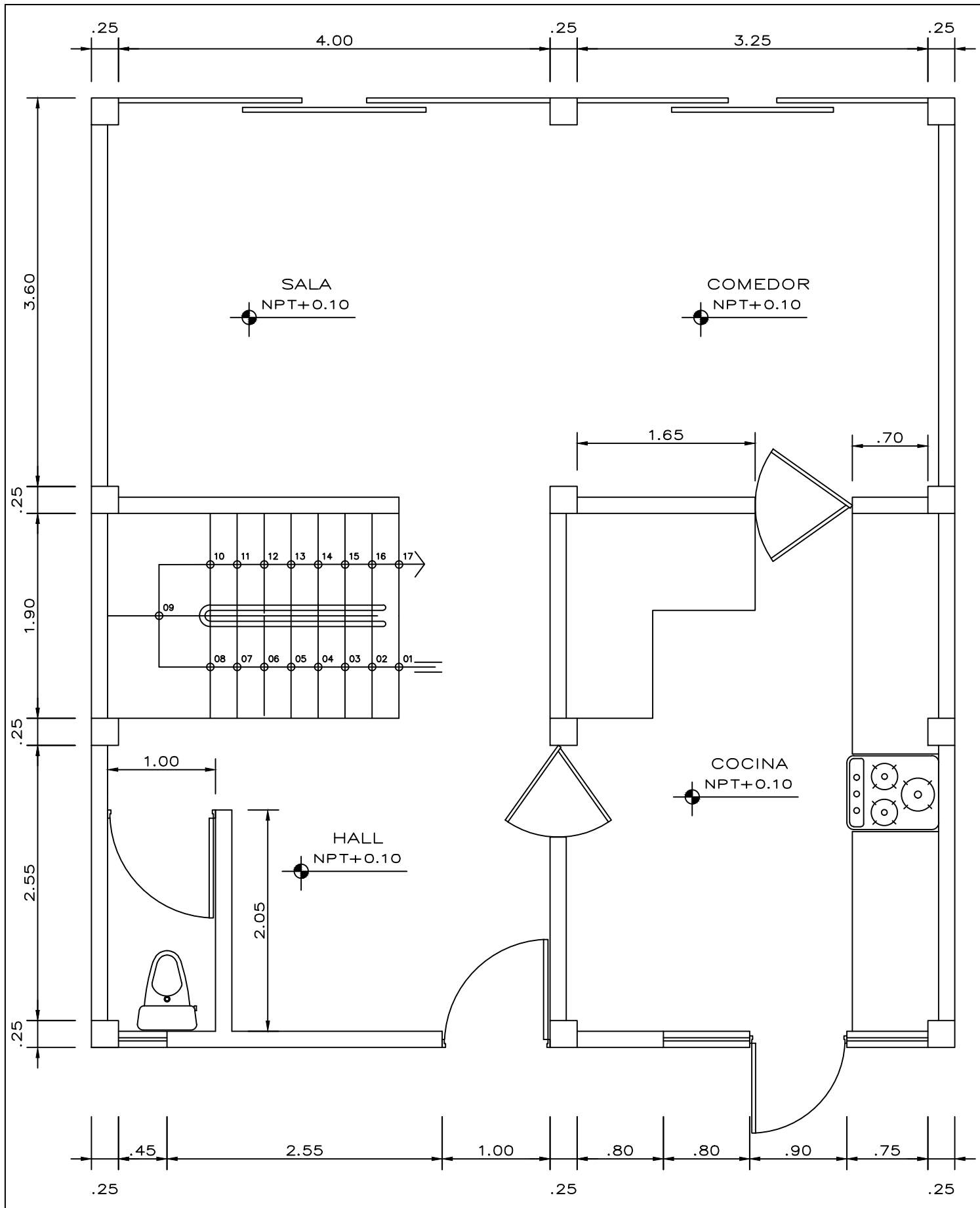
Composición: Nd2Fe14B

Imán de Neodimio Disco 1" x 1/8" (25mm x 3mm aprox)

