



**Universidad de la República
Facultad de Ingeniería
Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental**

**Tesis para optar al título de
Magíster en Ingeniería Ambiental**

**REVISIÓN DE PROPUESTAS DE MEDICIÓN DE RUIDO URBANO Y
PREDICCIÓN DE NIVELES SONOROS EN MONTEVIDEO**

**Autor: Ing. Cecilia Lucía Maroñas Bonomi
Tutor: Dr. Ing. Alice Elizabeth González Fernández**

**Montevideo, Uruguay
2016**

ESTE DOCUMENTO HA SIDO EDITADO PARA SER IMPRESO EN DOBLE FAZ.
LAS HOJAS EN BLANCO HAN SIDO INTERCALADAS PARA RESPETAR EL ESTILO DE EDICIÓN.

PÁGINA DE APROBACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

El tribunal docente integrado por los abajo firmantes aprueba la tesis de investigación:

Título: Revisión de propuestas de medición de ruido urbano y predicción de niveles sonoros en Montevideo

Autor: Ing. Cecilia Lucía Maroñas Bonomi

Tutor: Dra. Ing. Alice Elizabeth González Fernández

Carrera: Maestría en Ingeniería Ambiental

Puntaje:

.....
.....
.....

Tribunal:

Profesor.....
(Nombre y firma)

Profesor.....
(Nombre y firma)

Profesor.....
(Nombre y firma)

Fecha

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
SECCIÓN I: INTRODUCCIÓN.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. RESUMEN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	11
1.2. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS.....	12
1.3. CONTENIDO DEL INFORME	12
SECCIÓN II: MARCO TEÓRICO. ESTADO DEL ARTE Y SITUACIÓN EN MONTEVIDEO Y URUGUAY	15
2. INTRODUCCIÓN.....	17
3. EMISIONES SONORAS DEL TRÁFICO RODADO	18
3.1. EMISIONES ACÚSTICAS GENERADAS POR LOS VEHÍCULOS	19
3.1.1. RUIDO MECÁNICO	19
3.1.2. RUIDO DE RODADURA	20
3.1.3. RUIDO AERODINÁMICO	21
3.2. EMISIONES SONORAS GENERADAS POR LOS DISTINTOS TIPOS DE VEHÍCULOS	21
3.2.1. AUTOMÓVILES.....	22
3.2.2. TRÁNSITO PESADO	23
3.2.3. MOTOS	25
4. PARQUE AUTOMOTOR URUGUAYO.....	26
5. ANÓMALOS ACÚSTICOS, TIEMPOS DE MUESTREO Y SU OPTIMIZACIÓN	31
5.1. RECOMENDACIONES DE GONZÁLEZ (2000)	31
5.1.1. TIEMPO MÍNIMO DE MUESTREO Y SU OPTIMIZACIÓN	31
5.1.2. EVENTOS ANÓMALOS.....	33
5.2. RECOMENDACIONES INTERNACIONALES.....	34
6. MODELO DE PREDICCIÓN DE NIVEL SONORO DE TRÁNSITO URBANO DE LA CIUDAD DE MONTEVIDEO	38
SECCIÓN III: TRABAJO DE CAMPO	43
7. CAMPAÑAS DE MEDICIÓN.....	45

7.1. GENERALIDADES.....	45
7.2. METODOLOGÍA.....	49
7.2.1. EQUIPAMIENTO UTILIZADO	49
7.2.2. METODOLOGÍA DE MUESTREO.....	51
8. PRINCIPALES RESULTADOS POR CAMPAÑA.....	53
8.1. CAMPAÑA P150507 - JUEVES	53
8.1.1. EVOLUCIÓN TEMPORAL DEL NIVEL DE PRESIÓN SONORA	53
8.1.2. TIEMPOS DE ESTABILIZACIÓN	54
8.1.3. FLUJO VEHICULAR	57
8.2. CAMPAÑA P151111 - MIÉRCOLES	59
8.2.1. EVOLUCIÓN TEMPORAL DEL NIVEL DE PRESIÓN SONORA	59
8.2.2. TIEMPOS DE ESTABILIZACIÓN	59
8.2.3. FLUJO VEHICULAR	62
8.3. CAMPAÑA P151116 - LUNES.....	64
8.3.1. EVOLUCIÓN TEMPORAL DEL NIVEL DE PRESIÓN SONORA	64
8.3.2. TIEMPOS DE ESTABILIZACIÓN	65
8.3.3. FLUJO VEHICULAR	68
SECCIÓN IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	71
9. INTRODUCCIÓN.....	73
10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	75
11. OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO DE MUESTREO	78
11.1. OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO DE MUESTREO PARA CAMPAÑAS DE 1 HORA	78
11.2. OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO DE MUESTREO PARA PERÍODO DIURNO.....	82
12. ANÓMALOS ACÚSTICOS	84
13. MODELO DE PREDICCIÓN DE NIVEL DE PRESIÓN SONORA A PARTIR DE TRÁNSITO URBANO	92
13.1. EQUIVALENCIAS ACÚSTICAS	95
SECCIÓN V: CONCLUSIONES	97
14. CONCLUSIONES GENERALES	99
15. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN A FUTURO	100
SECCIÓN VI: BIBLIOGRAFÍA	101
16. BIBLIOGRAFÍA.....	103

ANEXO I: CONCEPTOS TEÓRICOS GENERALES	107
ANEXO II: RESULTADOS POR CAMPAÑA	117
ANEXO III: RELEVAMIENTO DE CAMPO - DATOS.....	201

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 3-1 ESPECTRO TÍPICO DEL FUNCIONAMIENTO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA DIVERSOS COMBUSTIBLES	20
FIGURA 3-2 EMISIONES SONORAS DE VEHÍCULOS LIVIANOS SEGÚN LA MARCHA	22
FIGURA 3-3 VARIACIÓN DEL NIVEL DE RUIDO DE VEHÍCULOS LIGEROS Y PESADOS	23
FIGURA 3-4 NIVELES SONOROS DE CAMIÓN DIÉSEL EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE GIRO DEL MOTOR Y DE LA VELOCIDAD FINAL, MEDIDO A 7,5 M.....	23
FIGURA 3-5 NIVELES DE PRESIÓN SONORA DE MOTOS CON SISTEMAS DE ESCAPE ORIGINAL Y MODIFICADO, EN RALENTÍ (1.400 RPM).....	25
FIGURA 4-1 PARQUE AUTOMOTOR ACTUAL - DISTRIBUCIÓN SEGÚN CATEGORÍAS A, B, C Y E.....	26
FIGURA 4-2 PARQUE AUTOMOTOR – DISTRIBUCIÓN POR CATEGORÍAS Y AÑO DE FABRICACIÓN	27
FIGURA 4-3 PARQUE AUTOMOTOR ACTUAL – DISTRIBUCIÓN POR CATEGORÍAS Y AÑO DE FABRICACIÓN AGRUPADO POR DÉCADAS	27
FIGURA 4-4 NUEVOS INGRESOS AL PARQUE AUTOMOTOR Y EVOLUCIÓN DE LA ECONOMÍA URUGUAYA – PRINCIPALES RELACIONES	28
FIGURA 4-5 EVOLUCIÓN DEL EMPADRONAMIENTO DE AUTOS Y MOTOS – 2000 – 2015.....	29
FIGURA 4-6 CANTIDAD DE VEHÍCULOS EMPADRONADOS EN MONTEVIDEO AL 31 DE DICIEMBRE DE CADA AÑO	30
FIGURA 6-1 PROPAGACIÓN DEL SONIDO DE UN VEHÍCULO EN MOVIMIENTO	38
FIGURA 7-1 UBICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO	46
FIGURA 8-1 EVOLUCIÓN TEMPORAL $L_{AEQ,1MIN}$ – CAMPAÑA P150507	53
FIGURA 8-2 TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN 12 HORAS - P150507	55
FIGURA 8-3 TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN 1 HORA, 10 AM - P150507	56
FIGURA 8-4 DISTRIBUCIÓN HORARIA DEL FLUJO VEHICULAR CLASIFICADO – CAMPAÑA P150507	58
FIGURA 8-5 DETALLE DE DISTRIBUCIÓN HORARIA DE CAMIONES, MOTOS Y ÓMNIBUS – CAMPAÑA P150507	58
FIGURA 8-6 EVOLUCIÓN TEMPORAL $L_{AEQ,1MIN}$ – CAMPAÑA P151111	59
FIGURA 8-7 TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN 12 HORAS - P151111	60
FIGURA 8-8 TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN 1 HORA, 10 AM - P151111	61
FIGURA 8-9 DISTRIBUCIÓN HORARIA DEL FLUJO VEHICULAR CLASIFICADO – CAMPAÑA P151111	63
FIGURA 8-10 DETALLE DE DISTRIBUCIÓN HORARIA DE CAMIONES, MOTOS Y ÓMNIBUS – CAMPAÑA P151111	63
FIGURA 8-11 EVOLUCIÓN TEMPORAL $L_{AEQ1MIN}$ – CAMPAÑA P151116.....	64
FIGURA 8-12 TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN 12 HORAS - P151116	66
FIGURA 8-13 TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN 1 HORA, 10 AM - P151116	67
FIGURA 8-14 DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO VEHICULAR CLASIFICADO – CAMPAÑA P151116.....	69
FIGURA 8-15 DETALLE DE DISTRIBUCIÓN DE CAMIONES, MOTOS Y ÓMNIBUS – CAMPAÑA P151116 ..	69
FIGURA 11-1 TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN P151111, 10 AM	78
FIGURA 11-2 TIEMPOS DE ESTABILIZACIÓN PARA MUESTRAS DE 1 HORA	80
FIGURA 11-3 PORCENTAJE DE MUESTRAS DE 1 H ESTABILIZADAS	81
FIGURA 11-4 TIEMPOS DE ESTABILIZACIÓN PARA MUESTRAS DE 12 H.....	82

FIGURA 12-1 CANTIDAD DE ANÓMALOS ACÚSTICOS POR HORA	87
FIGURA 12-2 DIAGRAMA DE CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES ORIGINALES CON LAS COMPONENTES PRINCIPALES F1 Y F2, F1 Y F3, Y F2 Y F3.....	90
FIGURA 13-1 HISTOGRAMA DE FRECUENCIA $\Delta L_{AEQ,1H}$ (CALCULADO-MEDIDO)	93

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 7-1 VISUALES DEL ENTORNO – CORREDOR VIAL	47
FOTOGRAFÍA 7-2 UBICACIÓN DEL SONÓMETRO DURANTE LAS CAMPAÑAS DE MEDICIÓN	50
FOTOGRAFÍA 7-3 EJEMPLO DE UBICACIÓN DE CÁMARA DE FILMADORA	51

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 5-1 TIEMPOS DE ESTABILIZACIÓN EXPRESADOS EN MINUTOS PARA DISTINTOS ϵ Y DENSIDAD VEHICULAR (95% DE MUESTRAS ESTABILIZADAS DE UNA HORA DE DURACIÓN)	32
TABLA 7-1 CAMPAÑAS DE MEDICIÓN	49
TABLA 8-1 TIEMPOS DE ESTABILIZACIÓN – CAMPAÑA P150507	54
TABLA 8-2 FLUJO VEHICULAR CLASIFICADO – CAMPAÑA P150507	57
TABLA 8-3 TIEMPOS DE ESTABILIZACIÓN – CAMPAÑA P151111	59
TABLA 8-4 FLUJO VEHICULAR CLASIFICADO – CAMPAÑA P151111	62
TABLA 8-5 TIEMPOS DE ESTABILIZACIÓN – CAMPAÑA P151116	65
TABLA 8-6 FLUJO VEHICULAR CLASIFICADO – CAMPAÑA P151116	68
TABLA 10-1 ANÁLISIS DE NORMALIDAD MUESTRAS DE 1 HORA – RESULTADOS PRUEBA DE D’AGOSTINO	75
TABLA 10-2 ANÁLISIS DE NORMALIDAD MUESTRAS DE 12 HORAS – RESULTADOS PRUEBA DE D’AGOSTINO	76
TABLA 10-3 ANÁLISIS DE COMPARABILIDAD ENTRE MUESTRAS – RESULTADOS PRUEBA DE KRUSKAL- WALLIS	76
TABLA 10-4 ANÁLISIS DE COMPARABILIDAD INTER MUESTRA: MAÑANA VS. TARDE – RESULTADOS PRUEBA DE MANN-WHITNEY	76
TABLA 10-5 ANÁLISIS DE COMPARABILIDAD ENTRE MUESTRAS: MAÑANAS VS. TARDES – RESULTADOS PRUEBA DE MANN-WHITNEY	77
TABLA 11-1 TIEMPOS DE ESTABILIZACIÓN PARA MUESTRAS DE 1 H (VALORES EXPRESADOS EN MINUTOS)	79
TABLA 11-2 OPTIMIZACIÓN TIEMPO DE MUESTREO DE 1 HORA. COMPARACIÓN 2000 - 2016	81
TABLA 11-3 TIEMPOS DE ESTABILIZACIÓN PARA MUESTRAS DE 12 H (MIN)	82
TABLA 12-1 ANÓMALOS ACÚSTICOS IDENTIFICADOS EN CAMPO – P150507	84
TABLA 12-2 ANÓMALOS ACÚSTICOS IDENTIFICADOS EN CAMPO – P151111	85
TABLA 12-3 ANÓMALOS ACÚSTICOS IDENTIFICADOS EN CAMPO – P151116	86
TABLA 12-4 MATRIZ DE CORRELACIONES (PEARSON (N))	88
TABLA 12-5 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES DE LOS PARÁMETROS Q , ANÓMALOS, $L_{AEQ,1H}$, $T_{ESTAB \pm 1DBA}$ – RESULTADOS	89
TABLA 12-6 VECTORES PROPIOS DE LA MATRIZ DE CORRELACIÓN	89
TABLA 13-1 COMPARACIÓN L_{AEQ} CALCULADO CONTRA L_{AEQ} MEDIDO	92

AGRADECIMIENTOS

A Elizabeth, por su constante apoyo y dedicación durante todo este tiempo. Por su buena onda, perseverancia y continua motivación, particularmente cuando mis fuerzas flaqueaban.

A Nicole Rytte, Paula Lima, Tomás Cayafa, Guzmán Amorín, Carina Bonomi, Andrés Maroñas, Andrea Pitzer, Silvana Pastorini, Agustín Cayafa, Martín Cayafa, Pablo Gianoli, Matteo Deambrosi, Martías Hernández, Joaquín Montero y Martín Paz, que sin su gran ayuda no hubiese podido realizar el trabajo de campo.

A CSI por permitirme compatibilizar el día a día con la realización de este trabajo. A mis compañeros de área por su interés, apoyo y motivación.

Por último y no menos importante, a mi familia, a mis amigos y por sobre todo a Martín, por su apoyo incondicional en todo momento, por alentarme siempre a seguir adelante y por su comprensión por el tiempo dedicado a este trabajo.

RESUMEN

Este documento corresponde a la tesis para obtener el título de Magister en Ingeniería Ambiental, y presenta el estudio y análisis del ruido provocado por el tránsito en el entorno urbano de la ciudad de Montevideo, Uruguay.

En la actualidad, el ruido en el entorno urbano se ha convertido en un tipo de contaminación ambiental que, si bien existió desde tiempos inmemoriales, es en el último período que la población lo ha identificado popularmente como una fuente de molestias, incomodidad y de afectación a la salud. Poder caracterizarlo, así como predecirlo, resulta de vital importancia como herramienta de gestión en la planificación urbana.

En el 2000 se llevó a cabo un estudio pormenorizado de la caracterización del ambiente sonoro urbano de la ciudad de Montevideo asociado, principalmente, al flujo de vehículos. Este presentó una serie de conclusiones y recomendaciones que permitieron optimizar los recursos, tanto humanos como económicos, para el diseño de campañas de medición, así como presentó un modelo de predicción del ruido asociado al tránsito clasificado. Adicionalmente, como parte del estudio se detectó que el ambiente sonoro de la ciudad se encontraba fuertemente dominado por eventos puntuales, altamente energéticos, llamados anómalos acústicos. Estos eventos, característicos de la ciudad de Montevideo, no respondían a lo que el estado del arte del momento entendía como ruido urbano, aunque este refería principalmente a países desarrollados.

La presente investigación tiene como objetivo analizar la vigencia de dichas conclusiones y recomendaciones al día de hoy, una década y media posterior a su desarrollo. Particularmente, pretende analizar la vigencia y utilidad de dichas conclusiones y recomendaciones a la luz de los importantes cambios que ha sufrido la ciudad de Montevideo en este período, principalmente a la duplicación y renovación de su flota vehicular.

Los resultados obtenidos indican que, *a priori*, tales conclusiones y recomendaciones siguen siendo válidas, aunque se detecta una desviación de relativa importancia, que el alcance de este estudio no es capaz de abordar completamente. Por tanto, se recomienda que se continúe, en una segunda etapa, con una investigación más detallada que pueda cuantificar sólidamente tal desviación y proponer un ajuste que se adapte específicamente a la situación actual. Mientras tanto, se recomienda continuar utilizando las recomendaciones propuestas en el 2000 con algunas variaciones presentadas en este trabajo, en el entendido que se adaptan mejor a la realidad Montevideana que los métodos que propone la bibliografía especializada actual.

Palabras clave

Nivel de presión sonora, ruido, tránsito urbano, modelo de predicción, optimización del tiempo de muestreo, tiempo de muestreo mínimo, anómalos acústicos.

ABSTRACT

This document presents the noise analysis caused by traffic in the urban environment of Montevideo city, Uruguay. It is aim for applying to the Master in Environmental Engineering's degree.

Nowadays, urban noise is considered an important kind of pollution. Even though It has existed since unmemorable times, in the last period has been identified by the population as a source of annoyance and health affection. Being able to characterize and predict it has become an important management tool for urban planning.

In 2000, a detailed study was conducted regarding urban noise in Montevideo city, particularly associated with traffic. It presented conclusions and recommendations to optimize resources, both human and financial, for designing measurement campaigns. It also presented a model for noise prediction due to urban traffic. As a result, it was found that Montevideo's urban noise was heavily dominated by specific events, highly energetic, called acoustic anomalous. These events did not respond to what the state of the art at the time understood as urban noise.

This research aims to analyze the validity of those findings and recommendations nowadays, a decade and a half after its development. In particular, aims to analyze the effectiveness and usefulness of these conclusions and recommendations considering the important changes the city had suffered, specifically regarding the duplication and renewal of its vehicle fleet.

The results indicate that, primarily, such conclusions and recommendations remain valid, although a deviation is detected which the scope of this study is not able to fully address. Therefore, it is recommended to continue with further detailed research that can accurate quantify such deviation and propose an updated adjustment. Meanwhile, it is recommended to continue using the recommendations proposed in 2000 with some variations presented in this document, on the understanding that are better adapted to Montevideo's reality.

Key word

Sound pressure level, noise, urban traffic, prediction model, monitoring period optimization, minimum monitoring period, acoustic anomalous.

SECCIÓN I: INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Resumen del problema y justificación

El problema del ruido en las ciudades es cada día más importante y está considerado, según la Organización Mundial de la Salud, el tercer tipo de contaminación más peligrosa por los diferentes efectos nocivos que tiene sobre la salud, por detrás de la contaminación en el aire y en el agua (Prieto Gajardo *et al.* 2012). Particularmente en Montevideo, la Defensoría del Vecino publicó que el 20% de los reclamos recibidos hasta el 2012 correspondían a problemas de contaminación sonora (González 2012) y que en el 2014 correspondieron al 12% del total (Defensoría del Vecino, Intendencia de Montevideo 2014).

El ruido es un agente contaminante muy fácil de producir ya que requiere muy poca energía para generarlo y, sin embargo, es muy difícil de combatir. Principalmente porque las medidas para combatirlo son costosas al requerir alternativas ingenieriles y arquitectónicas sofisticadas, pero, sobre todo, la mayoría de las veces también requiere la modificación de hábitos, usos y costumbres de la población, lo que no es nada fácil de lograr (González 2012).

En Uruguay y, particularmente en Montevideo, a partir del siglo XXI se ha producido un aumento muy importante de la flota vehicular, con una importantísima incorporación de autos y motos principalmente. Esto ha llevado a que los niveles sonoros asociados al tránsito hayan aumentado notoriamente, sobre todo, en el entorno de las vías más transitadas, repercutiendo en la salud y confort de la población expuesta. Si bien los efectos adversos al sistema auditivo no son los más notorios, los efectos extra auditivos como la reducción de la calidad del sueño, el debilitamiento del sistema inmunológico o el incremento de la agresividad debido a modificaciones en los niveles de secreción de ciertas hormonas, son los efectos más frecuentes, generando una pérdida de calidad de vida para la población circundante (Giraldo 2012).

Por tanto, la gestión de la ciudad desde un punto de vista acústico resulta importante para mitigar situaciones conflictivas actuales y prevenir la aparición de futuras.

