

## **ESTUDIO ACUSTICO DEL NUEVO EDIFICIO CENTRAL DEL HOSPITAL ESCUELA DE LA PITIE SALPETRIERE**

REFERENCIA PACS: 43.55.Rg, 43.55.Ti

Auletta Nélide  
Sound Research Laboratories  
31, rue Caillaux  
75013 Paris. Francia  
Tél: 33 1 44 241 4 91  
Fax: 33 1 44 241 491  
E-Mail: [auletta@club-internet.fr](mailto:auletta@club-internet.fr)

### **ABSTRACT**

An acoustic and vibration study is necessary when remodelling or building hospitals, to protect its occupants and medicals equipment from noise and vibration generated by existing sources and those that will appear in the new building.

Since most large hospitals are located in main urban centers, consideration should be given to noise and vibration sources outside the building as well as those created by equipment inside the new building.

A special example in this project is acoustic and vibration isolation treatment between the room containing the emergency electrical generators and the intensive care unit.

### **RESUMEN**

La construcción o renovación de hospitales requiere un estudio acústico y vibratorio para proteger las personas y los equipos médicos, de los ruidos y vibraciones generadas por las fuentes existentes o de aquellas que aparezcan con el funcionamiento del nuevo edificio.

La construcción de todo gran hospital se realiza generalmente en un centro urbano, por tanto, hay que considerar los ruidos y vibraciones que provienen de fuentes exteriores así como los ocasionados por los equipos a instalar en el edificio.

Un ejemplo del proyecto estudiado es la aislación acústica y de vibratoria entre el local del grupo electrógeno y la sala de terapia intensiva.

### **1. INTRODUCCION**

El estudio acústico del proyecto de arquitectura del nuevo edificio central del Hospital de Escuela de la Pitié Salpêtrière comenzó en 1991 con las medidas preliminares de reconocimiento de los niveles sonoros y vibratorios del sitio donde sería construido el futuro edificio y se concluyó en 1996 con las medidas de recepción de la "sala de terapia intensiva" situada arriba del local "grupo electrógeno de urgencia" del nuevo edificio.

El centro hospitalario de la Pitié Salpêtrière es uno de los más antiguos de París. Este importante centro de estudio y atención médica se encuentra, así como el nuevo edificio, a proximidad de una de las estaciones centrales de trenes de París, de una de la líneas de metro interurbano y de dos líneas de metro aéreo. Otra fuente exterior que afecta el nuevo edificio es el tráfico urbano intenso que circula por una de las dos avenidas que lo rodean. Además, hay que tener en cuenta entre las fuentes exteriores, la generada por la circulación eventual de helicópteros, ya que el hospital posee un helipuerto. Estas pueden considerarse las más importantes fuentes de ruido y vibración existentes externas al nuevo edificio.

Las fuentes de ruidos y vibraciones internas que existían antes de la construcción del nuevo edificio eran la "lavandería central" y una de las entradas del circulación de camiones del hospital. La primera de estas fuentes internas existentes se encuentra, calle por medio, a proximidad de algunos de los futuros bloques operatorios.

Se realizó un primer estudio para caracterizar y cuantificar los niveles de ruido y de vibraciones existentes. Estas medidas tenían por finalidad definir si era necesario construir el edificio sobre resortes para proteger los equipos médicos de precisión (microscopios electrónicos, equipos de resonancia magnética nuclear, etc...) de los niveles vibratorios existentes.

Una vez hecha esta evaluación, que permitiría definir la estructura del edificio, se estudió el aislamiento vibratorio y aéreo de las maquinarias y equipos que serían instalados dentro del nuevo edificio. También fueron tratadas la privacidad entre espacios de trabajo y entre habitaciones de hospitalización.

## **2. MEDIDAS ACUSTICAS Y VIBRATORIAS PRELIMINARES**

Las medidas acústicas y vibratorias preliminares se realizaron en otro edificio de asistencia médica, situado en la misma calle del otro lado de la ruta de entrada de camiones del hospital.

El edificio elegido para hacer las medidas se halla a la misma distancia de las vías del metro aéreo; uno de los puntos de las medidas vibratorias se hallaba a unos 50m más alejado de la vías de la central de trenes y el otro en el terreno del nuevo edificio. Los puntos retenidos para las medidas acústicas y vibratorias eran representativos de la situación acústica y vibratoria del futuro edificio.

### **2.1. Condiciones de las Mediciones**

Las medidas se realizaron según las disposiciones dadas en la norma francesa NFS 31-010 "Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement".