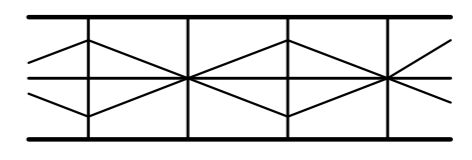
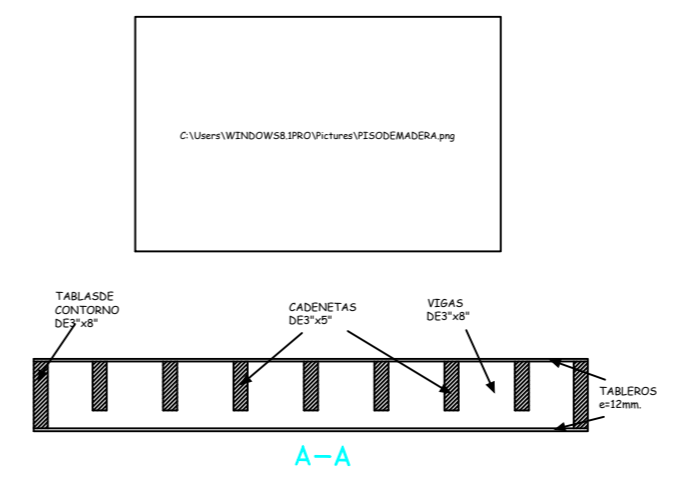
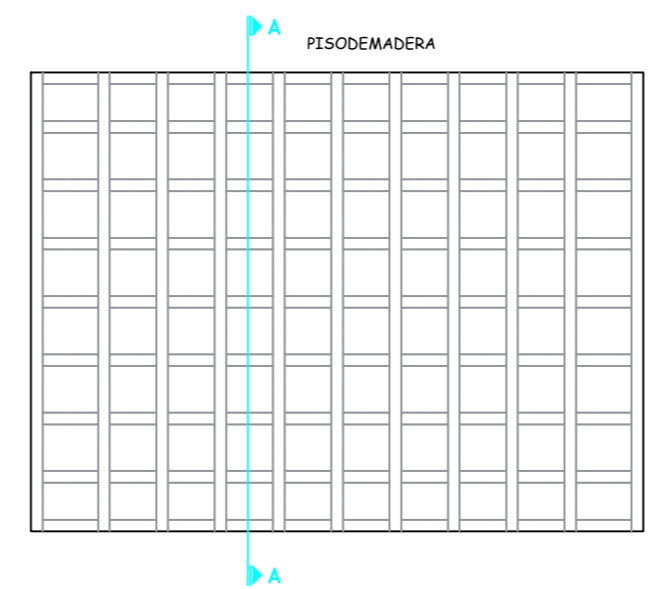
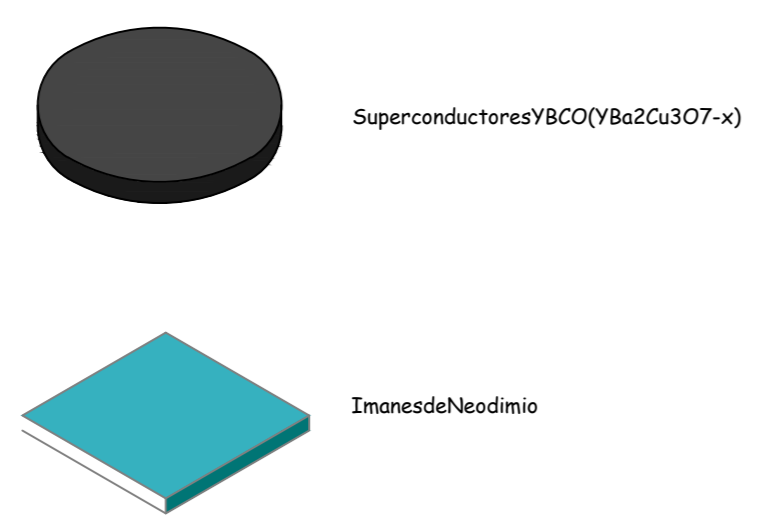
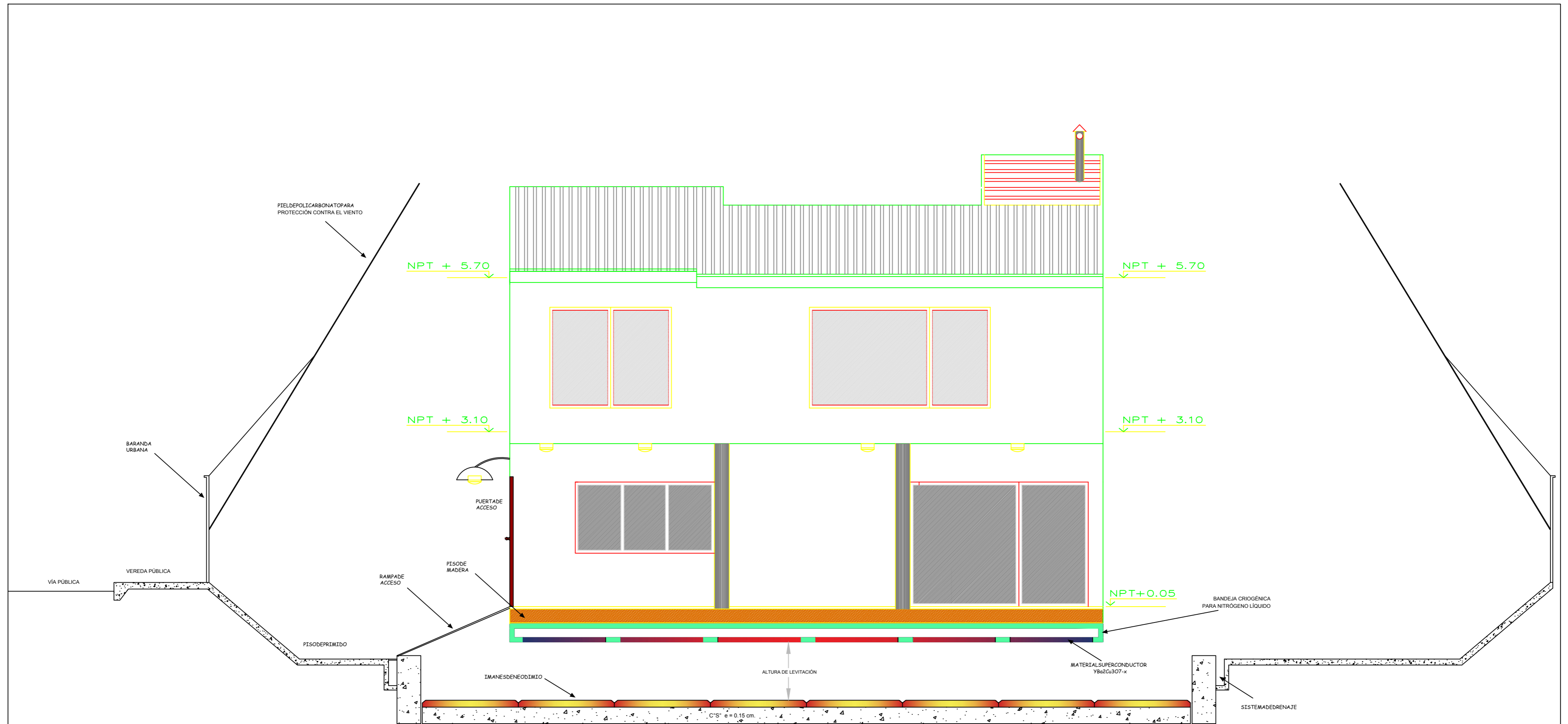
Campo magnético externo: 4000 Gauss

Alto Magnetismo, Máxima Potencia.

Están recubiertos con un baño metálico.



PLANO		<b>VIV. ALBAÑILERÍA CONFINADA</b>		LAMINA N°:
FUENTE:	Ing. Genaro Delgado	ELABORADO:	Bach. José L. Ramos A.	02
PROCESO Y DIBUJO:		ESCALA:	Sin Escala	
		FECHA:	Octubre-2017	



Plancha de Policarbonato Alveolar Thermogal de 20mm. para su uso en Techos exteriores y divisiones internas.

**OBSERVACIONES:**  
 -Las dimensiones de las maderas propuestas para la plataforma base, son referenciales.  
 -El cambio a significativo en nuevos procedimientos constructivos que implica el uso de superconductores para viv. livianas levitables se presenta en la cimentación de las mismas.

PLANO		<b>MODULO DE VIV. LIVIANA LEVITABLE</b>		LAMINA N°:
FUENTE:	ELABORADO:	Bach. José L. Ramos A.		03
PROCESO Y DIBUJO	ESCALA:	Sin Escala	FECHA:	
			Octubre-2017	

## ANEXO K