En el 2000 se llevó a cabo un estudio pormenorizado de la caracterización del ambiente sonoro urbano de la ciudad de Montevideo asociado, principalmente, al flujo de vehículos. Este presentó una serie de conclusiones y recomendaciones que permitieron optimizar los recursos, tanto humanos como económicos, para el diseño de campañas de medición, así como un modelo de predicción del ruido asociado al tránsito clasificado. Con estas conclusiones y recomendaciones, las autoridades pueden realizar mapas acústicos de la ciudad de modo clasificar zonas urbanas asociadas a sus usos, donde imponer distintas condicionantes para preservar su calidad acústica. En 1999, la División de Desarrollo Ambiental de la Intendencia de Montevideo publicó el primer Mapa Acústico de Montevideo (IMFIA-Intendencia de Montevideo 1999).

Sin embargo, dichos esfuerzos se realizaron a fines del siglo XX y la situación montevideana ha cambiado sustancialmente desde aquellos años. Por tanto, se plantean las siguientes interrogantes: ¿siguen siendo válidas luego de 16 años las recomendaciones planteadas para el diseño de campañas de medición eficientes y eficaces? ¿y el modelo predictivo? ¿sus resultados siguen siendo vigentes luego de que la flota uruguaya ha variado de forma tan significativa? La presente investigación pretende dar respuesta a tales consultas.

1.2. **Objetivos generales y específicos**

Como objetivo general de la presente investigación se busca contribuir al conocimiento actual de la situación sonora de la ciudad de Montevideo, a través de la caracterización de las principales fuentes contribuyentes y su aporte al ambiente sonoro capitalino. Particularmente, se busca la identificación y articulación de medidas prácticas y confiables que permitan diagnosticar la situación actual así como gestionar futuras intervenciones urbanas, en lo que respecta a sus inmisiones sonoras.

El presente trabajo tiene como objetivo específico analizar si dichas conclusiones y recomendaciones siguen siendo válidas en la actualidad, dado el largo período de tiempo que ha transcurrido desde que fueron realizadas. Por lo tanto, los objetivos específicos de este trabajo se pueden discriminar en los siguientes:

- Analizar la vigencia de las conclusiones alcanzadas por González (2000a) en su tesis doctoral respecto de los tiempos de muestreo mínimos recomendados para la ciudad de Montevideo, específicamente para zonas urbanas con flujo medio de vehículos.
- Analizar la vigencia de las conclusiones alcanzadas por González (2000a) con respecto a la presencia e importancia de los anómalos acústicos¹ en el ambiente sonoro montevideano, específicamente asociado a zonas urbanas con flujos vehiculares medios.
- Analizar la vigencia del modelo de predicción de ruido de tráfico urbano propuesto por González (2000a) a partir del tránsito clasificado en la realidad actual de la ciudad de Montevideo, específicamente asociado a zonas urbanas de flujo medio de vehículos.

Como lugar característico de un ambiente urbano con tráfico medio de vehículos, se seleccionó la zona definida por la avenida General Rivera entre las calles Acevedo Díaz y Juan Paullier. Mayor detalle del trabajo de campo se presenta en la sección correspondiente.

1.3. **Contenido del informe**

El presente informe incluye en una serie de secciones temáticas, donde se aborda los distintos aspectos relevantes de la investigación realizada. Estas se desarrollan según la siguiente disposición y contenido:

□ **Sección I: Introducción**

Esta sección presenta un resumen del problema abordado, los objetivos generales y específicos de la investigación, y su justificación.

□ **Sección II: Marco teórico. Estado del arte y situación en Montevideo y Uruguay**

En esta sección se presenta el marco teórico que sustenta el desarrollo de la investigación y la situación actual uruguaya y montevideana.

Particularmente, se presenta una descripción de las emisiones sonoras generadas por el tráfico rodado y una caracterización de la flota vehicular uruguaya y, específicamente, la capitalina. Adicionalmente se incluye la revisión bibliográfica relativa a la optimización del tiempo de muestreo, la existencia de anómalos acústicos y el modelo de predicción de ruido de tránsito rodado urbano. Aquí se presenta el desarrollo, las conclusiones y recomendaciones realizadas por González (2000a) así como producida por diversos autores, entre el año 2000 a la fecha.

Esta sección es complementada por el Anexo I, el que contiene una descripción de los conceptos básicos relevantes.

¹ Su definición y descripción se presenta en el capítulo 5.

□ **Sección III: Trabajo de campo**

Esta sección presenta el trabajo de campo realizado, desde el equipamiento seleccionado hasta la metodología utilizada. Adicionalmente, aquí se presentan los principales resultados obtenidos en cada campaña de medición, mientras que la totalidad de los resultados se incluyen en el Anexo II. En el Anexo III se presentan los datos crudos relevados en cada campaña.

□ **Sección IV: Discusión de resultados**

Esta sección corresponde al núcleo de la presente investigación, donde se incluye el desarrollo deductivo realizado, los resultados obtenidos y su discusión. Se presentan de forma separada el análisis estadístico, la optimización del tiempo de muestreo, la identificación de los anómalos acústicos observados y el análisis del modelo de predicción. Adicionalmente, se presenta la discusión de los resultados obtenidos, su comparación con las conclusiones y recomendaciones realizadas por González (2000a) y su relación con la situación actual montevideana.

□ **Sección V: Conclusiones**

Se presentan las principales conclusiones del estudio realizado así como las líneas de investigación a futuro.

□ **Sección VI: Bibliografía**

Aquí se presentan las principales conclusiones alcanzadas durante la investigación, haciendo especial énfasis en la vigencia de las recomendaciones realizadas por González (2000a). Adicionalmente, se discuten las dificultades encontradas y se presentan las futuras líneas de investigación.

A modo de complementar, se incluyen los siguientes anexos:

□ **Anexo I: Conceptos teóricos generales.**

Se presentan los conceptos teóricos generales asociados al problema en estudio.

□ **Anexo II: Resultados por campaña.**

Aquí se presenta la totalidad de los resultados obtenidos en el análisis de cada campaña de monitoreo.

□ **Anexo III: Relevamiento de campo – Datos**

Se presentan los datos crudos relevados durante el trabajo de campo. Debido a su extensión se presentan únicamente en formato digital.

***SECCIÓN II: MARCO TEÓRICO. ESTADO DEL ARTE Y
SITUACIÓN EN MONTEVIDEO Y URUGUAY***

2. INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de contextualizar el problema abordado, en esta sección se presenta una revisión bibliográfica y una caracterización de los diversos aspectos vinculados a la temática.

Para ello, se aborda la caracterización acústica del tráfico rodado, desde sus principales características hasta las particularidades de cada tipo de vehículo. A partir de su estudio es que se analiza el ambiente sonoro urbano.

Luego, se introduce la realidad montevideana a partir de las principales características de la flota vehicular nacional y, especialmente, la capitalina. Se hace especial hincapié en las variaciones que ha sufrido el parque automotor desde fines del siglo pasado hasta la fecha.

Posteriormente, se presenta la revisión bibliográfica del estado actual del conocimiento respecto de dos conceptos que se desarrollarán a lo largo de esta investigación: el mínimo tiempo de muestreo necesario y su optimización, y la existencia de anómalos acústicos. Aquí se presenta la investigación realizada por González (2000a), sus recomendaciones y conclusiones alcanzadas, así como las principales referencias internacionales relacionadas a estas temáticas.

Por último, se presenta el modelo de predicción de niveles sonoros asociados al tránsito urbano de Montevideo propuesto por González (2000a), su desarrollo y sus principales conclusiones.

Adicionalmente, se presenta en el Anexo I una serie de conceptos básicos asociados a la temática general del ruido.

Por tanto, con esta *Sección II: Marco teórico. Estado del arte y situación en Montevideo y Uruguay*, se pretende introducir al lector a los conceptos teóricos principales que sustentan esta investigación, a las variaciones que ha sufrido la flota vehicular montevideana y al estado del arte internacional respecto de los puntos abordados.

3. EMISIONES SONORAS DEL TRÁFICO RODADO

El ruido generado por el tráfico corresponde a la suma de las emisiones acústicas generadas por los distintos vehículos que lo integran, sobre un nivel de base producto del funcionamiento propio de la ciudad.

Si la intensidad del tráfico en una vía es baja, la distancia media entre vehículos será amplia con períodos de tiempo durante los cuales el ruido de fondo queda determinado por las demás fuentes asociadas a un entorno urbano. Sin embargo, a medida que la intensidad de tráfico aumenta, la distancia media entre vehículos disminuye y cada vez se percibe menos el ruido de fondo y cada vez más el ruido de los vehículos se hace dominante. En este último caso, la vía podría asemejarse a una fuente lineal caracterizada por una cierta potencia acústica por unidad de longitud, a diferencia de una fuente puntual con la que se idealiza el vehículo individual (Harris 1995).

Estas variaciones en la predominancia del ruido ocasionado por el tráfico corresponden al carácter semi aleatorio del flujo de vehículos, tanto en su presencia como en su composición. Por tanto, las variaciones de sus emisiones en el tiempo están causadas, entre otros elementos, por:

- ☐ El carácter semi aleatorio del tráfico.
- ☐ La existencia de vehículos con muy distintas características mecánicas y emisiones acústicas.
- ☐ Las distintas velocidades de circulación, directamente relacionadas con la emisión sonora que cada vehículo produce.
- ☐ La forma de conducción.
- ☐ El estado de conservación del vehículo.
- ☐ La fluidez del tráfico.
- ☐ La pendiente de la vía de circulación.
- ☐ Las condiciones de propagación sonora desde la vía de circulación al observador.
- ☐ El trazado de la vía y el estado de su pavimento.

El propio perfil de la vía también influye sobre la propagación de las emisiones sonoras. Este puede ser de tres tipos: abierto, de tipo “L” y de tipo “U”. El perfil abierto ocurre cuando no hay superficies reflectantes cercanas, es decir, se puede considerar que la propagación ocurre en campo libre. El perfil de tipo “L” se produce cuando existe un único plano de fachadas a lo largo de la vía (por ejemplo, en una calle con edificación en uno de sus lados y una plaza en el otro), mientras que el perfil tipo “U” corresponde a vías con dos planos de fachadas y es el típico de las calles urbanas.

El perfil tipo “L” puede aumentar en hasta 3 dB el nivel cercano a la fachada, mientras que el perfil tipo “U” puede aumentar algo más inclusive, produciendo además un efecto reverberante. Cuando las superficies son irregulares, con presencia de balcones, porches, etc. (reflexión difusa), el ruido se puede ver algo reducido con respecto al caso en que el plano de fachadas sea uniforme (reflexión especular) (Miyara 2004).

A continuación, se presenta una caracterización de las emisiones sonoras generadas por los vehículos en general y, luego, según su tipología.

3.1. Emisiones acústicas generadas por los vehículos

Las emisiones acústicas de los vehículos se pueden clasificar según su origen. Estas pueden ser de origen mecánico, producto de la rodadura (interacción de los neumáticos con el pavimento), y/o de origen aerodinámico.

Para ambientes urbanos también es muy importante el comportamiento del conductor al volante, ya que las fuertes aceleraciones y frenadas, y el aumento de las revoluciones del motor en situaciones de tránsito denso pueden aumentar en hasta unos 15 dBA los niveles, si se los compara con un conductor moderado (Ataz y de Mera Morales 2004).

A continuación, se presenta brevemente los distintos orígenes del ruido generado por el tránsito rodado.

3.1.1. Ruido mecánico

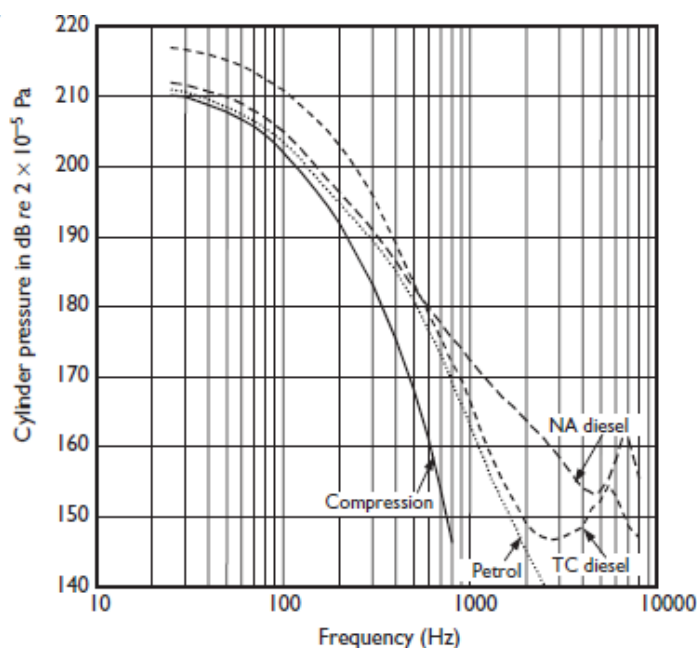
El ruido mecánico está compuesto por fuentes que están asociadas al motor y a los elementos mecánicos que componen el vehículo, siendo las principales el motor propiamente dicho, la transmisión, el escape, y las tomas y salidas de aire (Miyara 2004).

En las últimas décadas, el ruido proveniente del motor ha sido ampliamente estudiado, principalmente debido a que en el pasado era una de las principales fuentes emisoras (Fahy y Walker 2004).

En la actualidad, si bien el estudio de fuentes alternativas de energía para la propulsión de vehículos se encuentra en plena investigación, casi la totalidad de los vehículos tiene motores de combustión interna. Estos producen su energía mediante la ignición de una mezcla de combustible y aire, y utilizan los cambios de presiones para mover el mecanismo de biela y manivela del pistón. Ambos procesos, la ignición y el funcionamiento de la manivela del pistón, son las principales fuentes de emisión acústica del motor (Fahy y Walker 2004).

Según Fahy y Walker (2004) el proceso de combustión y funcionamiento del motor produce un espectro dominado por bajas frecuencias con armónicos en la mitad de la frecuencia de rotación del motor (frecuencia de encendido de cada cilindro). Adicionalmente, cuando este espectro se combina con la respuesta generada por la rigidez del motor, se genera un espectro controlado por frecuencias medias (500 Hz – 3.000 Hz). La tasa de aumento de presión es, sin duda, el parámetro más importante por su efecto directo sobre el aumento de las frecuencias medias, que dominan la mayoría de los espectros sonoros generados por motores de combustión interna.

Dependiendo del tipo de combustible y el sistema de inyección que utilice el motor, las variaciones en las tasas de incremento y descenso de la presión se ven afectadas. Los motores diésel generalmente emiten mayor nivel sonoro que los motores a nafta, para las mismas velocidades (Braun *et al.* 2013). En la Figura 3-1, se presenta un espectro de emisión típico para diferentes combustibles.

Figura 3-1 Espectro típico del funcionamiento de motores de combustión interna para diversos combustibles

Fuente: (Fahy y Walker 2004).

Por otro lado, dentro del ruido mecánico se encuentra el originado por la transmisión. Según Hand citado por Sanz Vila (2013), la potencia acústica emitida por la transmisión aumenta con la velocidad aproximadamente entre 6 a 8 dB cada vez que esta dobla su magnitud. Adicionalmente, si la potencia mecánica aumenta al doble, el incremento esperado será entre 2,5 y 4 dB.

Adicionalmente, el ruido asociado al escape y la admisión de aire resulta otra fuente importante en la emisión de un vehículo. Según Fahy y Walker (2004) el ruido por ingreso de aire al vehículo se genera cuando el caudal de aire entrante es abruptamente interrumpido por el cierre de las válvulas de admisión. Este pulso, producido por el cierre abrupto, viaja en contra del flujo de aire por el conducto hasta su ingreso al vehículo y se irradia como energía acústica. Según Sanz Vila (2013), la potencia acústica generada por el ingreso de aire puede incrementarse entre 10 a 15 dB desde un estado de reposo del motor hasta un estado de máxima carga/aceleración.

De una manera similar, el escape de gases genera ruido cuando la válvula de escape se abre y libera rápidamente la presión residual del proceso de combustión, generando un pulso de presión que se propaga por el sistema con el flujo, cuya velocidad puede ser relativamente alta (Mach alrededor de 0,3 a plena carga), y luego se irradia desde el final del conducto (caño de escape) como ruido. Estas emisiones varían considerablemente según el tipo de motor y la carga, dependiendo de las configuraciones de las válvulas y las características temporales de apertura y cierre (Fahy y Walker 2004). Según Sanz Vila (2013), la potencia sonora producida por el escape puede variar hasta 15 dB.

3.1.2. Ruido de rodadura

El ruido de rodadura corresponde al ruido generado por la interacción entre el neumático y el pavimento, y está relacionado al tamaño de las cavidades en cada uno, y a la presión que ejerza el neumático y la rugosidad del pavimento, según lo expone Favre y Pachiaudi (citado por Fahy y Walker, 2004).

Cuando el neumático de un vehículo en movimiento entra en contacto con el pavimento, sobre el segmento de apoyo se ejerce una presión expulsando el aire que se encontraba entre sus huellas. Una vez finalizado el contacto, el segmento retoma su forma y dimensiones originales aspirando aire nuevamente entre sus cavidades. Según Hayden (citado por Fahy y Walker, 2004) este fenómeno de succión genera uno de los ruidos más significativos del tránsito rodado.

Adicionalmente, el mismo mecanismo ocurre sobre el pavimento cuando este es poroso y flexible. Según Kanaizumi (citado por Fahy y Walker, 2004) la succión producida por la deformación del neumático es dominante en un pavimento liso, mientras que la succión producida por el pavimento poroso es dominante si el neumático es liso. La situación real de un vehículo estará entre estas dos situaciones ideales.

En forma paralela, irregularidades en el dibujo del neumático y en la textura del pavimento crean vibraciones que se trasladan hacia la llanta y emiten ruido. Tales vibraciones son causadas por los esfuerzos radiales y tangenciales.

Según Sandberg (2001) las emisiones producto del ruido de rodadura crecen de forma aproximadamente logarítmica con la velocidad.

Entre las fuentes de ruido de tráfico, el ruido de rodadura es el principal contribuyente a velocidades superiores a 40 km/h, especialmente en vehículos livianos (los más frecuentes en entornos urbanos). Sin embargo, para los vehículos pesados, a esta velocidad aún hay una predominancia del ruido del motor (Freire Cabral *et al.*, 2013).

3.1.3. Ruido aerodinámico

El ruido aerodinámico se produce por la interacción de la carrocería del vehículo y el aire, generándose dos flujos: uno sobre la carrocería, y otro entre esta y el pavimento.

Un vehículo con un buen diseño aerodinámico será más silencioso, ya que generará menor desprendimiento de vórtices. Los factores que determinan la resistencia aerodinámica al avance del vehículo corresponden al tamaño y forma de la carrocería, la velocidad relativa del vehículo con respecto a la del aire y la densidad de este. Otro factor importante corresponde a la rugosidad de superficie de la carrocería. Esta puede ser rugosa generando desprendimientos de vórtices, o puede ser lisa de manera que el flujo se mantenga laminar dentro de la capa límite. Esta segunda opción es la que genera menor resistencia aerodinámica.

Según Gayo (2006), el ruido aerodinámico es muy significativo a velocidades mayores de 100 km/h y, según Fahy y Walker (2004), solamente se convierte en una fuente significativa con velocidades mayores a 110 km/h para vehículos livianos. Miyara (2004) sin embargo, indica que el ruido aerodinámico corresponde a la fuente predominante a velocidades superiores a 80 km/h. Si bien hay diferencia entre los autores, el tránsito urbano se caracteriza por velocidades menores, por lo que el ruido aerodinámico no constituye una fuente relevante en el este entorno.

3.2. Emisiones sonoras generadas por los distintos tipos de vehículos

El tráfico está compuesto por un gran conjunto de vehículos de distinto tipo y condiciones de mantenimiento, y su proporción relativa varía sustancialmente según el mes, día y hora.

Con respecto a su emisión sonora, los vehículos se clasifican en:

- ☐ Vehículos livianos, vehículos con peso en carga menor a 3,5 t.
- ☐ Vehículos pesados, discriminados en ómnibus y camiones. Vehículos con peso en carga superior a 3,5 t.
- ☐ Vehículos birrodados motorizados, principalmente motos.

A continuación, se presenta una caracterización de las emisiones sonoras de cada tipo de vehículo.