Las medidas de ruido se hicieron en la terraza y a nivel del suelo a 2m delante de la fachada; las medidas vibratorias se realizaron en el subsuelo en la galería técnica del edificio antes indicado y en la superficie de una estructura de cemento situado en el terreno del futuro edificio en la zona donde se proyectan las salas de operaciones.

Los equipos de medición fueron calibrados al comienzo y al final de cada serie de medidas, las condiciones meteorológicas fueron registradas y tenidas en cuenta en el análisis de los resultados.

#### **2.1. 1. Medición de los Ruidos Exteriores**

Las medidas del nivel de presión sonora continua equivalente "corta" (1 mn) en valor global dB(A), expresada como LAeq (1mn), se realizaron de manera continua durante 23 horas.

A partir de esta primera medida un registro magnético de media hora del nivel de presión sonora instantánea se realizó durante el momento de máxima circulación de manera de tener un análisis espectral en 1/3 de octavas, para las bandas de frecuencias centradas entre 50 y 5000 Hz.

Esta última medida se realizó a nivel de la calzada del edificio, a 2m de la fachada.

### 2.1.2. Medición de las Vibraciones Exteriores

La medida del nivel de velocidad vibratoria vertical fueron tomadas a partir de un registro magnético y analizadas en el laboratorio. El análisis espectral se hizo en 1/3 de octavas, para las bandas de frecuencias comprendidas entre 10 y 200 Hz. Las vibraciones son provocadas por el pasaje de un tren o por la circulación de una o de las dos ramas del metro interurbano.

La compañía de metros de Paris comunicó a la Asistencia Pública sus propias medidas hechas sobre otra línea (nº 13, estación St Denis Basilique).

## 2.2. Resultados de las Mediciones y Comentarios

Para no complicar la lectura del documento solo los resultados principales serán presentados en los puntos siguientes de este parágrafo.

### 2.2.1. Resultados de las Medidas Acústicas

#### 2.2.1.a. Medidas del nivel de presión sonora continua equivalente

Las medidas de LAeq (1mn), hechas en la terraza, durante 23 horas fueron recompuestas de manera de determinar el nivel de presión sonora continua equivalente estimada en dB(A) en franjas horarias de 15 mn, expresadas como LAeq (15 mn). Esta forma de expresar el resultado de las medidas resultaba más simple para su análisis.

Para las franjas horarias comprendidas entre las 06h20 y las 16h20 los LAeq (15mn) medidos son todos superiores a 53 dB(A), salvo para el intervalo entre 15h50 y 16h05 en el que es LAeq = 52,4 dB(A). Los niveles de presión sonora continua equivalentes medidos a partir de las 16h20 disminuyen progresivamente alcanzando el valor mínimo de LAeq = 46,6 dB(A), en la franja horaria de las 04h05 y las 04h20. Algunas emergencias sonoras excepcionales aparecen durante la noche, con un LAeq > 50 dB(A), que deben indicar el pasaje de vehículos de urgencia aislados.

La distribución de los niveles de presión sonora medidos es sin duda representativa de una actividad hospitalaria corriente.

Se puede notar que los períodos donde los LAeq medidos son más importantes corresponden a las horas de entrada y salidas del personal del grupo hospitalario; comienzo de la mañana, a media mañana y a la media tarde, los valores medidos son :

- <u>Comienzo de la mañana</u>	LAeq (08h05 – 08h20) = 57,7 dB(A)
- <u>Media mañana</u>	LAeq (11h50 – 12h05) = 56,0 dB(A)
- <u>Media tarde</u>	LAeq (16h05 – 16h20) = 55,9 dB(A)

Es importante indicar también que alrededor de las 15h00 tuvo lugar un evento sonoro particular de gran intensidad, 110 dB(A), durante un intervalo de tiempo corto, de 3 a 4 mn. Esta situación sonora particular puede explicarse por la llegada de un helicóptero de urgencia ó la sirena de un vehículo prioritario.

a. La conclusión que se puede dar de estas medidas es que los ruidos aéreos ocasionados por la circulación del transporte terrestre (metro aéreo, autos, camiones, etc...)

exterior ó interior al centro hospitalario es inferior a 60 dB(A). En consecuencia, el “medio ambiente acústico” del sitio donde será construido este nuevo edificio del Centro Hospitalario de la Pitié Salpêtrière, es más bien calmo.