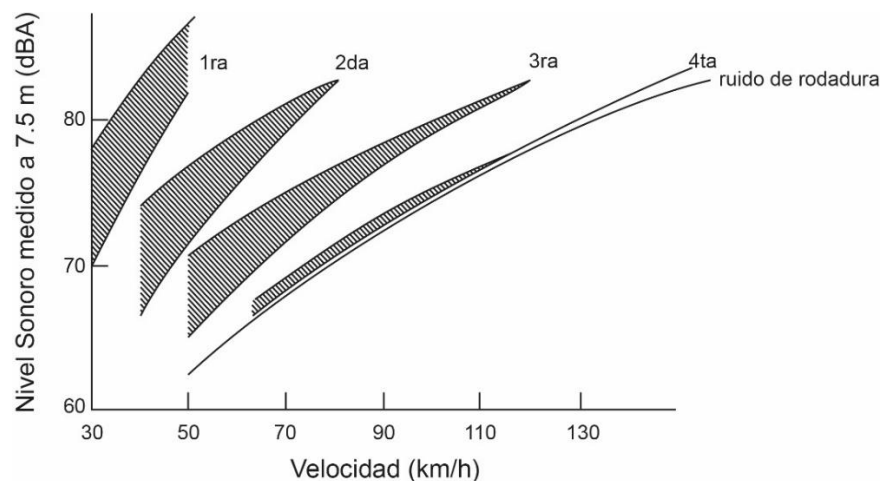
3.2.1. Automóviles

La emisión sonora total de un vehículo corresponde a la suma de las fuentes principales presentadas en el numeral 3.1, donde cada una contribuye según la velocidad de giro del motor, salvo la originada por la interacción entre los neumáticos y el pavimento, que depende de la velocidad de desplazamiento. La relación entre estas dos variables: velocidad de giro del motor y velocidad de desplazamiento está determinada por la marcha que se esté utilizando (Lamure 1986). En la Figura 3-2 se presenta su relación con el nivel de presión sonora emitidos por vehículos livianos. Adicionalmente, De Siles (citado por Giraldo, 2012) presenta un esquema sobre la variación del nivel de ruido de vehículos ligeros y pesados, la que se presenta en la Figura 3-3.

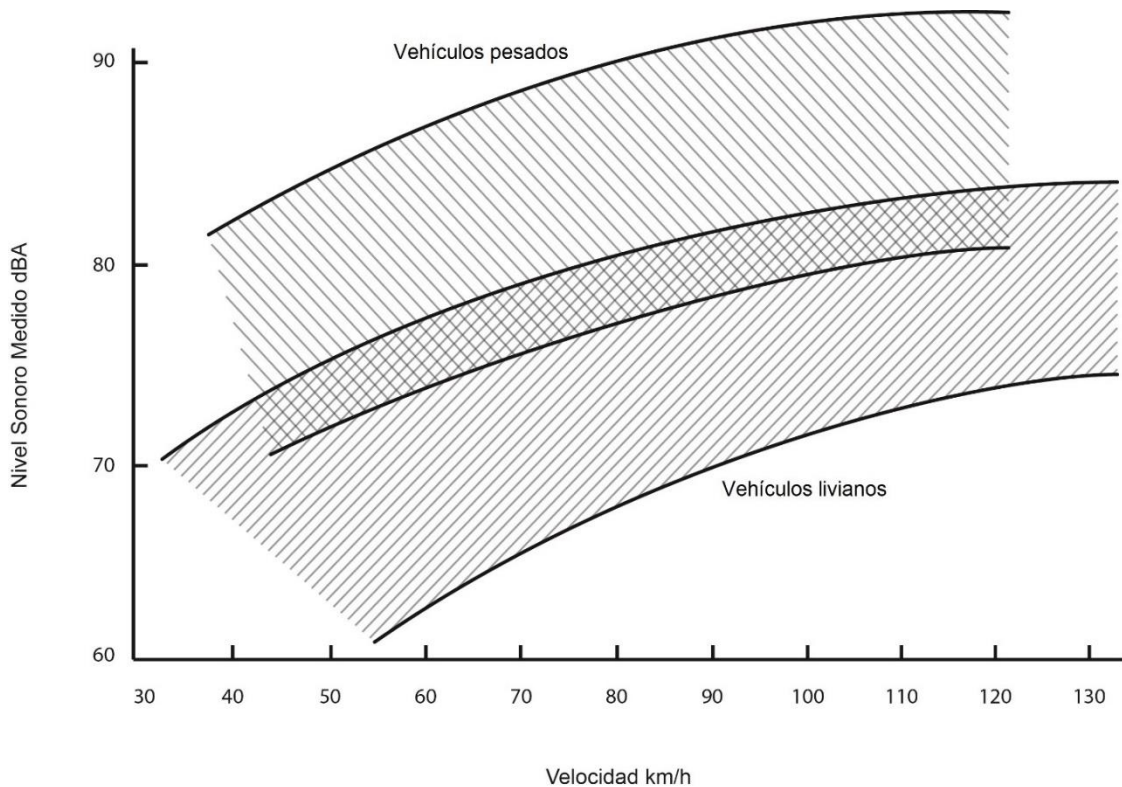
En el 2013 Peral-Orts *et al.* (2013) analizaron los niveles sonoros producidos por los vehículos de Valencia, España, a partir del registro de los niveles de emisión sonora relevados en las Estaciones de Inspección Técnica de Vehículos de la Comunidad. Su objetivo correspondió al análisis de la tendencia sonora de las diferentes familias de vehículos en función del paso de los años y los kilómetros recorridos. Contaron con siete años de registros.

En su trabajo concluyeron que los niveles sonoros aumentan con la antigüedad del vehículo, aunque, en esta instancia, no pueden definir si corresponde al deterioro sonoro de la propia maquinaria con el pasar de los años o a la constante mejora en la tecnología del sector automotriz en materia de emisiones sonoras, reflejada en las unidades más nuevas. Asimismo, contrario a la creencia popular, no encontraron una relación ni proporcionalidad entre el kilometraje del vehículo y sus emisiones sonoras.

Figura 3-2 Emisiones sonoras de vehículos livianos según la marcha



Fuente: Traducido de Lamure (1986).

Figura 3-3 Variación del nivel de ruido de vehículos ligeros y pesados

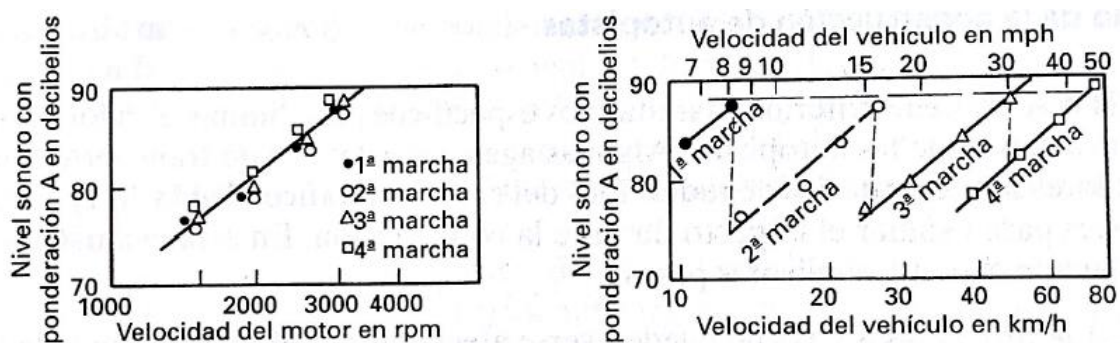
Fuente: De Siles (citado por Giraldo, 2012).

3.2.2. Tránsito pesado

El ruido producido por el tránsito pesado está fuertemente ligado a su régimen de funcionamiento y depende principalmente del sistema de propulsión y de sus neumáticos.

El sistema de propulsión está compuesto por el motor, el escape, la toma de aire, el ventilador y otros equipamientos auxiliares. El nivel de ruido emitido depende fundamentalmente de la velocidad de giro del motor en cada marcha del camión (Harris 1995).

En la Figura 3-3 ya presentada, se puede apreciar la variación del nivel de presión sonora de los vehículos pesados en función de la velocidad de circulación. Adicionalmente, en la Figura 3-4 parte a) se presenta la relación entre el nivel sonoro emitido, la velocidad de giro del motor y la velocidad de desplazamiento del camión. Como se puede apreciar en la Figura 3-4 parte b), no existe una relación entre la velocidad y el nivel sonoro generado, salvo indirectamente a través de la velocidad de giro del motor.

Figura 3-4 Niveles sonoros de camión diésel en función de la velocidad de giro del motor y de la velocidad final, medido a 7,5 m.

Fuente: (Harris 1995).

Adicionalmente, la interacción entre las ruedas y la vía emitirá un nivel sonoro que depende del tipo de neumático utilizado y del tipo de pavimento. Este podrá ser entre 6 a 10 dBA superior al emitido por un vehículo liviano, dependiendo fuertemente de la cantidad de neumáticos que posea el vehículo pesado (Sandberg 2001).

Dado que el nivel sonoro generado por el sistema de propulsión es relativamente constante durante la marcha desarrollada (ya que depende de velocidad de giro del motor), existe una velocidad crítica por encima de la cual el ruido de rodadura pasa a ser la fuente principal del ruido a altas velocidades. Esta velocidad crítica dependerá fuertemente de la tipología de camión y del tipo y número de ruedas incluyendo las del remolque.

En 2009 González realizó una caracterización de la emisión sonora generada por los vehículos pesados de la flota uruguaya a partir de ensayos realizados en estado estacionario² discriminando por edad del vehículo y lugar de empadronamiento: Montevideo e interior del país. Este trabajo se realizó con el fin de caracterizar acústicamente la flota nacional de vehículos de carga (camiones) y vehículos de pasajeros (ómnibus), en el marco de los relevamientos iniciales del Grupo de Estandarización en Acústica (Gesta Acústico) (González 2009). A continuación, se presentan sus principales conclusiones:

□ Vehículos pesados de carga (camiones):

- Los niveles de emisión sonora de los vehículos de carga son más elevados que los correspondientes a vehículos de transporte de pasajeros.
- Los vehículos de transporte de carga empadronados en Montevideo poseen un estado algo mejor que los empadronados en el interior del país.
- Los niveles sonoros emitidos difieren según la antigüedad del vehículo: a) los vehículos de antigüedades de hasta 10 años presentan un comportamiento diferenciado a los vehículos de mayor edad; y b) dentro del conjunto de vehículos de carga de más de 10 años de antigüedad no se aprecia una variación significativa conforme aumenta su antigüedad.
- Los vehículos de carga empadronados en Montevideo de hasta 10 años de antigüedad alcanzan valores máximos aproximados de hasta 97 dBA. Los vehículos de mayor antigüedad alcanzan valores máximos aproximados de hasta 103 dBA.
- Los vehículos de carga empadronados en el interior presentan un comportamiento similar a los empadronados en Montevideo, pero se aprecian valores de emisión máxima superiores. Los vehículos de hasta 10 años de edad presentan valores de emisión máxima aproximada de hasta 103 dBA, mientras que los vehículos de mayor antigüedad presentan valores emisión aproximada de hasta 114 dBA.

□ Vehículos pesados de transporte de pasajeros (ómnibus):

- Los vehículos de transporte de pasajeros empadronados en Montevideo poseen un estado algo peor que los empadronados en el interior del país.
- Los niveles de emisión sonora de los vehículos de transporte de pasajeros son menos elevados que los correspondientes a vehículos de transporte de carga.
- Los niveles sonoros emitidos difieren según su antigüedad y poseen comportamientos diferenciados según cada intervalo etario.
- Según la serie analizada por González, los vehículos empadronados en Montevideo alcanzan valores máximos aproximados de hasta 100 dBA para vehículos de más de 20 años de antigüedad y valores máximos aproximados de hasta 94 dBA para vehículos de menos de 10 años de antigüedad. El comportamiento de los vehículos empadronados en el interior es similar con valores algo superiores. Para vehículos de más de 20 años los valores de emisión alcanzan máximos aproximados de hasta 105 dBA, y de 96 dBA para los vehículos de menos de 10 años de antigüedad.

² Se consideró únicamente emisiones por escape.

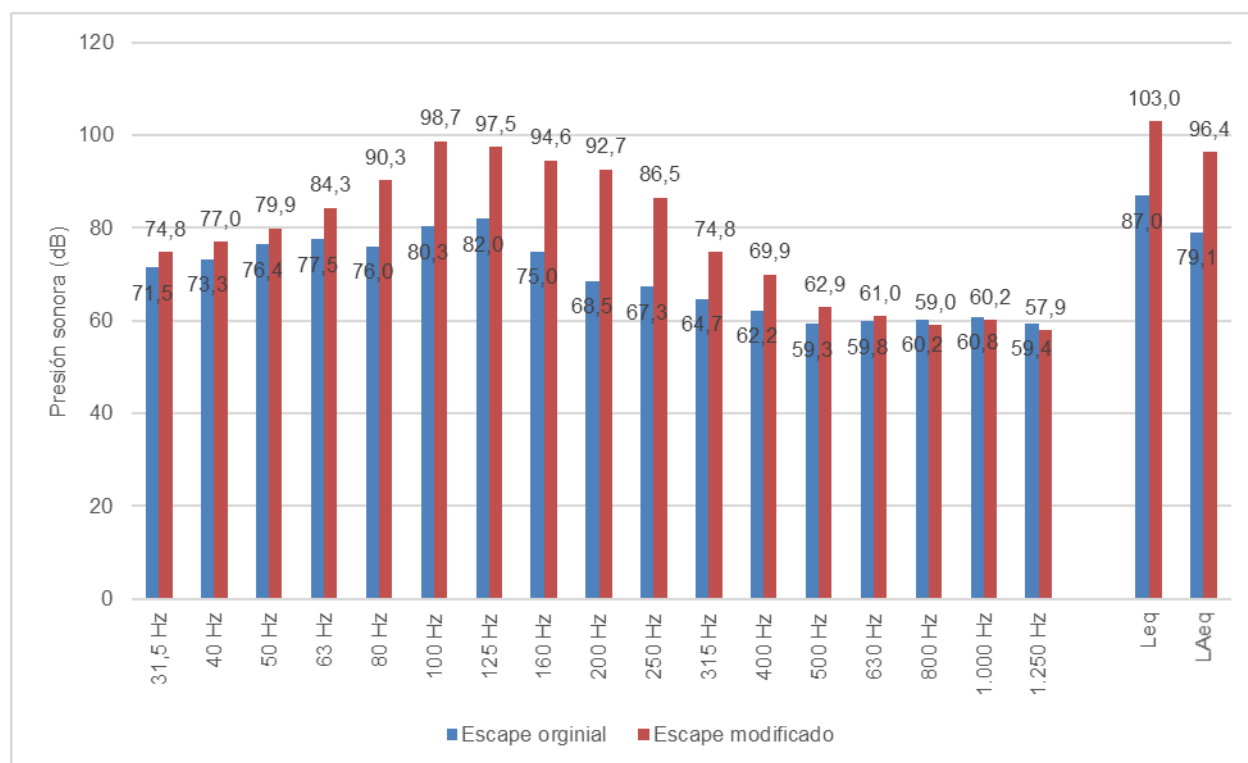
3.2.3. Motos

Caracterizar acústicamente la emisión de las motos resulta de suma importancia, ya que en la actualidad es un medio de transporte ampliamente usado, principalmente en entornos urbanos y semi urbanos. Sus bajos costos de adquisición y mantenimiento, y la posibilidad de estacionar prácticamente en cualquier lado son algunas de las ventajas que han impulsado su fuerte crecimiento. Particularmente en Uruguay, en los dos, tres años se ha producido un descenso de la adquisición de nuevas unidades (ver capítulo 4), pero, sin duda, sigue siendo uno de los medios favoritos de transporte de algunos sectores, principalmente asociados al reparto de objetos de pequeñas dimensiones (*deliverys*).

En ocasiones, los propietarios de las motos rempazan el sistema de caño de escape original por uno de competición, considerablemente más ruidoso. Esto conlleva a que motos pequeñas sean grandes emisoras de ruido.

Para caracterizar tal emisión, Pérez Villalobo *et al.* (2013) realizaron una caracterización de la potencia acústica de estos vehículos, tanto en su condición de sistema de escape original, como modificado. A continuación, se presenta sus resultados (Figura 3-5), para motos cuando el motor funciona en ralenti (1.400 rpm).

Figura 3-5 Niveles de presión sonora de motos con sistemas de escape original y modificado, en ralenti (1.400 rpm)



Fuente: (Pérez Villalobo *et al.* 2013).

Como se puede apreciar, las motos, principalmente aquellas con el sistema de escape modificado, constituyen una gran fuente de emisión de ruido con niveles que pueden superar largamente los 80 dBA.

4. PARQUE AUTOMOTOR URUGUAYO

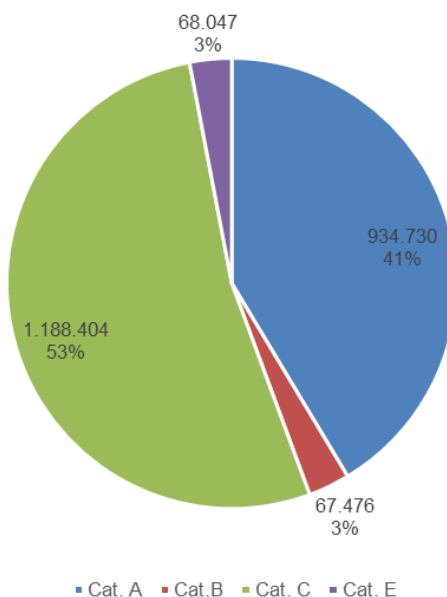
La emisión de ruido del tráfico rodado en condiciones urbanas, depende fuertemente del estado de conservación y mantenimiento del motor, sistema de escape y demás componentes mecánicas del vehículo, y la interacción entre el neumático y el pavimento. En resumen, depende fuertemente del estado del parque automotor local. Por tanto, a continuación, se describe el estado del parque automotor uruguayo, tanto en sus componentes como en su evolución en los últimos años.

El Sistema Único de Cobro de Ingresos Vehiculares (en adelante SUCIVE) posee una caracterización del parque automotor uruguayo actual, discriminado por año de fabricación del vehículo, departamento de empadronamiento y tipología. Esta clasificación discrimina la flota en:

- Categoría A: compuesta por autos, camionetas, vehículos sin chofer o de alquiler, ambulancias, casas rodantes con propulsión propia, carrozas fúnebres, furgones, ómnibus y micros.
- Categoría B: compuesta por camiones.
- Categoría C: compuesta por motos, ciclomotores, motonetas, triciclos y cuadriciclos.
- Categoría E: compuesta por zorras, remolques, casas rodantes sin propulsión propia e industrial-agrícola.

A continuación, se presenta la distribución de la flota uruguaya actual en dichas categorías, aunque, a los efectos del presente trabajo de investigación, son relevantes únicamente las categorías A, B y C.

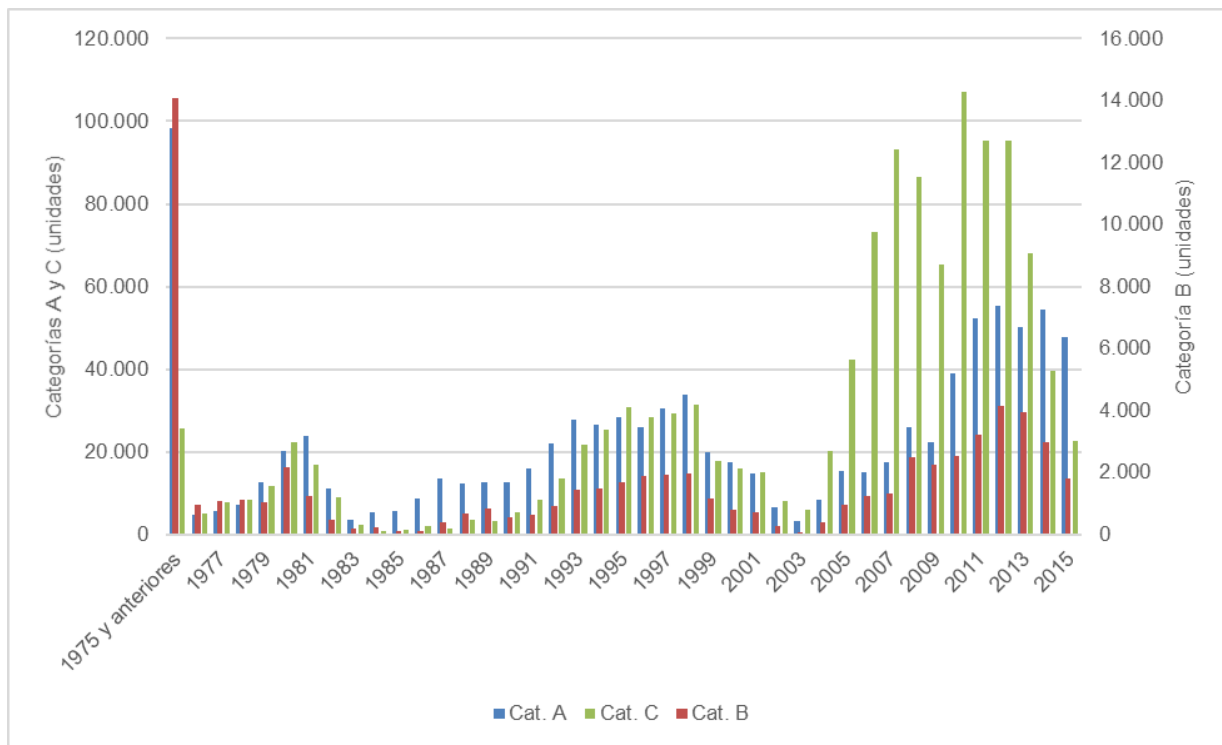
Figura 4-1 Parque automotor actual - distribución según categorías A, B, C y E



Fuente: (SUCIVE 2016). Serie 1975 y anteriores hasta 2015 inclusive.

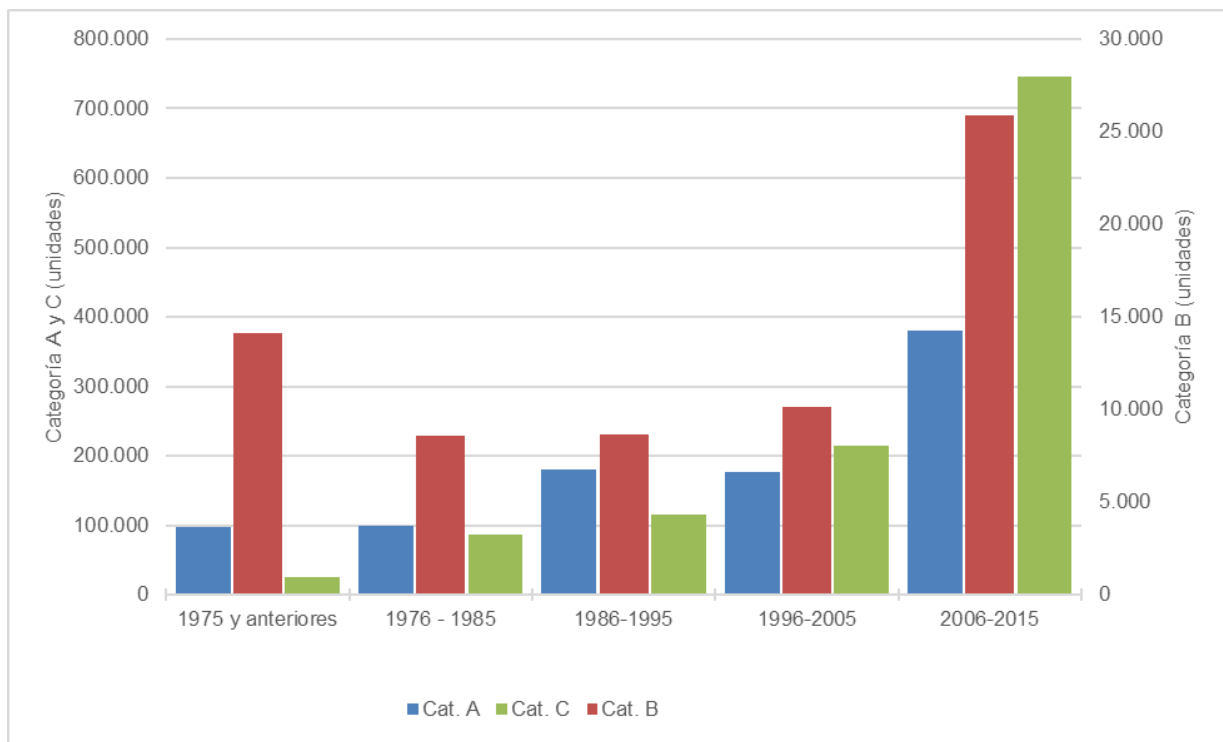
A partir de la Figura anterior se puede apreciar el gran porcentaje de motos (principal componente de la categoría C), que representa el 53% del total de la flota uruguaya. En segundo lugar, las siguen los vehículos de la categoría A, principalmente autos y utilitarios, con el 41% del total.

Si se analiza el parque automotor actual por año de fabricación (Figura 4-2 y Figura 4-3), se observa que la flota uruguaya posee una fuerte componente de vehículos anteriores a 1976. Estos corresponden al 7% total de la flota y al 12% si se considera únicamente la categoría A. Por otro lado, si se consideran los vehículos con año de fabricación desde el 2000 a la fecha, estos representan el 53% de la categoría A (autos principalmente), 55% de la categoría B (camiones) y 73% de la categoría C (motos principalmente). O sea, aproximadamente el 50% de la flota uruguaya posee menos de 16 años de antigüedad.

Figura 4-2 Parque automotor – distribución por categorías y año de fabricación

Fuente: (SUCIVE 2016). Serie 1975 y anteriores hasta 2015 inclusive.

Si se observa la Figura 4-3 se puede apreciar cómo se distribuye la flota uruguaya por década de fabricación. Allí se observa la gran cantidad de autos (mayor componente de la categoría A) y motos (mayor componente de la categoría C) fabricados en la última década.

Figura 4-3 Parque automotor actual – distribución por categorías y año de fabricación agrupado por décadas

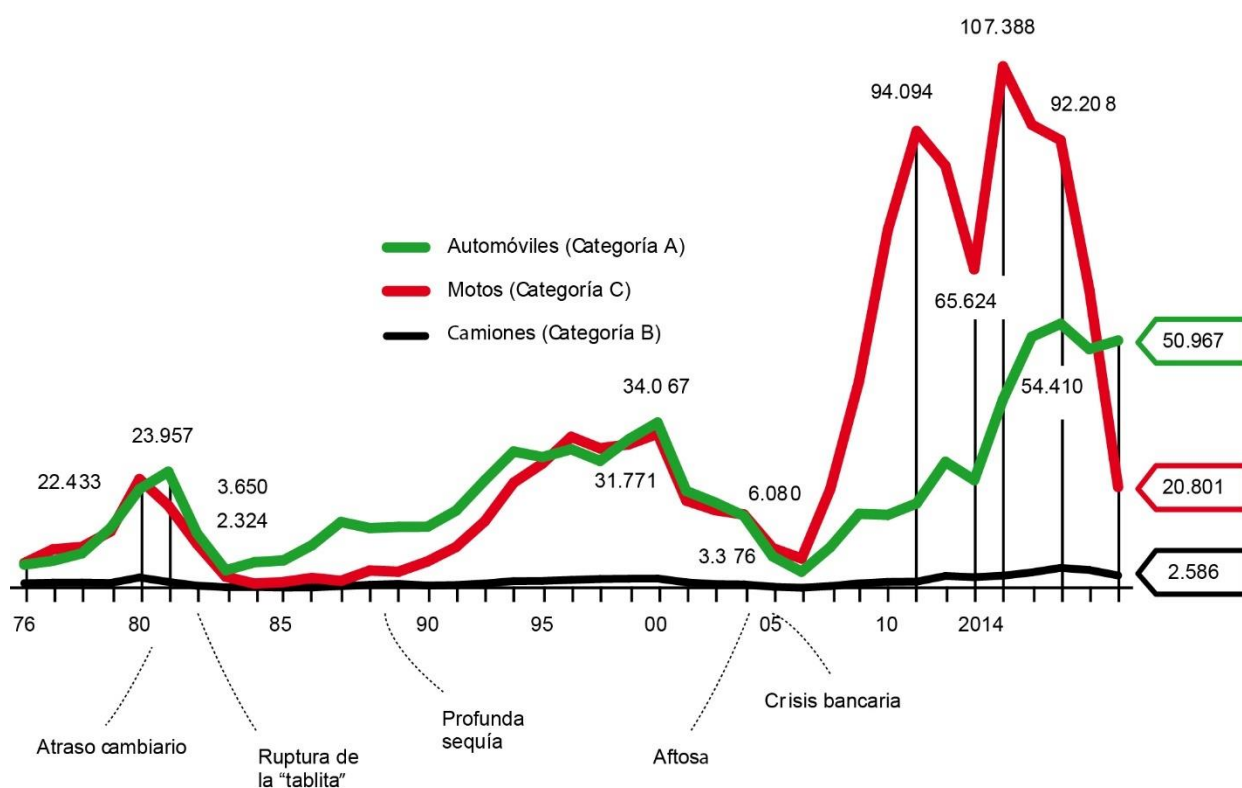
Fuente: (SUCIVE 2016). Serie 1975 y anteriores hasta 2015 inclusive.

Al analizar la evolución del empadronamiento vehicular a nivel nacional a lo largo del tiempo (incorporación de vehículos nuevos) representado en la Figura 4-2, se observa un crecimiento sostenido hasta los primeros años de la década del 80 y una caída abrupta hacia 1983. Luego, se observa un paulatino crecimiento hasta finales de la década del 90, con una caída marcada hacia 2003. Por último, se aprecia una tendencia creciente hasta 2012-2013, con una pequeña caída hacia 2015.

Si bien las categorías A, B y C presentan un andamio similar, se observa que la categoría C (motos principalmente) tiene una fuerte caída sobre el 2009 y luego sobre el 2013 hasta el 2015.

Esta tendencia en la variación de la adquisición de vehículos nuevos se explica, de forma muy generalista, con la evolución y grandes hitos de la economía uruguaya. La Asociación de Comercio Automotor del Uruguay (en adelante ACAU) lo explica de forma sintetizada en su Anuario 2014 (2014), la que se presenta en la Figura 4-4. Allí se aprecia la evolución macroeconómica de la economía uruguaya y su andamio, muy similar, con la adquisición de vehículos nuevos.

Figura 4-4 Nuevos ingresos al parque automotor y evolución de la economía uruguaya – principales relaciones



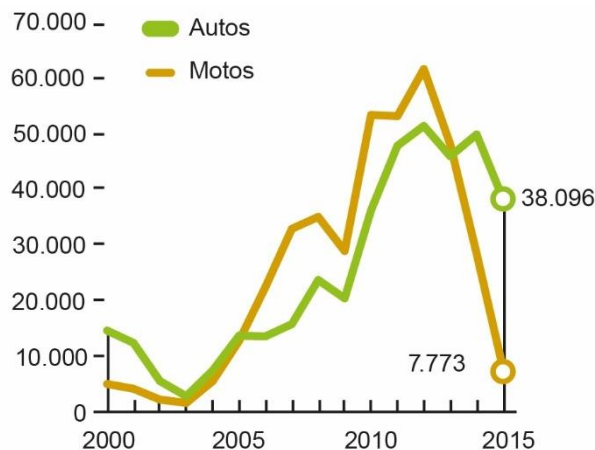
Fuente: (Asociación del Comercio Automotor del Uruguay 2014).

Por otro lado, en el 2014 se presentó el informe sobre los resultados de la encuesta de “Usos, Consumos y Rendimientos del Sector Transporte” realizada con el objetivo de estimar el parque automotor uruguayo asociado a hogares, sus consumos y eficiencias (Dirección Nacional de Energía 2014). En él se estimó que el parque automotor asociado a hogares en el 2013 correspondía a 1.190.631 vehículos, compuestos por 504.390 vehículos livianos (42%), 473.870 motos (40%), 37.484 pesados asociados a hogares (3%) y 174.877 bicicletas (15%) utilizadas como medio de transporte (no con fines recreativos).

Con respecto a su antigüedad, indicó que el parque automotor de vehículos livianos asociados a hogares al 2013 posee una antigüedad promedio de 13 años, que el 40% posee una antigüedad menor a 8 años y el 25% con una antigüedad menor a tres años. Adicionalmente, observó el importante aumento en la participación de los autos de procedencia china, particularmente luego del 2010 (Dirección Nacional de Energía 2014).

Sin embargo, si se observa la evolución del empadronamiento de motos se aprecia una variación en la tendencia general. Si bien en la última década ha aumentado sensiblemente la cantidad de motos existentes en la flota, según datos del Anuario 2015 de la ACAU (2015) en los últimos años se produjo una fuerte caída en el empadronamiento de motos con respecto al de autos en el mismo período, lo que, según esa fuente, podría significar que hay una tendencia a dejar de utilizar este medio de transporte (Figura 4-5). Según ACAU, la sociedad uruguaya está tendiendo a remplazar las motos por autos más accesibles, debido a la oferta más económica que se ha producido en los últimos años. Esta afirmación se complementa con lo ya informado por la Dirección Nacional de Energía (2014) en su encuesta de uso, donde, a partir del 2010, se observa una fuerte presencia de los autos de origen chino.

Figura 4-5 Evolución del empadronamiento de autos y motos – 2000 – 2015



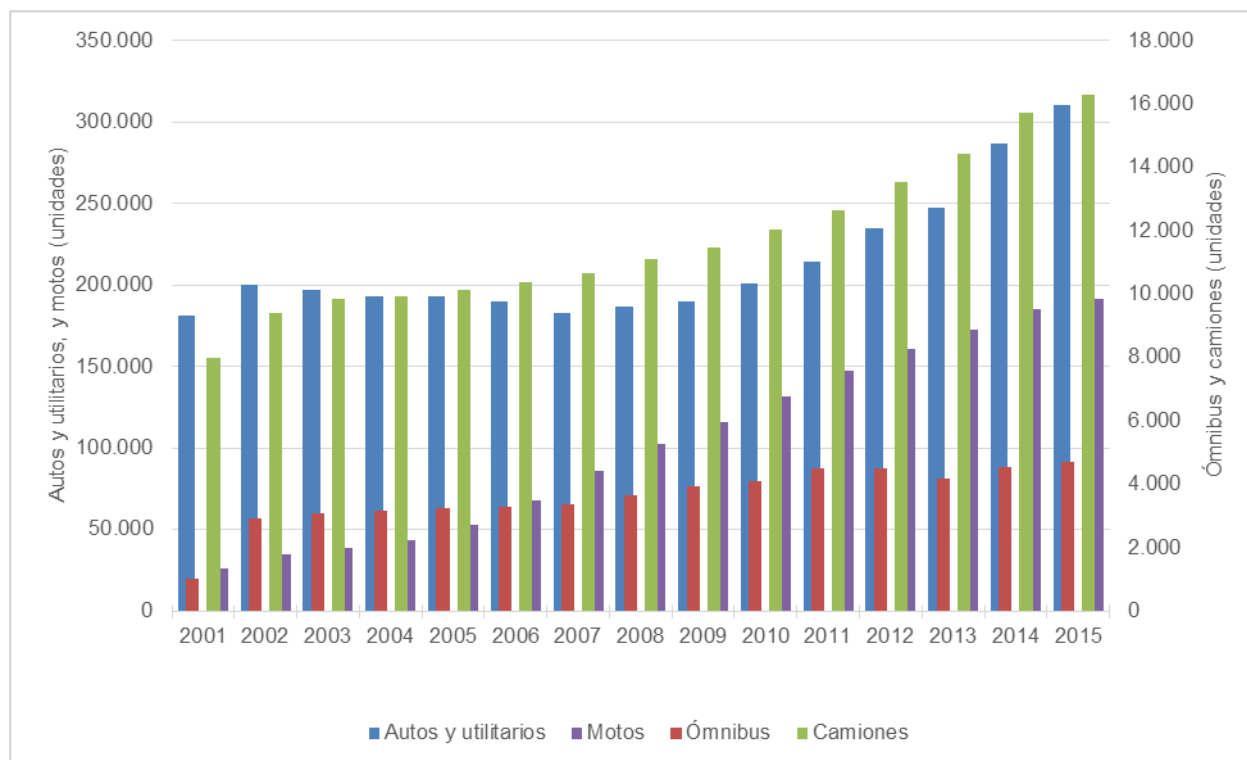
Fuente: (Asociación del Comercio Automotor del Uruguay 2015).

Por tanto, en el contexto nacional, se aprecia cómo, a partir del 2000, ha incrementado sensiblemente la flota uruguaya, particularmente en lo que respecta a autos y motos. Esta se ha duplicado.

Para ver la evolución a nivel departamental en Montevideo se analizaron los datos de empadronamiento publicados por la Unidad de Investigación y Desarrollo del Observatorio de Tránsito de la Intendencia de Montevideo. Es importante destacar que, al observar los datos por departamento, se introduce una nueva variable (no existente a nivel nacional) que corresponde al cambio de departamento de empadronamiento de un vehículo dado. Es decir, al observar únicamente un departamento se debe considerar la variación en la tasa de empadronamiento anual (al igual que a nivel nacional), pero también la migración entre departamentos del empadronamiento de vehículos existentes. Este fenómeno se produjo con mucha intensidad a partir del principio de siglo, hasta la aprobación y reglamentación de la Ley Única de Patentes (Ley N° 18.860) del 2012. A nivel general, en Montevideo la tendencia ha sido hacia la “fuga” de vehículos hacia departamentos del interior del país en dicho período, en busca de patentes más económicas (www.espectador.com 2010; <https://floridadiario.com.uy> 2010).

En la Figura 4-6 se presentan la cantidad de vehículos empadronados en Montevideo al 31 de diciembre de cada año. La caída en la cantidad de autos y utilitarios empadronados entre el 2002 y 2008 aproximadamente se pueden explicar por la fuerte disminución en la compra de vehículos nuevos producto del enlentecimiento de la economía del período, sumado a la “fuga” de empadronamientos hacia departamentos del interior del país, entre otros.

Figura 4-6 Cantidad de vehículos empadronados en Montevideo al 31 de diciembre de cada año



Fuente: (Unidad de Investigación y desarrollo. Observatorio de tránsito 2015).

La encuesta realizada por la Dirección Nacional de Energía muestra que Montevideo es el departamento que posee la mayor proporción de livianos (más del 60% del parque automotor del departamento) y la menor proporción de motos (24% del parque automotor del departamento) (Dirección Nacional de Energía 2014).

Por lo tanto, a modo de conclusión se puede observar que el parque automotor uruguayo ha aumentado significativamente en el correr de los últimos años. Si se considera los últimos 16 años, este se ha duplicado.

Al analizar el departamento de Montevideo en particular, la migración de patentes entre departamentos en los años de la llamada "guerra de patentes"³ dificulta el análisis de la evolución específica. Igualmente, es claro la tendencia marcada al crecimiento del parque automotor capitalino.

Este resultado es importante a la luz de que el trabajo de campo realizado por González fue hecho en los últimos años de la década del noventa. Por lo que, en la actualidad, el parque automotor uruguayo es sensiblemente diferente, gracias a la gran incorporación de unidades nuevas en los últimos 16 años, entre otros.

³ (<http://www.elacontecer.com.uy/> 2010)

5. ANÓMALOS ACÚSTICOS, TIEMPOS DE MUESTREO Y SU OPTIMIZACIÓN

Hoy en día, el ambiente sonoro urbano está integrado por múltiples fuentes emisoras de ruido. El ruido del tráfico urbano es una de las principales fuentes, sin embargo, también existen otras fuentes, generalmente de muy corta duración y altamente ruidosas que lo disturban ampliamente.

Si se considera el efecto provocado sobre la población expuesta, además de la generación de un gran nivel de molestia debido a la importante cantidad de energía sonora que incide bruscamente sobre la población, los sucesos de muy corta duración y altamente ruidosos generan un aumento de sensibilidad al ambiente sonoro circundante, ocasionando que la percepción del ruido ambiental se incremente (Torija *et. al*, 2008).

Por lo tanto, para caracterizar el ambiente sonoro local a través de monitoreos, la selección del tiempo de muestreo resulta de vital importancia a la hora del diseño de la campaña, principalmente debido a la necesidad de garantizar que los resultados obtenidos sean buenos descriptores de la realidad muestreada y del fenómeno que se desea estudiar. Sin embargo, generalmente los recursos disponibles para las tareas de monitoreo son limitados, por lo que encontrar el balance entre una buena representatividad del fenómeno al menor costo posible resulta de suma importancia.

A raíz de ello, surge la siguiente interrogante: ¿cuál es el tiempo de muestreo característico que se debería emplear para garantizar un muestreo de calidad con un uso eficiente y eficaz de los recursos?.

González aborda este tema en su investigación y presenta recomendaciones para la descripción del nivel de ruido de tráfico en la ciudad de Montevideo. Debido a que estas fueron realizadas hace más de 16 años aproximadamente (con la sensible variación de las características de la flota uruguaya que se presentó en el capítulo anterior), la presente investigación pretende evaluar si dichas conclusiones continúan siendo válidas en la actualidad.

Para ello se presenta, a continuación, el análisis realizado por González en el 2000 y, posteriormente, una recopilación de las propuestas internacionales que existen con respecto a esta temática.

5.1. Recomendaciones de González (2000)

5.1.1. Tiempo mínimo de muestreo y su optimización

Para abordar el tema de la selección el tiempo de muestro óptimo a aplicar en Montevideo, González (2000a) realiza, en primera instancia, un estudio asociado al tiempo de estabilización de la medición, como primera aproximación a la optimización.

Se entiende por tiempo de estabilización, al menor tiempo transcurrido necesario para que el nivel sonoro continuo equivalente registrado durante dicho período difiera en no más de un intervalo predefinido del nivel sonoro continuo equivalente del período de mayor duración que se desea representar (Giraldo 2012; González 2000a).