En esta conclusión hay que tener en cuenta que, la terraza del edificio utilizado para estas medidas, se encuentra a alrededor de 12m del suelo.

2.1.1.b. Análisis espectral en bandas de 1/3 de octavas durante la franja horaria de 15 mn de máxima circulación (07h35 – 08h05)

Se hizo un estudio espectral de los ruidos interiores del predio hospitalario, los cuales han sido medidos a 2m delante de la fachada y alrededor 5 a 6m del borde de la calzada. El resultado de estas medidas están indicadas en el Cuadro 1..

F(Hz)	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500
Lpmoy dB	69	67	68	67	62	60	60	62	56	54	52

F(Hz)	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	<b>dB(A)</b>
Lpmoy dB	56	55	57	55	55	55	53	62	50	48	<b>66</b>

Cuadro 1. Nivel de presión sonora media en bandas de 1/3 de octavas

Las fuentes de ruido que se “oyen” como más presente en la media hora del registro magnético hecho, son :

- ruidos de circulación (camiones, autos, motonetas, etc...)
- conversación de los peatones
- aviones en altitud

b. La conclusión que se puede dar del estudio espectral del ruido de circulación es que corresponde a un ruido de “ruta típico”, con Lpmoy. importantes en los 1/3 de octavas graves, inferiores a 250 Hz.

La proximidad de la fachada a la calzada permitió medir un nivel de presión sonora continua equivalente de 66 dB(A) que está más de acuerdo con la realidad de un predio hospitalario. Este valor fue tomado en cuenta para el estudio del aislamiento acústico de las fachadas.

2.2.2. Resultado de las Medidas Vibratorias

Los resultados de las medidas de los niveles de velocidad vibratoria vertical (Lv (dB) en valores eficaces), observados en los 2 puntos de control, han sido analizadas en bandas de 1/3 de octavas, para los tercios de octavas centradas entre 10 y 200 Hz. El valor del nivel de velocidad vibratoria vertical tomado como referencia es  $L_v = 5 \cdot 10^{-8}$  m/s.

El Cuadro 2. resume el resultados de estas medidas. La medida indicada como “metro G.T” es la registrada en la galería técnica del edificio existente, las indicadas como “tren o RER” y “metro” son las medidas hechas sobre la estructura de cemento existente en el terreno del futuro edificio, finalmente la indicada como “RATP” es la medida comunicada por la compañía de metros de Paris.

F (Hz)	10	13	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
Metro G.T (dB)	12	18	25	29	26	25	21	30	28	27	31	24	21	6
Tren ó RER	22	31	38	39	39	36	36	36	27	30	24	19	7	2
Metro (dB)	20	27	32	32	30	30	31	32	25	27	19	11	2	0
RATP (dB)	-	17	23	20	25	44	41	29	28	25	29	29	26	18

Cuadro 2. Niveles de velocidad vibratoria vertical medida en las dos estructuras

De las medidas hechas analizaremos en este trabajo aquellas realizadas sobre la estructura de cemento, que son indicadas como "tren o RER" y "metro"; ya que las formas espectrales son las tres del mismo tipo pero las amplitudes medidas en ese punto son más importantes.

Las amplitudes más importantes han sido medidas en esos 2 casos para los 1/3 de octavas comprendidos entre 16 y 50 Hz. Le nivel vibratorio máximo medido es  $L_{vmax.} = 39$  dB a 20 y 25Hz.

La medida comunicada por la "RATP" presenta un nivel vibratorio máximo de  $L_{vmax.} = 44$  dB, para el 1/3 de octava de 31,5 Hz.

Los equipos médicos a proteger, indicados en "Introducción" están agrupados en 2 categorías según el grado de sensibilidad a las vibraciones.

- Clase B : Equipos sensibles por fotolitografía de resolución superior o igual a 3 micrones : bancos de microscopios para microcirugía, cirugía del ojo, neurocirugía con agrandamiento > 400 x..  
Equipo óptico sobre mesada aislada.

La velocidad vibratoria máxima aceptada para toda frecuencia, para los equipos de clase B es  $v_{max} = 25 \cdot 10^{-6}$  m/s o  $L_{vmax.} = 54$  dB.

- Clase C : Equipos sensibles por fotolitografía de resolución superior o igual a 1 micrones : bancos de microscopios electrónicos de agrandamiento que van hasta 20.000x..  
Equipos de resonancia magnética nuclear.

La velocidad vibratoria máxima aceptada para toda frecuencia, para los equipos de la clase C es  $v_{max} = 12 \cdot 10^{-6}$  m/s o  $L_{vmax.} = 50$  dB.