Sea ε un intervalo predefinido. Cuando a partir de un instante t el $L_{eq}(t)$ y $L_{eq}(T)$ difieren en no más de ε , entonces se considera a t como tiempo de estabilización para esa medición.

$$|L_{eq}(T) - L_{eq}(t)| \leq \varepsilon \quad \text{Ec. 5-1}$$

$$\left| 10 \log \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T 10^{\frac{L_i}{10}} \right) - 10 \log \left(\frac{1}{t} \sum_{i=1}^t 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \right| \leq \varepsilon \quad \text{Ec. 5-2}$$

Siendo:

- T el período total que se quiere representar ($T \geq t$).
- $\mathcal{E}$ un intervalo predefinido.
- L_i corresponde al nivel sonoro continuo equivalente de cada unidad de tiempo analizada.

Como se puede apreciar, el valor que se le asigne a $\mathcal{E}$ condiciona fuertemente el resultado y dependerá de la aplicación requerida.

González (2000a) analizó un conjunto de 1.357 muestras de una hora de duración de ruido urbano de la ciudad de Montevideo aplicando los valores predefinidos de $\mathcal{E}$: ± 1 y ± 2 dBA, y encontró que los tiempos de estabilización obtenidos eran significativamente superiores a lo que la bibliografía especializada del momento proponía. Tal diferencia la atribuyó a las características acústicas propias de Montevideo, principalmente a la existencia de eventos anómalos con alto contenido energético que distorsionaban las medidas (ver numeral 5.1.2 para el desarrollo del análisis de los eventos anómalos).

En la Tabla 5-1 se presenta los resultados obtenidos por González en función de la densidad vehicular y el intervalo predefinido seleccionado ($\mathcal{E}$), para la estabilización del 95% de las muestras analizadas de Montevideo. En cursiva se indica las densidades vehiculares correspondientes a la Av. General Rivera, objeto de estudio de la presente investigación.

Tabla 5-1 Tiempos de estabilización expresados en minutos para distintos $\mathcal{E}$ y densidad vehicular (95% de muestras estabilizadas de una hora de duración)

Tránsito (veh/h)	± 1 dBA	± 2 dBA	Tránsito (veh/h)	± 1 dBA	± 2 dBA
0 – 100	40	28	1.400 – 1.500	30	21
100 – 200	38	21	1.500 – 1.600	20	9
200 – 300	29	15	1.600 – 1.700	18	8
300 – 400	22	16	1.700 – 1.800	28	8
400 – 500	28	16	1.800 – 1.900	26	8
500 – 600	25	18	1.900 – 2.000	21	20
600 – 700	22	10	2.000 – 2.200	18	9
700 – 800	28	14	2.200 – 2.400	18	5
800 – 900	20	9	2.400 – 2.600	25	7
<i>900 – 1.000</i>	<i>17</i>	<i>9</i>	2.600 – 2.800	22	17
<i>1.000 – 1.100</i>	28	13	2.800 – 3.000	21	20
1.100 – 1.200	28	8	3.000 – 3.500	17	1
1.200 – 1.300	25	13	3.500 – 4.000	14	6
1.300 – 1.400	28	16	4.000 – 6.000	12	2

Fuente: (González 2000a).

González concluye que el tiempo de estabilización para muestras de una hora de duración en vías montevideanas con un tránsito vehicular fluido corresponde a 30 minutos, para una tolerancia de ± 1 dBA y 95% de confianza. Es decir, si se desea conocer el L_{Aeq} de una hora en particular, basta medir los primeros 30 minutos para obtener una aproximación con ± 1 dBA de tolerancia y 95% de confianza.

Sin embargo, si se desea expandir este concepto a la caracterización acústica del ruido de tránsito durante el período diurno (8 a 20 h), González determina que el tiempo de estabilización del instrumento no es suficiente para determinar el mínimo tiempo de muestreo ya que mediciones en el mismo punto geográfico y dentro del mismo horario pueden no ser estadísticamente comparables (no representar el mismo fenómeno físico) (González 2000a). El mínimo tiempo de medición debe ser, a lo sumo, mayor o igual al tiempo de estabilización de la medida. Por tanto, analiza estadísticamente un conjunto de muestras de 12 horas de duración registradas en distintos puntos de Montevideo y llega a las siguientes conclusiones:

- ☐ Las muestras recolectadas no responden a una distribución normal, por lo que debe utilizarse la estadística no paramétrica para su análisis.
- ☐ Dentro del período diurno (8 a 20 h), el período matutino y el período vespertino son estadísticamente comparables, por lo que la medición puede realizarse en la mañana o en la tarde indiferentemente.
- ☐ Dentro de los días de la semana, cada día es comparable consigo mismo. Es decir, los lunes son estadísticamente comparables con los lunes, los martes con los martes, etc.
- ☐ Los días laborables (lunes a viernes) son estadísticamente comparables entre sí. No así el día sábado y/o el domingo.

Por tanto, González concluyó que, para caracterizar el nivel de ruido de tránsito en un punto aleatorio de la ciudad, en cualquier día hábil, en cualquier horario entre las 8 a 20 h al 95% de confianza y con una tolerancia de ± 1 dBA, alcanza con realizar una medición de 70 minutos de duración. Si se considera un intervalo de tolerancia de ± 2 dBA, el tiempo mínimo de muestreo corresponde a 25 minutos.

Por último, González analiza la representatividad estacional de las muestras. Concluye que se presume su representatividad estacional, pero debe ser confirmada con mayor número de muestreos interestacionales.

5.1.2. Eventos anómalos

Cuando González estudió los tiempos de estabilización de las muestras analizadas, identificó que los resultados obtenidos eran significativamente superiores a lo que la bibliografía especializada del momento proponía. Descubrió que el ambiente sonoro de Montevideo estaba gobernado por el ruido de tráfico y un conjunto de elementos distorsionantes de alto contenido energético, que determinaban el entorno sonoro urbano. A estos elementos los denominó eventos anómalos y correspondían principalmente a:

- ☐ Uso indiscriminado de las bocinas.
- ☐ Alarmas de vehículos, locales comerciales y viviendas.
- ☐ Uso desmedido de sirenas y alarmas.
- ☐ Escapes libres y/o en mal estado de vehículos, aunque principalmente motos.
- ☐ Obras en construcción.
- ☐ Propaganda callejera.
- ☐ Ladrado de perros.

Debido a que la identificación de estos eventos anómalos es intrínsecamente dependiente del receptor y su umbral de tolerancia y, por tanto, sumamente subjetivo, González vio la necesidad de definir tales eventos de forma objetiva a partir de mediciones de campo. En primera instancia, dividió los eventos en dos categorías: anómalos subjetivos y anómalos acústicos.

- Evento anómalo subjetivo: corresponde a aquellos eventos que escapan a lo que el oído humano identifica como un sonido normal del motor del vehículo o de su rodadura. Este incluye bocinas, alarmas, ladridos, sirenas, frenadas bruscas, escapes libres y escapes anormalmente ruidosos (González 2000a). Su identificación depende fuertemente del receptor.

Para definir el segundo, los anómalos acústicos, González realizó un proceso de iteración en el cual determinó la cantidad máxima de potenciales elementos distorsionantes en una muestra de 1 hora que podría existir, sin afectar la representatividad de la medición. Para ello, definió el mayor número de anómalos posibles de existir sin que modificase la aceptación de la hipótesis nula de la prueba de Mann-Whitney al 95% de confianza al comparar la serie original y la serie purgada de los potenciales anómalos acústicos. De esta forma, González llegó a la conclusión que, para muestras de 1 hora de duración, podría existir hasta doce minutos que representasen eventos anómalos acústicos y, por tanto, los definió así:

- Evento anómalo acústico: corresponde a aquel minuto de medición en el que ocurre un L_{Aeq} que supera al menos en 4 dBA la lectura del $L_{Aeq,global}$, una vez que a ese se le han descontado los 12 minutos de valor de L_{Aeq} más elevados (valor denominado como $L_{Aeq,1h,corregido}$ (González 2000a)).

$$L_{Aeq,1min} - L_{Aeq,1h,corregido} > 4 \text{ dBA} \quad \text{Ec. 5-3}$$

Siendo:

- $L_{Aeq,1min}$ el nivel sonoro continuo equivalente de período un minuto.
- $L_{Aeq,1h,corregido}$ el nivel sonoro continuo equivalente de período una hora sin considerar en la serie los 12 $L_{Aeq,1min}$ de mayor valor.

Si bien diversos autores han presentado metodologías diferentes para la identificación de eventos anómalos (Torija, Ruiz y Ramos 2007; Torija, Ruiz y Ramos-Ridao 2008, entre otros), en el presente trabajo se utilizará la formulación propuesta por González, debido a que su génesis fue para la ciudad de Montevideo.

5.2. Recomendaciones internacionales

Si se analiza la bibliografía internacional al respecto, se encuentran diversas recomendaciones respecto a los tiempos de estabilización y tiempos mínimos de muestreo, ya sea a partir de recomendaciones *per se* o simplemente analizando las técnicas de muestreo utilizadas por diversos autores. Algunos introducen el concepto de anómalos acústicos en sus investigaciones y analizan cómo su presencia modifica los tiempos de muestreo, y otros simplemente analizan su pertinencia. A continuación, se presenta un resumen de la evolución de la bibliografía internacional al respecto, desde la investigación realizada por González en el 2000 hasta la fecha.

Gaja *et al.* (2000) realizaron una recopilación de los trabajos realizados en las ciudades de Valencia y Montevideo relacionados al tiempo de estabilización e influencia de anómalos acústicos, de modo de definir tiempos de muestreo mínimos para ruido de tránsito vehicular, en función de precisiones predefinidas. Para ello analizaron diversas mediciones de una hora de duración en condiciones urbanas gobernadas por ruido de tránsito. A partir de su análisis, concluyen que para una precisión de ± 1 dBA al 90% de confianza, el tiempo de medición se estima en 12 minutos si no existiesen anómalos acústicos. En cambio, si durante la medición existiese alguno, entonces el tiempo de medición deberá extenderse hasta 22 minutos. Para la definición de anómalo acústico, consideraron anómalo todo nivel sonoro equivalente de un minuto de duración cuyo valor fuese superior al percentil 2,5 de la serie generada por los 60 valores de nivel equivalente registrados en dicha hora (cola de la distribución), y que además superase en 5 dBA al nivel equivalente de la hora de medición. Gaja *et al.* indican que la serie de datos analizada posee una distribución normal.

Janczur *et al.* (2006) compararon las predicciones del nivel de presión sonora obtenido en la fachada de edificaciones a través de modelaciones numéricas con mediciones realizadas en campo, de modo de determinar la influencia de la directividad de la emisión de ruido vehicular. Las mediciones fueron

realizadas durante 10 minutos de duración, aunque los autores no explican por qué se seleccionó dicha duración.

Wu (2006) realizó una investigación acerca de las medidas de mitigación asociadas al ruido del tráfico rodado utilizadas en Japón, Taiwán y los estados de Nuevo Gales del Sur y Victoria en Australia. Con respecto al tiempo de medición, Wu reportó que en Japón el tiempo de medición indicado por la normativa deberá ser el necesario para obtener una medición representativa del período que se desea evaluar, siendo como mínimo de 10 minutos de duración. Sin embargo, en Taiwán, la normativa local indica que la medición debe realizarse durante 24 horas continuas. Con respecto al estado de Nuevo Gales del Sur en Australia, la normativa indica que la duración de las medidas a realizar dependerá el objeto del estudio, aunque, en la mayoría de los casos asociados al ruido de tránsito, se utiliza 30 minutos de duración. Por otro lado, el estado de Victoria en Australia ha publicado guías detalladas sobre la metodología para realizar mediciones sonoras producto del tráfico. En ellas indica que las mediciones deben realizarse durante 24 horas.

Torija *et al.* (2007) analizaron las mediciones de ruido de larga duración realizadas para la confección del mapa sonoro de la ciudad de Granada. De ellas, seleccionaron 30 locaciones asociadas a distintos tránsitos vehiculares y analizaron el tiempo de estabilización para períodos de una hora de duración en cada una de ellas. Tal análisis lo realizaron considerando la totalidad de la serie registrada en primera instancia, y en segunda instancia consideraron la serie depurada de eventos acústicamente anómalos. En sus conclusiones, presentan una relación entre los tiempos de estabilización hallados y el flujo vehicular, con diferentes comportamientos para flujos menores y mayores a 300 vehículos por hora. Para tránsito escaso, los tiempos de estabilización hallados se encuentran entre 14 y 56 minutos considerando la serie completa, y entre 9 a 50 minutos si se eliminan los eventos acústicamente anómalos para niveles de tolerancia de ± 1 dBA. Para las locaciones de tránsito denso, los tiempos de estabilización hallados se localizan entre 14 y 24 minutos al analizar la serie completa, y entre 6 a 9 minutos al eliminar los anómalos. Como se puede apreciar, la existencia de anómalos acústicos aumenta el tiempo de estabilización de las medidas. Los autores no indican la metodología utilizada para la eliminación de los anómalos acústicos.

González *et al.* (2007) realizaron una comparación de los tiempos de duración de las mediciones recomendadas para evaluar el ruido urbano horario, producto principalmente del tránsito vehicular, de tres ciudades bien diferentes: Valencia en España, y Montevideo y Rivera en Uruguay. Con respecto a Valencia, indica que varios autores estipulan tiempos de medición mínimos de 10 minutos, y que el indicador $L_{eq,1h}$ es un buen indicador del período diurno (12 horas), considerando una tolerancia de ± 1 dB. Sin embargo, en la ciudad de Rivera el análisis realizado muestra resultados de tiempos de estabilización de 55 minutos para tolerancias de ± 1 dB, por lo que González concluye que para describir el nivel horario de L_{eq} , riverense se deberá medir la totalidad de la hora analizada. En cambio, para Montevideo, se aprecia una situación media. Los análisis realizados por González muestran que, en la realidad montevideana, es necesario al menos 30 minutos de medición para estimar el valor de $L_{eq,1h}$ con una tolerancia de ± 1 dB, y 70 minutos si se desea describir el L_{eq} del período diurno, con el mismo valor de tolerancia.

Miyara *et al.* (2008) desarrollaron un protocolo para el procesamiento en masa de archivos de sonido de 15 minutos correspondientes a registros digitales calibrados de ruido del tránsito. En su procesamiento, determinaron los espectros de bandas, los niveles equivalentes acumulados y los tiempos de estabilización de cada banda, que posteriormente relacionaron con el flujo vehicular. Sin embargo, Miyara concluye que parece no ser posible, para flujos urbanos típicos, establecer una correlación entre flujo horario y el tiempo de estabilización por banda, aunque se puede considerar un entorno de 15 minutos para todas las bandas. Sin embargo, también concluye que sería deseable realizar mediciones más largas fuera de horarios pico para disponer de un valor estabilizado más confiable. Adicionalmente, su análisis permite detectar anómalos acústicos a partir de la identificación subjetiva de eventos con altos tiempos de estabilización y su confirmación mediante la escucha de los registros de audio de dicho evento.

Janczur *et al.* (2009) compararon la aplicabilidad de un modelo de predicción de nivel de presión sonora en fachada, a partir del flujo vehicular circulante. La comparación la realizaron a través de mediciones de nivel sonoro en sitio, de 10 minutos de duración. Los autores no explican por qué se seleccionó dicha duración.

Barrigón Morillas *et al.* (2009) analizaron el tiempo de estabilización de diversas mediciones de nivel de ruido de tráfico urbano en distintos perfiles de calles (“L”, “U” y abiertas) y distintos flujos vehiculares de la ciudad de Cáceres, con el objetivo de determinar cuál sería el tiempo de muestreo óptimo. Adicionalmente analizaron si las recomendaciones realizadas por diversos autores indicando tiempos de muestreo de 15 minutos de duración eran válidas para su ciudad. Como conclusiones obtuvieron que la presencia de eventos altamente ruidosos (anómalos) alargaba el tiempo de estabilización de la medida, aunque no presentan una metodología para su identificación y/o remoción. Adicionalmente, concluyeron que la presencia de un tránsito denso tendía a disminuir el tiempo de estabilización y que este se obtenía primero para perfiles de calles del tipo “L”, luego en los perfiles tipo “U” y finalmente en las calles abiertas. Por último, concluyen que mediciones de 15 minutos de duración son suficientes, ya que todas sus muestras alcanzan la estabilización para intervalos de $\pm 0,5$ dB antes de dicho período.

King y Rice (2009) realizaron el mapa acústico del centro de la ciudad de Dublín a través de herramientas simplificadas, el que validaron a partir de mediciones *in situ*. Estas consistieron en mediciones de 15 minutos de duración, realizadas en varios períodos diurnos durante un mes. Adicionalmente, realizaron mediciones de una semana de duración en puntos estratégicos. Durante su análisis, concluyeron que las mediciones de 15 minutos de duración eran generalmente válidas para estimar el nivel sonoro del período de 12 horas diurno con un error de 3 dB.

En 2011, Álvarez y Suárez (2011) analizaron la validez de la predicción de niveles de ruido de tráfico de la ciudad de Osorno, Chile, a partir de modelaciones matemáticas contrastadas con mediciones *in situ*. Para ello realizaron mediciones en 92 puntos de las 9 vías principales de la ciudad, durante días laborales y en horario “fuera de punta”. Los tiempos de muestreo utilizados fueron de 15 minutos de duración y, en el análisis, fueron eliminados los eventos anómalos. Los autores no indican el por qué de la selección de 15 minutos como el tiempo de medición ni la metodología de remoción de anómalos acústicos. Únicamente se indica que se descartaron eventos como ladridos de perros, bocinas, sirenas.

En 2012, Silva *et al.* (2012) realizaron un estudio para comparar los resultados obtenidos con respecto a niveles sonoros diurnos, nocturnos y diarios (según la normativa europea N°2002/49/CE) a partir de dos técnicas de muestreo diferentes. Las mediciones se realizaron en tres tipologías de vías diferenciadas: autopista, vía rural y vía urbana en una ciudad de mediano tamaño. Las metodologías de muestreo fueron seleccionadas a partir de la guía práctica para mediciones de ruido ambiente *Guia prática para medições de ruído*, de la Agencia Portuguesa de Ambiente, e implicaron: a) mediciones continuas durante 48 horas y, b) tres mediciones consecutivas de 15 minutos de duración, durante cada período de referencia, durante dos días distintos. Como conclusión obtuvieron que, para el período diurno, la diferencia entre ambas metodologías era inferior a 3 dBA para todas las vías relevadas.

En el 2012, Prieto *et al.* (2012) analizaron los registros del monitoreo continuo de ruido ambiental obtenido durante seis años en una estación de monitoreo fija de la ciudad de Cáceres. A partir de ellos, estimaron los tiempos de estabilización para diferentes períodos de tiempo, con distintos márgenes de tolerancia. En el tratamiento de datos realizado no se consideró la presencia de anómalos acústicos. Concluyeron que para una tolerancia de ± 1 dB, al 95% de confianza, se debía medir al menos 42 minutos para caracterizar el parámetro $L_{Aeq,1h}$ durante el período diurno⁴.

En 2013, Ambrosio *et al.* (2013) propusieron un modelo estadístico no lineal y mixto para cuantificar los niveles de ruido en áreas urbanas, con predominio de ruido de tránsito. Para ello, realizaron un monitoreo de varios puntos de los barrios de Leganés, España, de 15 minutos de duración, distribuidos en los distintos períodos que querían representar: día, tarde y noche.

⁴ Según la normativa europea el período diurno se define entre las 7:00 y 18:59 h.

En 2015, Bastián Monarca *et al.* (2015) realizaron un análisis comparativo del comportamiento de algunos modelos predictivos de ruido de tránsito en nueve ciudades de Chile. Para ello, realizaron mediciones de 15 minutos de duración durante los días laborables en varios puntos de las ciudades. No indican la razón de la selección de 15 minutos como tiempo de medición.

En 2016, Kalaiselvi y Ramachandraiah (2016) observaron que los modelos de predicción de niveles sonoros a partir de tránsito consideraban un flujo homogéneo, característico de los países desarrollados, pero no se ajustaba a la realidad heterogénea de los países en vías de desarrollo, particularmente por el uso indiscriminado de la bocina. Para ello, estudiaron la forma de incorporar el incremento de entre 0,5 y 13 dBA que los bocinazos pueden producir en nivel sonoro diurno. Dentro de su estudio, caracterizaron el nivel sonoro de seis locaciones de la ciudad de Chennai, India, a partir de 10 repeticiones de mediciones de 15 minutos de duración. No indican las razones para la selección del tiempo de medición en 15 minutos.

En 2016, Bastián-Monarca *et al.* (2016) utilizaron herramientas simplificadas para realizar el mapa de ruido de la ciudad de Valdivia, Chile, a partir de información diversa y mediciones de campo. Las mediciones de campo implicaron registros de 10 minutos de duración, en 80 ubicaciones diferentes. Según los autores, otros estudios recientes también han utilizado mediciones de 10 minutos de duración para caracterizar el ruido del tránsito urbano.

En 2016 Quiñones-Bolaños *et al.* (2016) desarrollaron un modelo de predicción del L_{eq} en intersecciones de calles de la ciudad de Cartagena de Indias, Colombia, en función de las características de la zona y del flujo de tráfico. La campaña de monitoreo que sustentó el trabajo se basó en tres mediciones de 3 horas de duración, durante ocho días. Los autores indican que dicha duración corresponde a la duración de la hora pico en la ciudad.

6. MODELO DE PREDICCIÓN DE NIVEL SONORO DE TRÁNSITO URBANO DE LA CIUDAD DE MONTEVIDEO

Con respecto a las metodologías de predicción de los niveles de ruido por tráfico, en la actualidad existen numerosos modelos predictivos que los estiman a partir de varias variables. Sin embargo, la mayoría de estos modelos fueron confeccionados en países desarrollados y no se adaptan, en general, a países en vías de desarrollo en donde la heterogeneidad de su tráfico, el uso indiscriminado de la bocina así como otras diferencias culturales afectan la confiabilidad de sus resultados (Kalaiselvi y Ramachandraiah 2016).

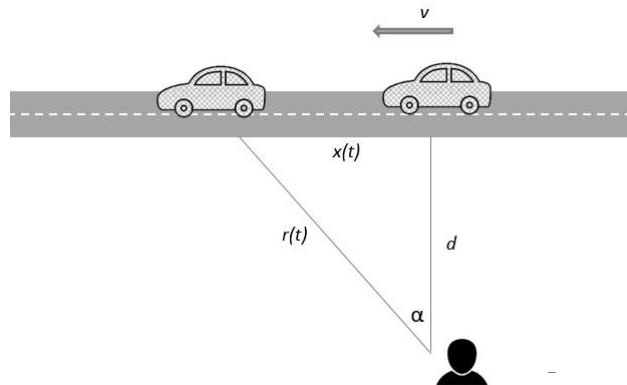
En el año 2000 González realizó un análisis sobre la aplicabilidad de los modelos de predicción de ruido de tráfico a partir del flujo vehicular en la ciudad de Montevideo. En su investigación, llegó a la conclusión de que ninguno de los modelos existentes al momento se adaptaba a la realidad capitalina, por lo que desarrolló un modelo propio (González 2000a). Uno de los objetivos de la presente investigación es analizar la vigencia de dicho modelo y sus conclusiones.

En su desarrollo deductivo, González partió del desarrollo propuesto por Gaja Díaz en 1986, donde se considera un vehículo aislado como fuente puntal y estacionaria, localizado a una distancia d del receptor. Allí, el nivel de presión sonora L_p queda definido por la ecuación Ec. 6-1.

$$L_p = L_w - 20 \log d - 8 \quad \text{Ec. 6-1}$$

Siendo L_w el nivel de potencia sonora del vehículo.

Figura 6-1 Propagación del sonido de un vehículo en movimiento



Sin embargo, si se considera que el vehículo se desplaza en una trayectoria rectilínea a una velocidad constante v , la ecuación Ec. 6-1 se puede reescribir de la siguiente forma:

$$L_p = L_w - 20 \log r - K \quad \text{Ec. 6-2}$$

Siendo L_w y K constantes que pueden ser determinadas para cierta velocidad y determinado tipo de vehículos. Por tanto:

$$L_p(r) = C - 20 \log r \quad \text{Ec. 6-3}$$

$$r^2 = d^2 + (vt)^2 \quad \text{Ec. 6-4}$$

$$L_p(t) = C - 10 \log(d^2 + (vt)^2) \quad \text{Ec. 6-5}$$

Si se considera que el origen del tiempo ($t=0$) corresponde al momento en que el vehículo está a la menor distancia posible del receptor:

$$L_p(t = 0) = C - 10 \log(d^2) \quad \text{Ec. 6-6}$$

Por tanto, se puede determinar la constante C:

$$C = L_{pm\acute{a}x} + 10 \log(d^2) \quad \text{Ec. 6-7}$$

Por último, reordenando:

$$L_p(t) = C - 10 \log(d^2 + (vt)^2) = L_{pm\acute{a}x} + 10 \log(d^2) - 10 \log(d^2 + (vt)^2) \quad \text{Ec. 6-8}$$

$$L_p(t) = L_{pm\acute{a}x} - 10 \log\left(1 + \left(\frac{vt}{d}\right)^2\right)$$

Así, si se conoce el tipo de vehículo circundante, su velocidad y la distancia al observador, se puede predecir el nivel sonoro percibido por este (González 2000a).

El nivel sonoro continuo equivalente está definido por la siguiente ecuación:

$$L_{eq} = 10 \log\left(\frac{1}{T} \int 10^{\frac{L_i}{10}} dt\right) \quad \text{Ec. 6-9}$$

Al aplicar la ecuación Ec. 6-9 a un vehículo aislado, el valor de L_i se obtiene de suponer que se trata de una fuente puntual que circula con una velocidad v según el esquema visto en la Figura 6-1. Por tanto, el nivel continuo equivalente puede escribirse de la forma:

$$L_{eq} = 10 \log\left(\frac{1}{T} \int 10^{\frac{L_{pm\acute{a}x} - 10 \log\left(1 + \left(\frac{vt}{d}\right)^2\right)}{10}} dt\right) \quad \text{Ec. 6-10}$$

Entonces:

$$L_{eq} = 10 \log\left(\frac{1}{T} \int 10^{\frac{L_{pm\acute{a}x}}{10}} 10^{\frac{-10 \log\left(1 + \left(\frac{vt}{d}\right)^2\right)}{10}} dt\right) \quad \text{Ec. 6-11}$$

$$L_{eq} = 10 \log\left(\frac{1}{T} 10^{\frac{L_{pm\acute{a}x}}{10}} \int \frac{1}{1 + \left(\frac{vt}{d}\right)^2} dt\right) \quad \text{Ec. 6-12}$$

$$L_{eq} = 10 \log\left(10^{\frac{L_{pm\acute{a}x}}{10}}\right) + 10 \log\left(\frac{1}{T} \int \frac{1}{1 + \left(\frac{vt}{d}\right)^2} dt\right) \quad \text{Ec. 6-13}$$

Si se considera como tiempo de integración T , entre $-T/2$ y $T/2$:

$$L_{eq} = L_{pm\acute{a}x} + 10 \log\left(\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \frac{1}{1 + \left(\frac{vt}{d}\right)^2} dt\right) \quad \text{Ec. 6-14}$$

$$L_{eq} = L_{pm\acute{a}x} + 10 \log \frac{d}{Tv} \left[\arctg \frac{vt}{d} \right]_{-T/2}^{T/2} \quad \text{Ec. 6-15}$$

$$L_{eq} = L_{pm\acute{a}x} + 10 \log \frac{d}{Tv} \cdot \left(\arctg \frac{vT}{2d} - \arctg \frac{-vT}{2d} \right) = L_{pm\acute{a}x} + 10 \log \frac{d}{Tv} \cdot \left(2 \arctg \frac{vT}{2d} \right) \quad \text{Ec. 6-16}$$

Adicionalmente, si se considera la ecuación Ec. 6-17 que corresponde al nivel sonoro continuo equivalente generado por una serie de sucesos discretos:

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \sum 10^{\frac{L_i}{10}} \Delta t \right) \quad \text{Ec. 6-17}$$

Se puede establecer el nivel de ruido de tránsito como una suma de fuentes puntuales de valor unitario L_i . Si se considera que todos los vehículos son iguales:

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} N 10^{\frac{L_i}{10}} \Delta t \right) = 10 \log \frac{N}{T} + 10 \log 10^{\frac{L_i}{10}} \Delta t \quad \text{Ec. 6-18}$$

El primer término corresponde al flujo de vehículos (Q), mientras que el segundo término corresponde al nivel sonoro aislado de uno de los vehículos. Por tanto, considerando las ecuaciones Ec. 6-16, Ec. 6-18 y el ángulo α (Figura 6-1 y Ec. 6-19), se obtiene:

$$\alpha = \arctg \frac{vT}{2d} \quad \text{Ec. 6-19}$$

$$L_{eq} = L_{pm\acute{a}x} + 10 \log Q + 10 \log \frac{d}{Tv} \cdot \left(2 \arctg \frac{vT}{2d} \right) \quad \text{Ec. 6-20}$$

Para seguir completamente el paso del vehículo durante todo su desplazamiento, el ángulo α deberá corresponder a $\pi/2$. Por tanto:

$$L_{eq} = L_{pm\acute{a}x} + 10 \log \left(\frac{dQ}{Tv} \pi \right) \quad \text{Ec. 6-21}$$

Por último, si se considera el tiempo de referencia como de 1 hora ($T=1$):

$$L_{eq} = L_{pm\acute{a}x} + 10 \log \left(\frac{dQ}{Tv} \right) \quad \text{Ec. 6-22}$$

González asumió que los vehículos montevideanos deberían describirse acústicamente a partir de cuatro categorías: autos, ómnibus, camiones y motos. Por tanto, repitiendo el razonamiento anterior para cada tipología de vehículos se obtiene:

$$L_{eq} = 10 \log \left(10^{\frac{Leq1}{10}} + 10^{\frac{Leq2}{10}} + 10^{\frac{Leq3}{10}} + 10^{\frac{Leq4}{10}} \right) \quad \text{Ec. 6-23}$$

$$L_{eq} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{pm\acute{a}x1}}{10}} 10^{\log Q_1} 10^{\log \frac{d\pi}{v_1}} + 10^{\frac{L_{pm\acute{a}x2}}{10}} 10^{\log Q_2} 10^{\log \frac{d\pi}{v_2}} + 10^{\frac{L_{pm\acute{a}x3}}{10}} 10^{\log Q_3} 10^{\log \frac{d\pi}{v_3}} + 10^{\frac{L_{pm\acute{a}x4}}{10}} 10^{\log Q_4} 10^{\log \frac{d\pi}{v_4}} \right) \quad \text{Ec. 6-24}$$

Si se asume que la velocidad es uniforme para todos los tipos de vehículos:

$$L_{eq} = 10 \log \frac{d\pi}{2} + 10 \log \left(10^{\frac{L_{pm\acute{a}x1}}{10}} 10^{\log Q_1} + 10^{\frac{L_{pm\acute{a}x2}}{10}} 10^{\log Q_2} + 10^{\frac{L_{pm\acute{a}x3}}{10}} 10^{\log Q_3} + 10^{\frac{L_{pm\acute{a}x4}}{10}} 10^{\log Q_4} \right) \quad \text{Ec. 6-25}$$

$$L_{eq} = A + 10 \log(a 10^{\log Q_1} + b 10^{\log Q_2} + c 10^{\log Q_3} + d 10^{\log Q_4}) \quad \text{Ec. 6-26}$$

$$L_{eq} = A + 10 \log(aQ_1 + bQ_2 + cQ_3 + dQ_4) \quad \text{Ec. 6-27}$$

Siendo Q_1, Q_2, Q_3 y Q_4 el tránsito clasificado y A, a, b, c y d constantes.

Para calcular las constantes González contó con 1.194 mediciones de campo realizadas con diferentes duraciones de muestreo y tomadas en diferentes zonas de la ciudad.

En su análisis, descubrió que la realidad sonora de Montevideo respondía no solo al tránsito que circulaba por sus calles, sino también a la presencia de elementos acústicamente distorsionadores a los que la ecuación Ec. 6-25 no representaba correctamente. Por tanto, introduce el concepto de evento anómalo acústico al desarrollo del modelo predictivo para poder explicar tal comportamiento. Para ello, analizó la relación entre los anómalos acústicos detectados en el trabajo de campo con la densidad vehicular, la cual presenta en la ecuación Ec. 6-28.

$$\text{Corrección por anómalos} = 23,266 Q^{-0,3811} \quad \text{Ec. 6-28}$$

Siendo Q el tránsito vehicular horario.

Por último, a partir de la inclusión del término de corrección por anómalos acústicos, del término de propagación por distancia al eje de la calle y de los datos de campo, González propone el siguiente modelo de predicción del nivel de presión sonora generado por el flujo vehicular de Montevideo.

$$LA_{eq} = 49,4 + 10 \log(A + 2,33.M + 9,01.B + 6,84.C) - 10 \log(d) + 23,266.Q^{-0,3811} \text{ [dBA]} \quad \text{Ec. 6-29}$$

Siendo:

- A corresponde al número de vehículos livianos registrados por hora (autos y taxis).
- M corresponde al número de motos registradas por hora.
- B corresponde al número de ómnibus registrados por hora.
- C corresponde al número de camiones registrados por hora.
- Q corresponde al flujo total de vehículos por hora ($A+M+B+C$).
- d corresponde a la distancia al centro de la calle.

Es importante destacar que la Ec. 6-29 fue validada para las siguientes condiciones:

- ☐ Rango de validez ± 3 dBA.
- ☐ Flujo de vehículos total por hora (Q) entre 200 y 4.000 veh/h.
- ☐ Distancia al centro de la calle (d) entre 3 y 15 m.
- ☐ Calles semiabiertas.
- ☐ Velocidades inferiores a los 60 km/h. Para velocidades superiores se debe agregar una corrección lineal de la forma:

$$\Delta v = 0,15 v - 8,67 \text{ [dBA]} \quad \text{Ec. 6-30}$$

Como se puede apreciar del modelo propuesto por González, las equivalencias acústicas del tránsito montevideano de fines del siglo XX quedan dadas por:

- ☐ 1 moto equivale acústicamente a 2,33 autos que pasan simultáneamente por puntos equidistantes del receptor.

- 1 ómnibus equivale acústicamente a 9,01 autos que pasan simultáneamente por puntos equidistantes del receptor.
- 1 camión equivale acústicamente a 6,84 autos que pasan simultáneamente por puntos equidistantes del receptor.

SECCIÓN III: TRABAJO DE CAMPO

7. CAMPAÑAS DE MEDICIÓN

En el presente capítulo se describe el trabajo de campo realizado y sus principales características. Asimismo, en el capítulo siguiente se presentan los resultados más significativos obtenidos y en el Anexo II se presenta la totalidad de los resultados.

El trabajo de campo se realizó con el objetivo de contar con mediciones de la situación actual de Montevideo, de modo de analizarlas y determinar la validez de las conclusiones y recomendaciones realizadas por González (2000a). Sin embargo, dadas las dificultades encontradas para llevarlo adelante, se optó por analizar en un único punto en profundidad para verificar allí la vigencia de los resultados de González. Por tanto, el trabajo de campo realizado pretende ser una primera aproximación al problema que permita presentar tendencias y conjeturas fundadas, aunque se reconoce que no podrá arrojar conclusiones definitivas. Para ello, se deberá realizar un trabajo de medición más ambicioso.

A continuación, se presenta la metodología seleccionada para la realización del trabajo de campo, así como el equipamiento utilizado.

7.1. Generalidades

De modo de relevar el ambiente sonoro urbano producto del tránsito vehicular se realizaron cuatro⁵ campañas de medición de larga duración (12 horas) en un punto de la ciudad de Montevideo representativo de una zona urbana con tránsito vehicular medio. Este punto, localizado en la acera norte de la calle Av. General Rivera entre las calles Acevedo Díaz y Juan Paulier, coincide con uno de los puntos relevados durante las campañas de mediciones realizadas para la confección del Mapa Acústico de Montevideo (IMFIA-Intendencia de Montevideo 1999), así como también coincide con uno de los puntos relevados durante el trabajo de campo de González (2000a).

Este tramo de la Av. General Rivera presenta flujo de tránsito en un único sentido, con dirección este-oeste, hacia el centro de la ciudad. Particularmente, en el cruce de Av. General Rivera y Acevedo Díaz (inmediatamente flujo abajo del punto de medición) se localiza una esquina semaforizada.

Con respecto al entorno, la vía posee una mezcla de edificaciones de varias alturas, desde edificaciones de pocos pisos a edificios de gran porte; constituye una vía de tipo “U”.

A continuación, se presenta su ubicación y fotografías del entorno. Adicionalmente, en la Tabla 7-1 se presenta las principales características de cada campaña realizada.

⁵ En la segunda campaña de medición (P150610) no se registraron valores de nivel de presión sonora debido a problemas técnicos. Para la realización de la presente investigación únicamente tres campañas de medición se consideraron válidas.

Figura 7-1 Ubicación del punto de muestreo



Fotografía 7-1 Visuales del entorno – corredor vial



Vista Este desde el punto de medición.



Vista Este desde detrás el punto de medición.

Cont. Fotografía 7-1 Visuales del entorno – corredor vial



Vista Oeste desde el punto de medición.



Vista Oeste desde detrás el punto de medición.

Tabla 7-1 Campañas de medición

Campaña	Fecha	Día hábil	Duración	Observaciones
P150507	7 de mayo de 2015	Jueves	7:46 – 20:01	Video hasta 5 pm.
P150610	10 de junio de 2015	Miércoles	7:55 – 20:05	Error en sonómetro. No registró nivel de presión sonora. Únicamente es útil el conteo de tránsito.
P151111	11 de noviembre de 2015	Miércoles	8:09 – 20:14	Sin video.
P151116	16 de noviembre de 2015	Lunes	8:23 – 20:28	Sin video.

7.2. Metodología

A continuación se presenta el equipamiento utilizado así como la metodología de muestreo empleada en las campañas de medición.

7.2.1. Equipamiento utilizado

En cada una de las cuatro campañas se realizó una medición de nivel de presión sonora y espectros de frecuencias con un sonómetro integrador Clase 1, propiedad del Departamento de Ingeniería Ambiental-IMFIA, como se indica en el numeral 7.2.1.1

Como apoyo, en las primeras dos campañas de medición (P150507 y P150610⁶), se instaló una cámara con un lente gran angular que permitió filmar el pasaje de los vehículos y realizar, en caso de resultar necesario, su conteo clasificado en gabinete. Los detalles del equipo utilizado se presentan en el numeral 7.2.1.2.

7.2.1.1. Sonómetro

A continuación, se presenta las principales características del sonómetro utilizado y en la Fotografía 7-2 se presentan imágenes de su localización:

- ☐ Fabricante: Casella.
- ☐ Modelo: 633C
- ☐ Calibración: según norma IEC 61.672, Laboratorio de Acústica Total Safety, San Pablo, Brasil. Última calibración: mayo 2015.
- ☐ Parámetros: Estadística completa de banda ancha, espectro en bandas de octavas y de tercio de octavas.
- ☐ Cumplimiento con los requisitos de la *International Electrotechnical Commission* IEC 61.672, para clase I.
- ☐ Pantalla antiviento para la realización de medidas en exterior.
- ☐ Trípode.

El micrófono se ubicó perpendicular a la calle, sobre trípode, a una distancia de 15 cm aproximadamente del cordón de la vereda. En el eje vertical, el micrófono se localizó a una altura

⁶ Campaña no válida debido a problemas técnicos.

aproximada de 1,4 m. En todas las medidas se utilizó pantalla antiviento y se aseguró el trípode del equipo mediante ataduras a una columna de señalización vial.

Fotografía 7-2 Ubicación del sonómetro durante las campañas de medición



P150507



P150610⁷



P151111



P151116

⁷ Campaña no válida debido a problemas técnicos.

7.2.1.2. Cámara filmadora con lente gran angular

A continuación, se presentan las principales características de la cámara filmadora utilizada en las dos primeras campañas (P150507 y P150610⁸) y en la Fotografía 7-3 se presentan imágenes de su ubicación:

- ☐ Fabricante: GoPro.
- ☐ Modelo: Hero3+.
- ☐ Resolución de video: WVGA a 1.080p.
- ☐ Fotómetro puntual para luz reflejada.
- ☐ Objetivo de cristal de apertura fija f/2,8, campo de visión de ultra gran angular.
- ☐ Micrófono interno mono con velocidad de muestreo de 48 Hz, compresión AAC.

Fotografía 7-3 Ejemplo de ubicación de cámara de filmadora



P150507



P150610⁹

7.2.2. Metodología de muestreo

Durante cada campaña se registraron los siguientes parámetros:

- ☐ $L_{AF,eq,1s}$, $L_{AF,max,1s}$, $L_{AF,min,1s}$ ¹⁰.
- ☐ Espectro de frecuencias en bandas de tercios de octavas en ponderación Z ($L_{ZF,eq,1min}$ en las bandas de tercios de octava centrales entre 12,5 Hz y 20.000 Hz).

Durante todo el período de medición, dos operarios registraron en la planilla de campo los eventos anómalos percibidos (ladridos de perros, sirenas, bocinas, etc.) en el momento que sucedían y el conteo vehicular clasificado.