La conclusión que se puede dar sobre estas medidas vibratorias es que, los espectros medidos en todos los casos son inferiores, para todas las bandas de 1/3 de octava, al criterio más severo que es el de la clase C. En consecuencia no es necesario implantar el nuevo edificio aún en el caso de las salas de cirugía sobre resortes.

### 3. ESPECIFICACIONES ACUSTICAS DEL PROYECTO

Las especificaciones acústicas del proyecto son aquellas que conciernen : el nivel de ruido de fondo (curvas NR) de los distintos espacios sensibles, como también, para aquellos generadores de ruido (locales técnicos); el aislamiento acústico entre espacios; el aislamiento a los ruidos de impacto.

La especificación ligada a la acústica interna de los locales hospitalarios, es decir el tiempo de reverberación de los espacios sensibles, los únicos de entre ellos en que este parámetro ha sido tenido en cuenta son : el anfiteatro y su cabina de luz y sonido, las circulaciones de tipo general y los espacios administrativos.

En todos los espacios de tratamientos médicos y de hospitalización, donde las disposiciones de asepsia son muy estrictas, el uso de revestimientos con materiales blandos o fibrosos fue prohibido.

De las especificaciones acústicas prescritas para el proyecto el único caso que será tratada en este trabajo es la ligada al ruido de fondo de la sala de terapia intensiva y del local grupo electrógeno de urgencia.

Serán también indicadas las prescripciones hechas para el control de las vibraciones de está maquinaria y de todos los equipos anexos necesarios a su funcionamiento así como, el tratamiento interno de este local. Este tratamiento permite controlar el nivel de presión sonora máximo del local de manera no solo de proteger del ruido la sala de terapia intensiva sino también las personas que tuvieran que trabajar en ese espacio técnico.

- Ruido de fondo : Salas de terapia intensiva  
Local grupo electrógeno

NR 25  
NR 80

El área de absorción equivalente del local técnico, necesaria para respetar la curva NR, se estimó en > 200 m<sup>2</sup>. Se decidió tratar el plafond y las paredes con fibras de madera ligadas con cemento (ep ≥ 25 mm) que posea además una capa de lana mineral de al menos 50 mm de espesor.

A partir de un nivel de presión sonora máximo de 85 dB(A) fue calculado el aislamiento acústico entre los dos espacios.

- Aislamiento acústico fijado entre el local grupo electrógeno y la sala de terapia intensiva es, DnT,A ≥ 60dB.

El índice de reducción acústica de la estructura horizontal que separa el local técnico de la sala de terapia intensiva debía ser  $R_w \geq 65$  dB. Esta sería realizada en cemento de un espesor de 24cm y una masa volumétrica ≥ 2400 kg/m<sup>3</sup>. Las paredes verticales del local técnico serían de tipo albañilería "sin perforación" desolidarizadas del piso por medio de una banda elástica.

### 3.1. Especificaciones Fijadas para la Instalación del Grupo Electrógeno

Aislación vibratoria: Los grupos electrógenos así como todos los equipos anexos necesarios a su funcionamiento serían instalados sobre un sistema antivibratorio que asegure una eficacia al filtraje de las vibraciones superior al 95% para la frecuencia de excitación la más baja de los grupos. El sistema de suspensión vibratoria debía poseer un amortiguamiento viscoso si las condiciones de estabilidad o de esfuerzo lo imponían. Si era necesario un boque de inercia completaría el peso del sistema suspendido de manera de asegurar la perfecta compresión de los resortes o de los amortiguadores elásticos elegidos.

Los conductos necesarios al escape de gases de los grupos electrógenos serían desolidarizados de estos por medio de "ganchos antivibratorios" que debían permitir la libre dilatación de los conductos. Los chasis de los silenciadores de los conductos de "escape de gases" serían instalados utilizando suspensiones antivibratorias. La frecuencia propia del sistema suspensión debía ser elegida de manera a asegurar el funcionamiento correcto de los diferentes sistemas suspendidos.

Las cañerías, tubos y otros elementos ligados al funcionamiento de los grupos no serían fijados directamente sobre los equipos sino que se utilizarían elementos de conexión elásticos. Estos elementos serían elegidos de manera de reducir al mínimo la transmisión de vibraciones por ellos o a través del fluido que ellos vehiculan. La elección adecuada del diámetro de las canalizaciones evitaría la presencia de burbujas de aire en el agua refrigerante de los grupos y causantes de niveles de ruido que pueden ser importantes. Estos mismos conductos serán fijados a la estructura del edificio utilizando suspensiones antivibratorias.