La caracterización del tránsito vehicular se realizó mediante el conteo manual del tránsito clasificado que pasaba por la calle, en períodos alternados de cinco minutos cada uno en cada hora de medición. En cada campaña se relevó, al menos, la mitad del tiempo de medición. Se consideraron como categorías vehiculares: autos, taxis, utilitarios, ómnibus, motos y camiones.

La selección de esta clasificación del tránsito corresponde a la realizada por González (2000a) durante su relevamiento de campo y se basa en la distinción de los vehículos por su tipología primariamente: vehículos livianos, tránsito pesado y motos; y posteriormente una segunda clasificación en función de diferencias acústicas existentes dentro de cada categoría. Por tanto, el tránsito pesado se subdividió en camiones y ómnibus, y los vehículos livianos se subdividieron en autos convencionales

⁸ Campaña no válida debido a problemas técnicos.

⁹ Campaña no válida debido a problemas técnicos del sonómetro.

¹⁰ No se registró en campaña P151116.

(mayoritariamente a nafta), taxis (mayoritariamente a combustible diésel) y utilitarios que, debido a su mayor capacidad de carga, puedan tener emisiones acústicas diferenciadas de los demás vehículos livianos.

En virtud de que el análisis realizado no requirió la separación entre autos, taxis y utilitarios, los resultados presentados en el cuerpo de este informe, así como en el Anexo II agrupan estas tres categorías bajo el nombre *autos*.

8. PRINCIPALES RESULTADOS POR CAMPAÑA

En el presente capítulo se muestra un resumen de los resultados obtenidos a partir del análisis del relevamiento de campo realizado. En el Anexo II se presenta mayor detalle de los resultados obtenidos y su análisis.

Los resultados se presentan por campaña realizada, mostrando:

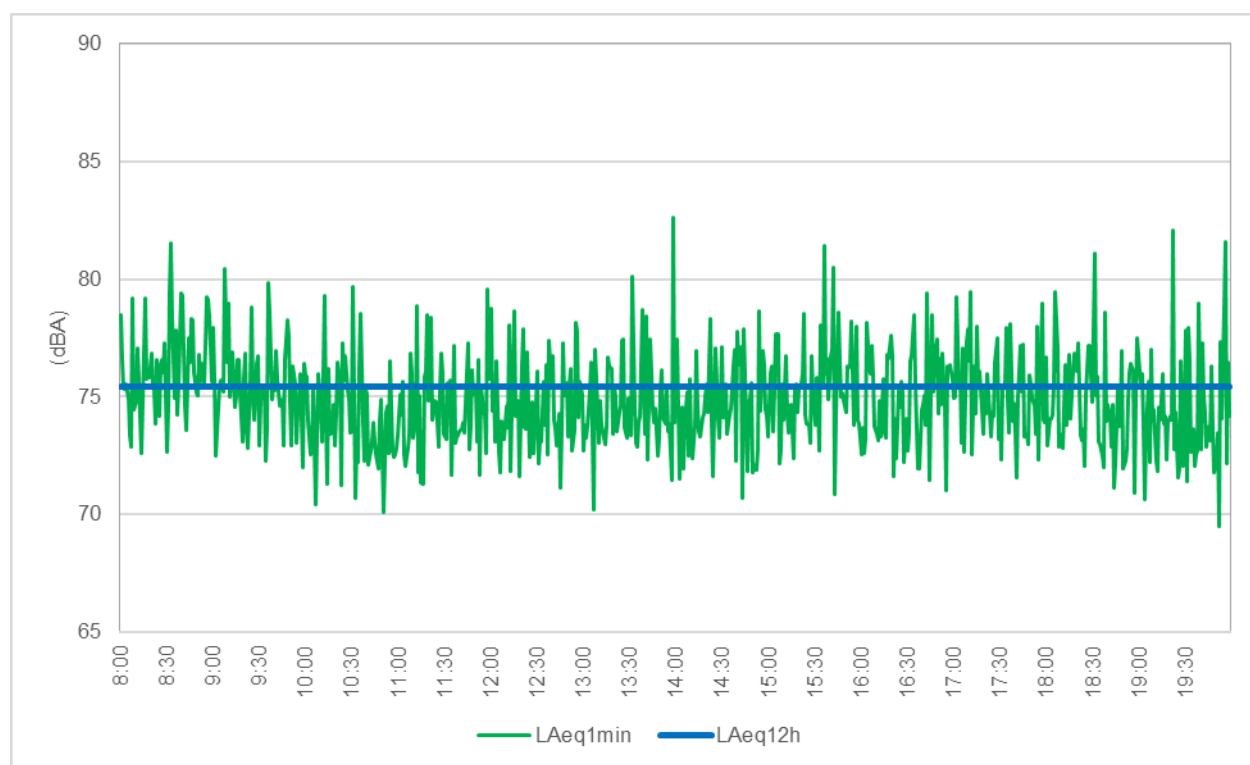
- ☐ La evolución del nivel de presión sonora relevado.
- ☐ El análisis del tiempo de estabilización para el período de 12 horas.
- ☐ El análisis del tiempo de estabilización para períodos de 1 hora. Se presenta como ejemplo la hora correspondiente a las 10 am en cada campaña.
- ☐ El conteo clasificado de vehículos relevado y su variación con el tiempo.

8.1. Campaña P150507 - Jueves

8.1.1. Evolución temporal del nivel de presión sonora

En la Figura 8-1 se presenta la evolución temporal del parámetro $L_{AF,eq,1min}$ registrado durante la campaña de medición. Para la totalidad del período se obtuvo un valor de $L_{AF,eq,12h}$ de 76 dBA.

Figura 8-1 Evolución temporal $L_{Aeq,1min}$ – Campaña P150507



8.1.2. Tiempos de estabilización

Con respecto a los tiempos de estabilización, estos se analizaron para diferentes valores de tolerancia: $\pm 0,5$, ± 1 y ± 2 dBA. A continuación, se presentan los resultados obtenidos, así como su evolución para el período de 12 horas y el período de una hora correspondiente a las 10 am, como ejemplo. La totalidad de los resultados se presentan en el Anexo II.

Tabla 8-1 Tiempos de estabilización – Campaña P150507

Período	$\pm 0,5$ dBA	± 1 dBA	± 2 dBA
12 horas (8:00 – 20:00)	168 min	104 min	2 min
1 hora (10:00 – 11:00)	40 min	2 min	1 min

Figura 8-2 Tiempo de estabilización 12 horas - P150507

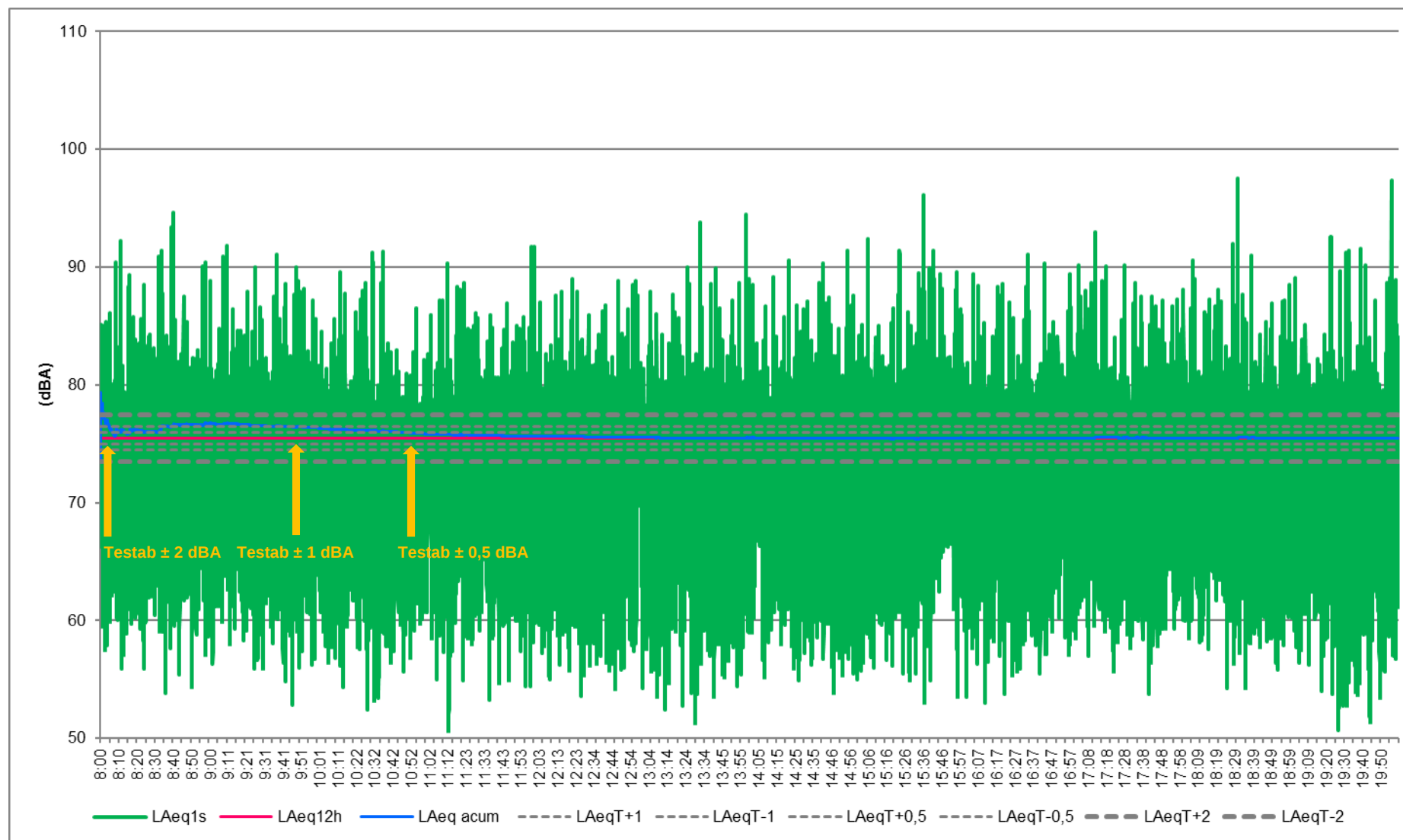
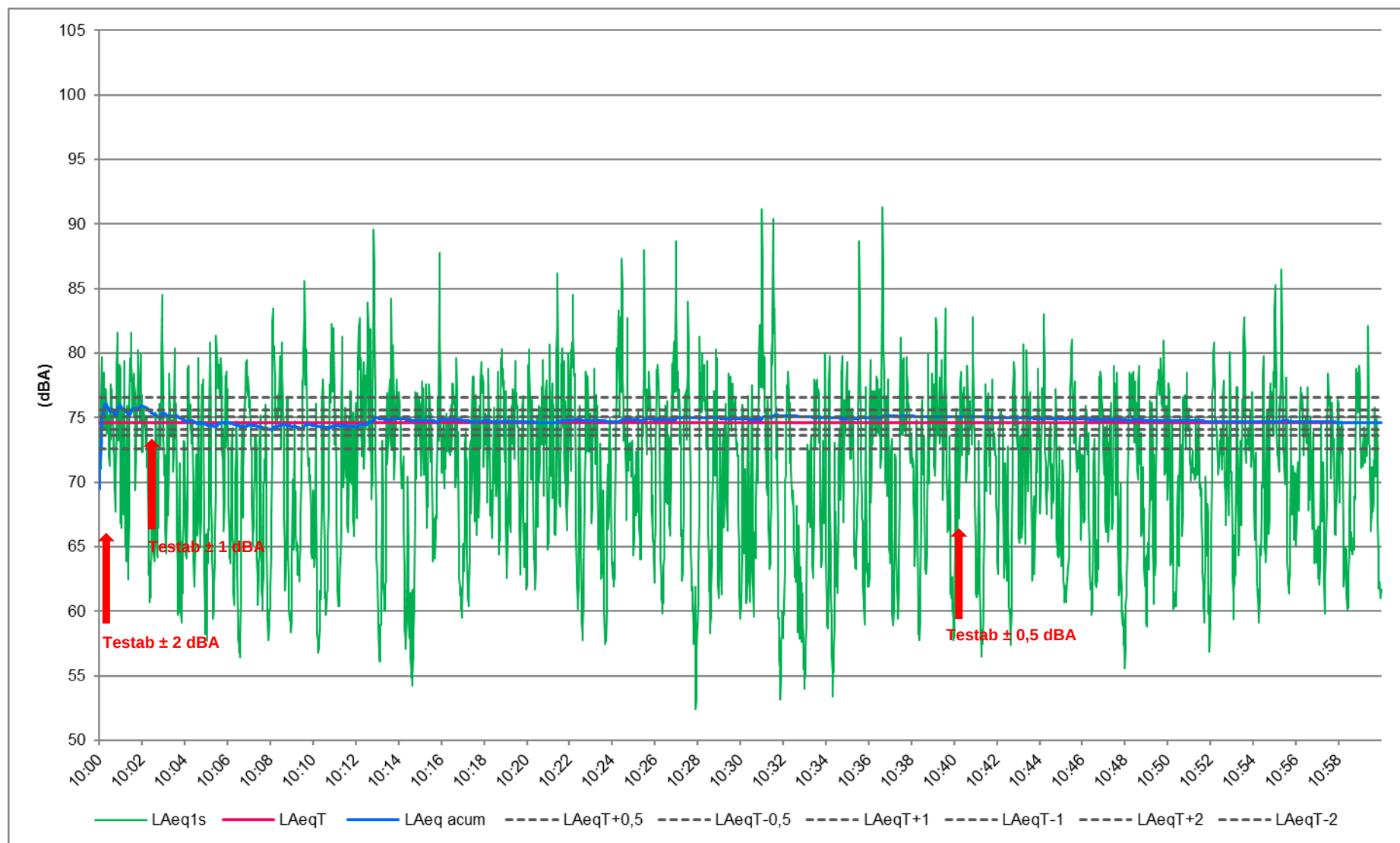


Figura 8-3 Tiempo de estabilización 1 hora, 10 am - P150507



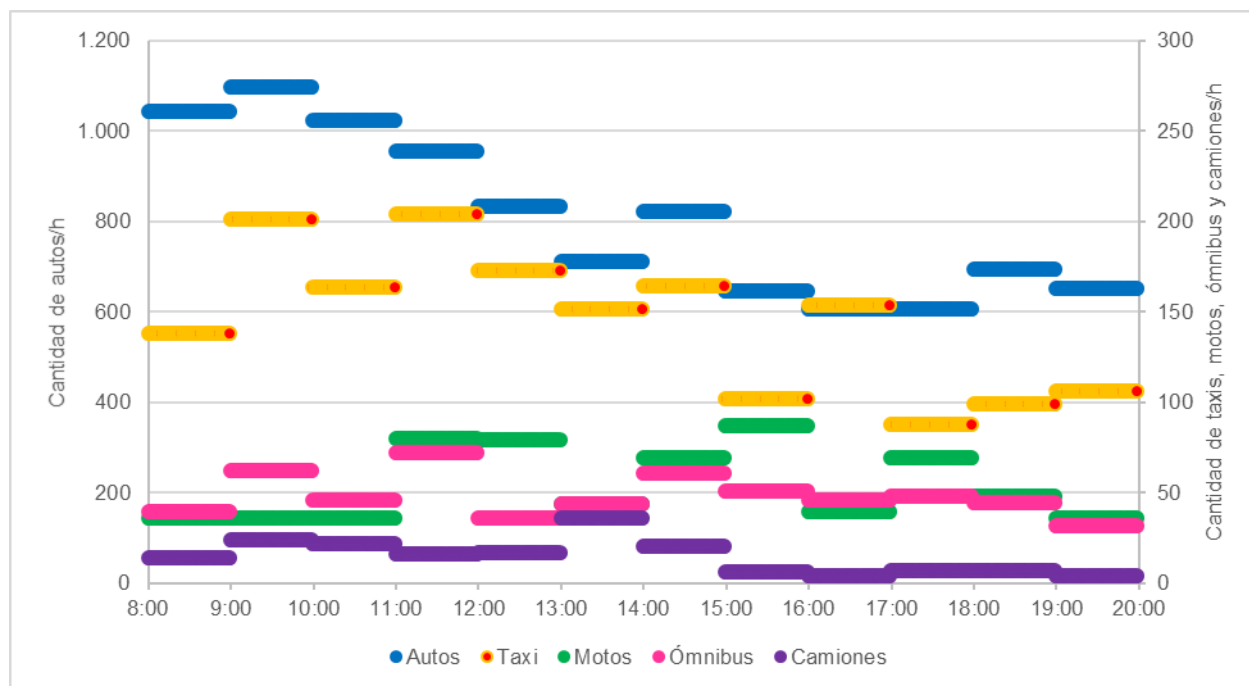
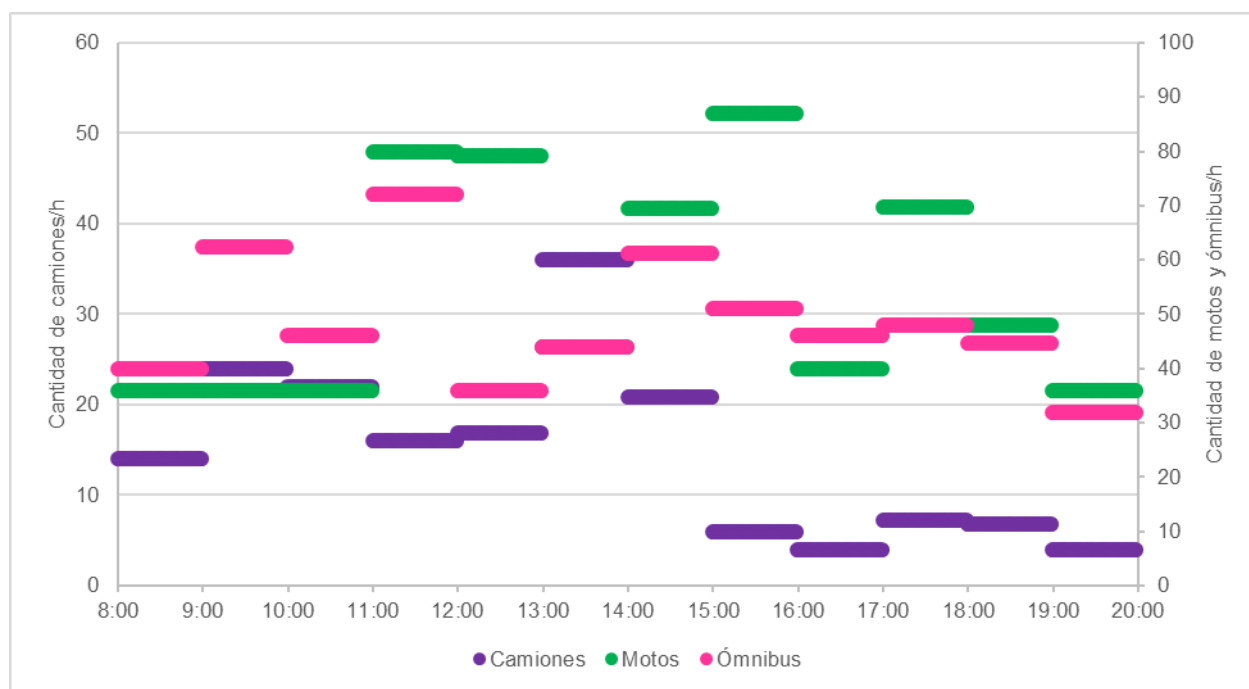
8.1.3. Flujo vehicular

En la Tabla 8-2 se presenta el tránsito horario durante la campaña de medición.

Tabla 8-2 Flujo vehicular clasificado – Campaña P150507

Hora	Autos	Taxis	Motos	Ómnibus	Camiones	% pesados*	% camiones	Flujo total
8:00	1.045	138	36	40	14	4%	1%	1.273
9:00	1.098	202	36	62	24	6%	2%	1.422
10:00	1.024	164	36	46	22	5%	2%	1.292
11:00	956	204	80	72	16	7%	1%	1.328
12:00	833	173	79	36	17	5%	1%	1.138
13:00	712	152	44	44	36	8%	4%	988
14:00	822	165	69	61	21	7%	2%	1.139
15:00	648	102	87	51	6	6%	1%	894
16:00	608	154	40	46	4	6%	0%	852
17:00	799	88	70	48	7	5%	1%	1.012
18:00	694	99	48	45	7	6%	1%	893
19:00	651	106	36	32	4	4%	0%	829
Promedio	824	146	55	49	15	6%	1%	1.088
(*) Pesados: camiones + ómnibus.								

En la Figura 8-4 se puede apreciar la distribución horaria del flujo vehicular clasificado relevado. En eje vertical principal se aprecia la cantidad de autos, mientras que en el eje vertical secundario se presentan los taxis, motos, ómnibus y camiones. Para facilitar su interpretación, en la Figura 8-5 se presenta únicamente la distribución horaria de los camiones, motos y ómnibus.