Aislación acústica : En caso que el nivel de ruido de los grupos sobrepase la curva NR fijada para este local técnico, los grupos serían aislados por medio de un recinto aislante-absorbente que asegure un índice de aislamiento acústico de al menos 30 dB.

Finalmente la "entrada " y "salida" de aire del equipo que ventila este local estarían provistas de silenciadores de manera de respetar el nivel de ruido en la fachada del edificio, además de, desolidarizado de la estructura.

## 4. CONTROL DE LA OBRA

La verificación, en la obra terminada, de las especificaciones acústicas fijadas en el estudio del proyecto precisaron de un control regular de la evolución de la obra y un control a

partir de mediciones acústicas, una vez que los locales estuvieron casi terminados y que equipos pudieron ponerse en funcionamiento.

Durante la obra el acústico verificó que el grupo había sido objeto de una suspensión antivibratoria bien realizada pero que no todos los equipos anexos al grupo estaban desolidarizados de la estructura o si algunos de estos equipos anexos lo estaban el montaje o la compresión del sistema antivibrátil no era correcto (como por ejemplo : la bomba de agua, el silenciador puesto en el conducto de escape de gases, las canalizaciones fijadas directamente a la estructura, etc...). La empresa que realizaba el trabajo y tenía que estudiar la instalación respondió a la advertencia del acústico que ellos corregirían los "puntos marcados" una vez que se pudieran hacer mediciones con el grupo electrógeno en marcha.

El Cuadro 3 resume las primeras medidas acústicas por bandas de octavas, de 63 a 4000 Hz, realizadas en la "sala de terapia intensiva". Las medidas efectuadas son : (1) Nivel sonoro del ruido ambiente, (2) Nivel de ruido de fondo en la "sala de terapia intensiva", grupo electrógeno y equipos anexos en marcha, ventilación del local técnico en funcionamiento, (3) Curva NR25.

F(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	dB(A)
Lp(1) (dB)	42	32	23	19	15	14	12	24
Lp(2) (dB)	55	50	43	41	47	29	24	42
<b>NR 25</b>	<b>55,3</b>	<b>43,8</b>	<b>35,3</b>	<b>29,2</b>	<b>25,0</b>	<b>21,9</b>	<b>19,6</b>	<b>35</b>

Cuadro 3. Resultados de las 1eras medidas acústicas del edificio en obra

Las medidas de Lp(2) muestran una emergencia, con respecto a la curva **NR25**, para todas las octavas a partir de 125Hz; en particular para las octavas de 250, 500 y 1000 Hz.

Un serie de medidas fueron hechas para verificar qué equipos daban origen a estas emergencias.

1. La bomba no desolidarizada de la estructura era en parte responsable de las emergencias a 250Hz (5dB), 500Hz (9 dB) y 1000Hz (8 dB).
2. El ventilador fijo a la estructura presentaba emergencias para las octavas de 250Hz (5 dB) y 500Hz (6 dB). A estas emergencias medidas había que agregarle la correspondiente a la desolidarización mal ejecutada del silenciador del conducto del escape de gases y ciertas canalizaciones fijadas directamente a las paredes o el techo.

A medida que las modificaciones indicadas se iban ejecutando, la empresa, junto con el acústico realizaron las medidas de control.

La asistencia pública, el arquitecto que dirigió el proyecto, además del acústico solo aceptaron la instalación cuando la especificación de **NR25** en la sala de "terapia intensiva" pudo ser verificada.

## 5. CONCLUSION

En todo proyecto donde las especificaciones acústicas son estrictas, la diversidad de las fuentes existentes o aquellas que aparecerán por las necesidades del edificio, son multiples y pueden tener amplitudes sonoras o vibratorias importantes necesitan :

1. una evaluación de los niveles sonoros y vibratorios existentes,
2. la constataciones que los valores medidos no modificarán el buen funcionamiento de los equipos de precisión,

3. la redacción de especificaciones acústicas y vibratorias para cada grupo de maquinarias que se deba instalar. Estas especificaciones deben tener en cuenta todos los elementos que pueden transmitir las vibraciones de las maquinarias a la estructura del nuevo edificio,
4. la verificaciones de los planos y de los cálculos de ejecución por el acústico.
5. Finalmente, medidas acústicas de control.