Figura 8-4 Distribución horaria del flujo vehicular clasificado – Campaña P150507**Figura 8-5 Detalle de distribución horaria de camiones, motos y ómnibus – Campaña P150507**

Como se puede apreciar, los autos registrados presentan un flujo más elevado en las primeras horas de la mañana alrededor de los 1.050 vehículos por hora, para luego estabilizarse alrededor de los 750 vehículos por hora en la tarde. Las motos, sin embargo, presentan un comportamiento aproximado de tipo campana, siendo más importante el flujo durante las horas medias que en las horas punta.

Los taxis y los camiones presentan un comportamiento relativamente estable durante la jornada laboral en el entorno de los 180 vehículos por hora para los primeros y en el entorno de los 20 vehículos por hora los segundos. Sin embargo, en los taxis se observa una caída sobre las 3 pm producto del cambio de turno, y una marcada caída a partir de las 5 pm. Los camiones comienzan a mermer a partir de las 3 pm aproximadamente.

Por último, los ómnibus son los que presentan un comportamiento más estable durante todo el período, en el entorno de las 50 unidades por hora.

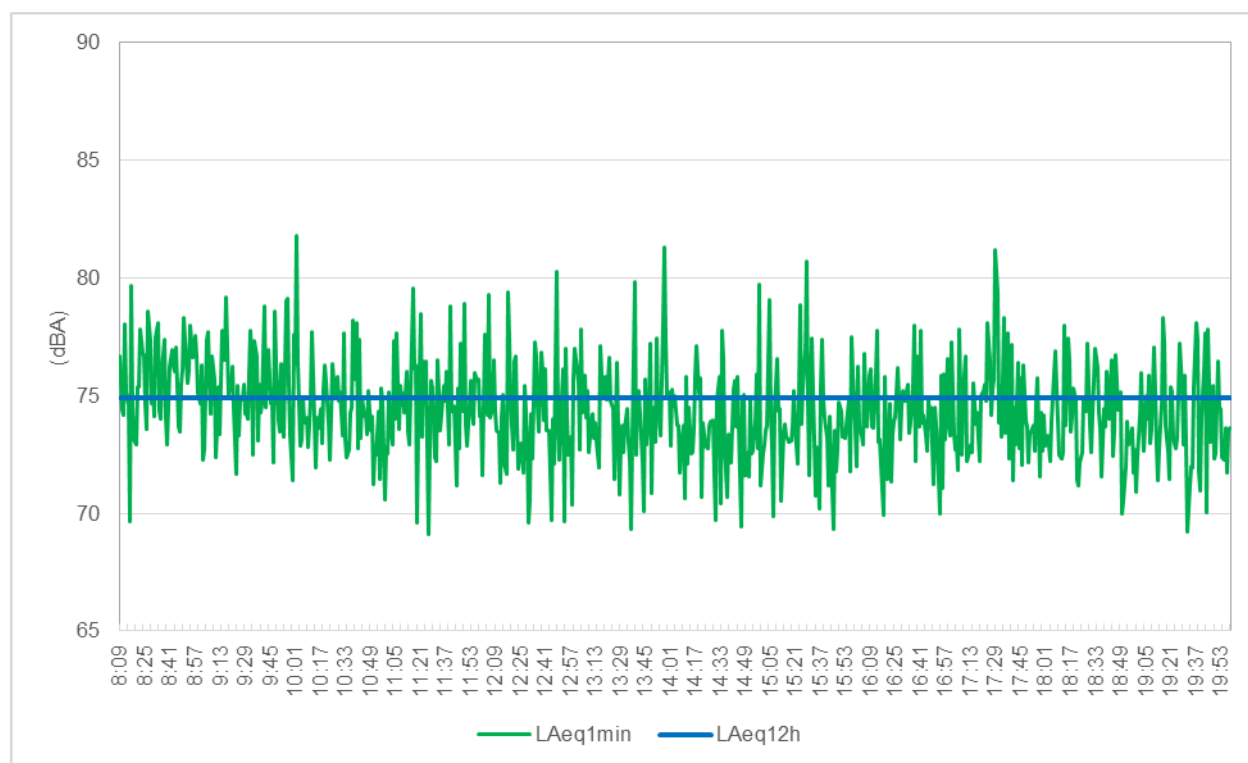
En resumen, esta campaña de medición contó con un flujo medio de aproximadamente 1.100 vehículos hora.

8.2. Campaña P151111 - Miércoles

8.2.1. Evolución temporal del nivel de presión sonora

En la Figura 8-6 se presenta la evolución temporal del parámetro $L_{AF,eq,1min}$ registrado durante la campaña de medición. Para la totalidad del período se obtuvo un $L_{AF,eq,12h}$ de 75 dBA.

Figura 8-6 Evolución temporal $L_{Aeq,1min}$ – Campaña P151111



8.2.2. Tiempos de estabilización

Con respecto a los tiempos de estabilización, estos se analizaron para diferentes valores de tolerancia: $\pm 0,5$, ± 1 y ± 2 dBA. A continuación, se presentan los resultados obtenidos, así como su evolución para el período de 12 horas y el período de una hora correspondiente a las 10 am, como ejemplo. La totalidad de los resultados se presentan en el Anexo II.

Tabla 8-3 Tiempos de estabilización – Campaña P151111

Período	$\pm 0,5$ dBA	± 1 dBA	± 2 dBA
12 horas (8:00 – 20:00)	261 min	120 min	1 min
1 hora (10:00 – 11:00)	24 min	14 min	8 min

Figura 8-7 Tiempo de estabilización 12 horas - P151111

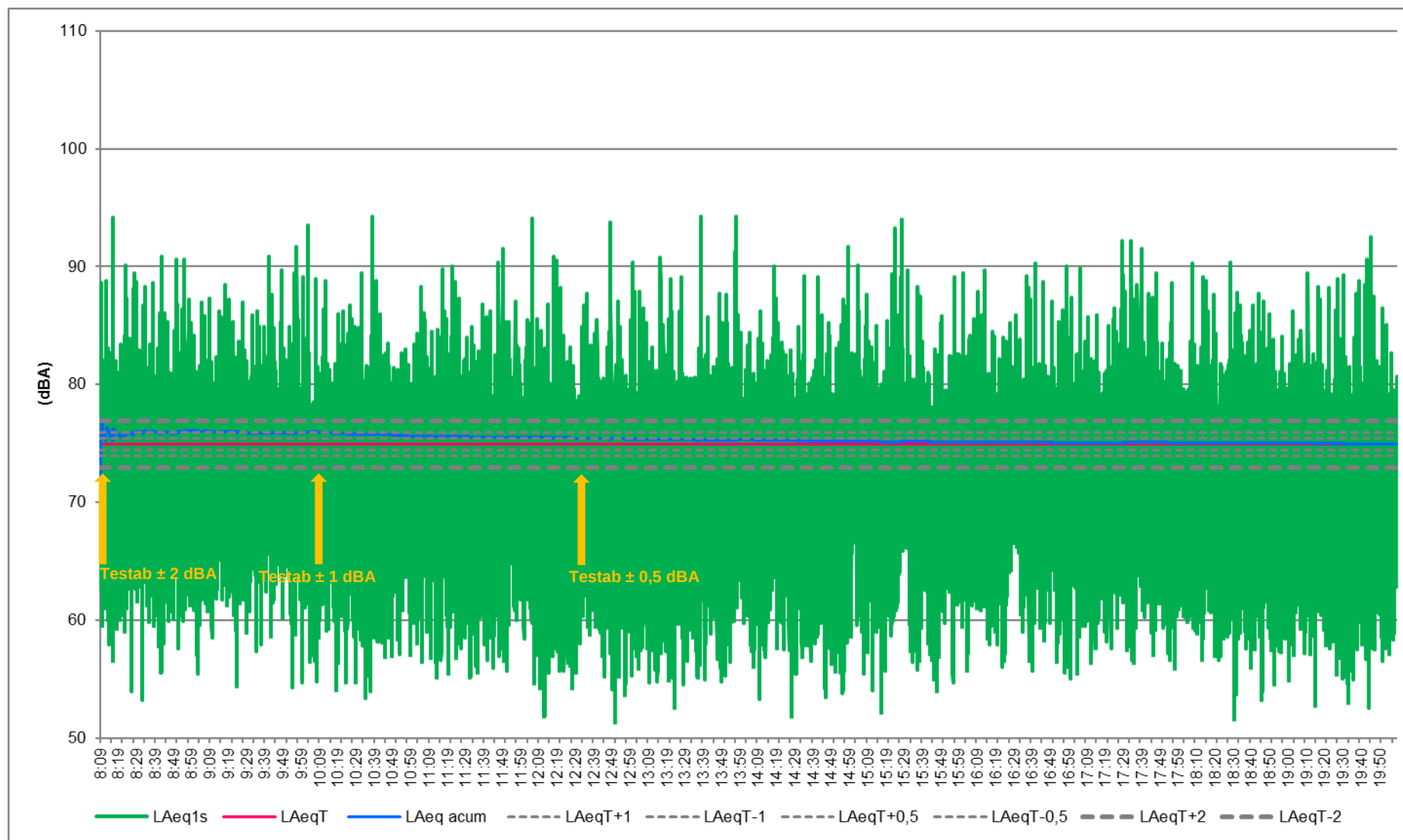
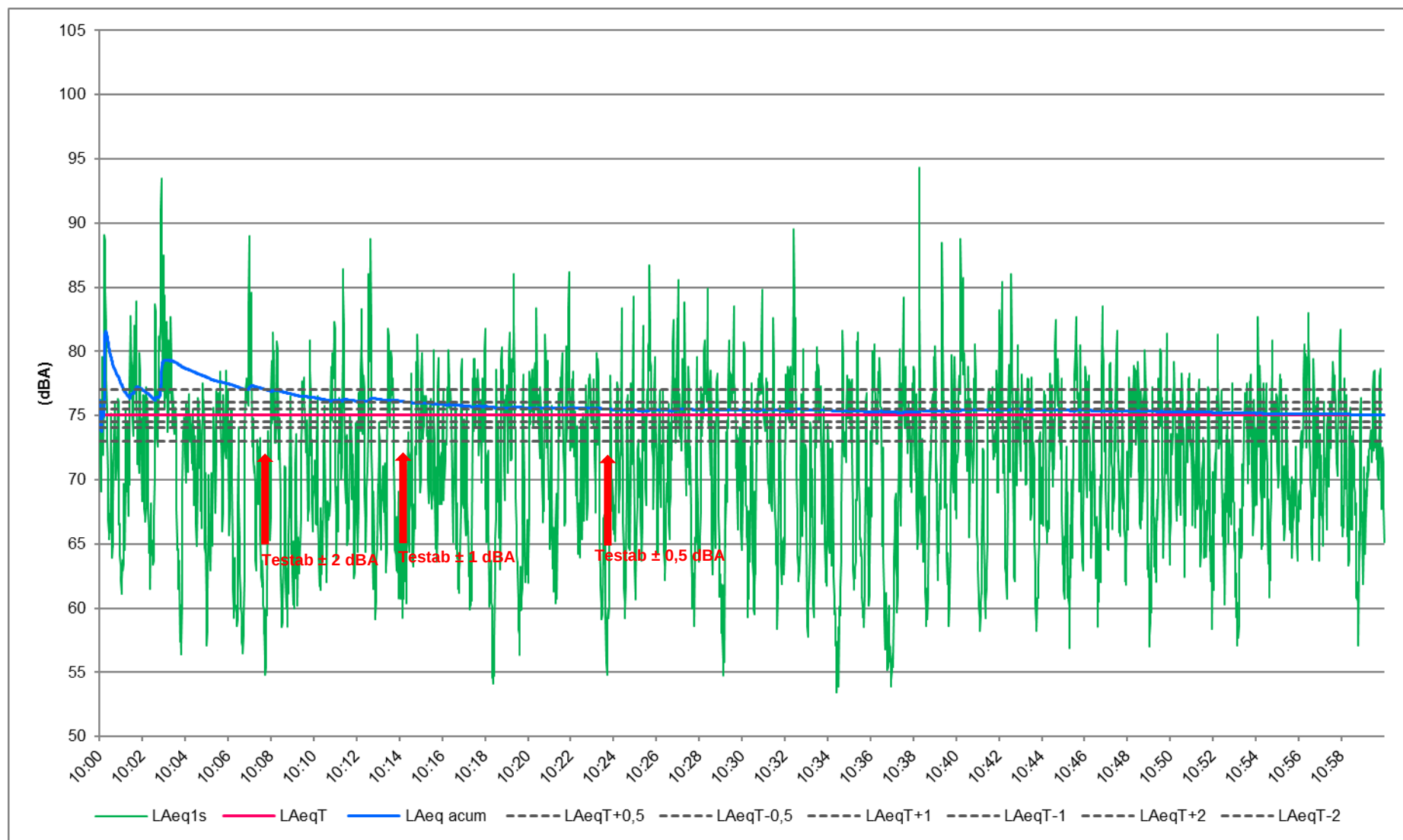


Figura 8-8 Tiempo de estabilización 1 hora, 10 am - P151111



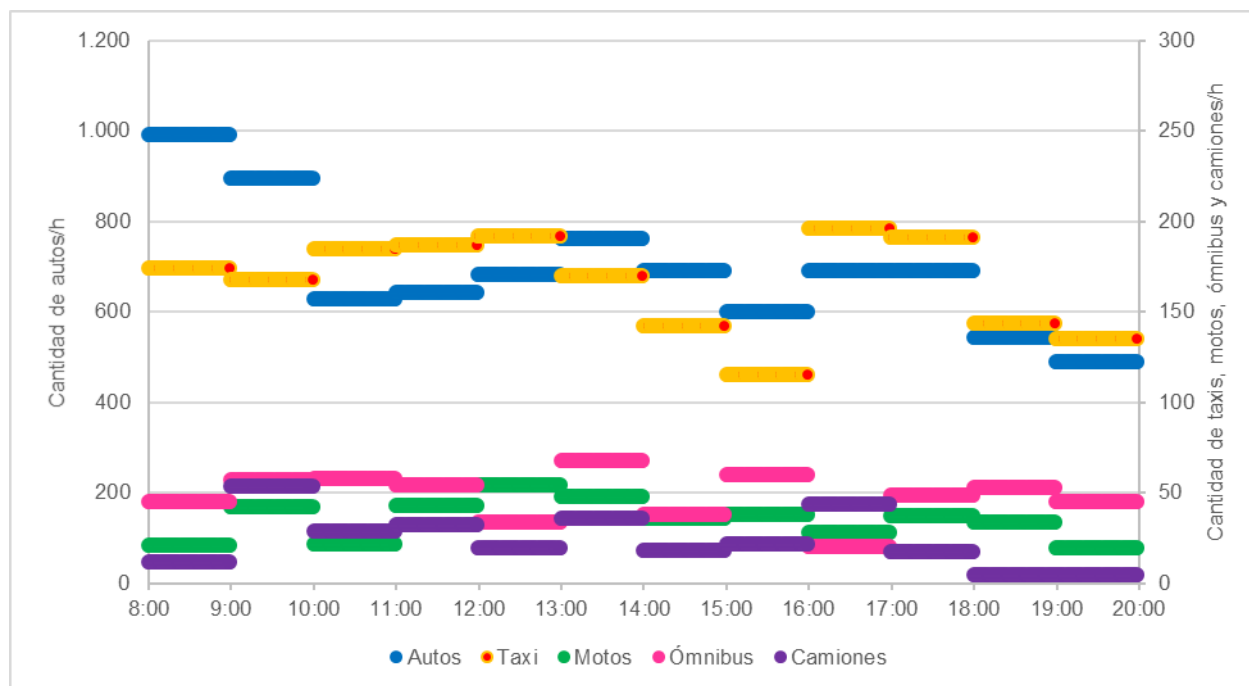
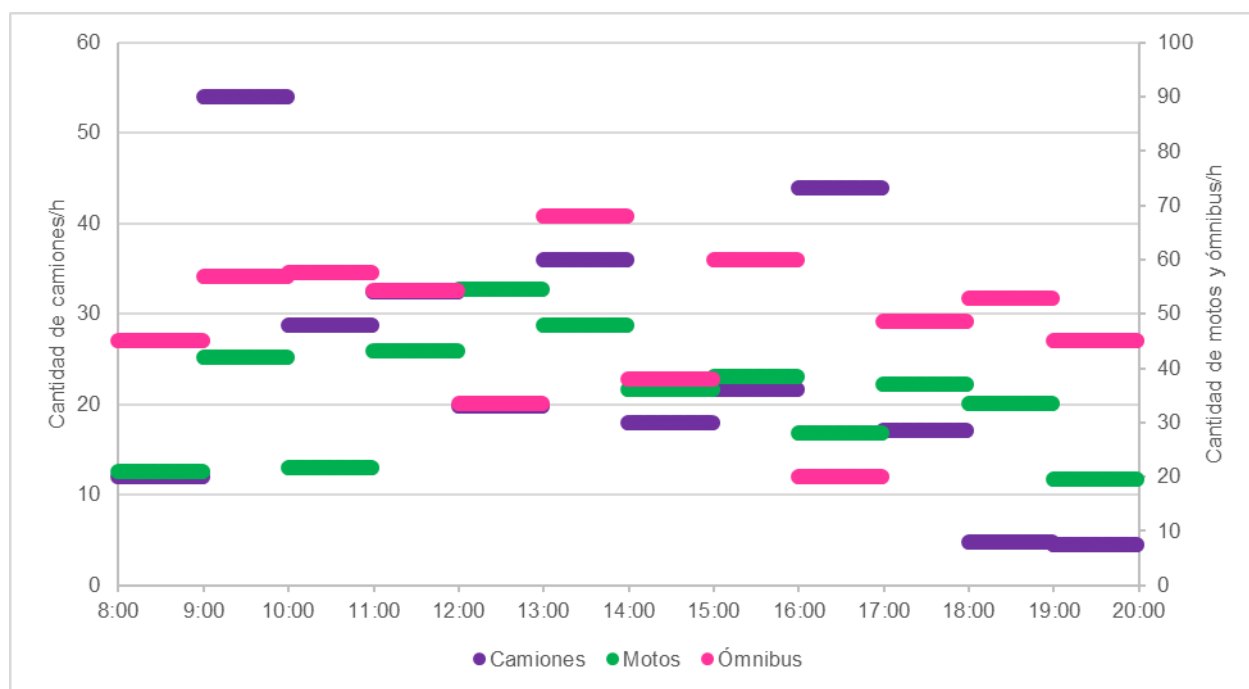
8.2.3. Flujo vehicular

En la Tabla 8-4 se presenta el tránsito horario durante la campaña de medición.

Tabla 8-4 Flujo vehicular clasificado – Campaña P151111

Hora	Autos	Taxis	Motos	Ómnibus	Camiones	% pesados*	% camiones	Flujo total
8:00	993	174	21	45	12	5%	1%	1.245
9:00	897	168	42	57	54	9%	4%	1.218
10:00	629	185	22	58	29	9%	3%	922
11:00	643	187	43	54	32	9%	3%	960
12:00	682	192	55	34	20	5%	2%	982
13:00	762	170	48	68	36	10%	3%	1.084
14:00	692	142	36	38	18	6%	2%	926
15:00	600	115	38	60	22	10%	3%	835
16:00	692	196	28	20	44	7%	4%	980
17:00	786	191	37	49	17	6%	2%	1.080
18:00	545	144	34	53	5	7%	1%	780
19:00	491	135	20	45	5	7%	1%	695
Promedio	701	167	35	48	24	7%	3%	976
(*) Pesados: camiones + ómnibus.								

En la Figura 8-9 se puede apreciar la distribución horaria del flujo vehicular clasificado relevado. En eje vertical principal se aprecia la cantidad de autos, mientras que en el eje vertical secundario se presentan los taxis, motos, ómnibus y camiones. Para facilitar su interpretación, en la Figura 8-10 se presenta únicamente la distribución horaria de los camiones, motos y ómnibus.

Figura 8-9 Distribución horaria del flujo vehicular clasificado – Campaña P151111**Figura 8-10 Detalle de distribución horaria de camiones, motos y ómnibus – Campaña P151111**

Como se puede apreciar, los autos registrados presentan un patrón diferente a la campaña anterior. Aquí se aprecia un elevado flujo en las primeras horas de la mañana, para luego estabilizarse hasta el final del período en el entorno de los 700 vehículos por horas. Las motos también presentan un comportamiento estable durante el período, con variaciones que van desde las 20 a las 50 unidades hora.

Los taxis presentan un comportamiento constante durante la mañana, con una tendencia general a la baja durante la tarde, aunque se nota un aumento del flujo puntual entre las 4 y 5 pm.

Los camiones presentan un comportamiento sumamente variado durante la jornada laboral, con una importante caída luego de las 6 pm. Por último, los ómnibus presentan un comportamiento muy similar a lo registrado en la campaña anterior, con un flujo relativamente estable durante todo el período.

En resumen, esta campaña de medición contó con un flujo medio de aproximadamente 1.000 vehículos hora

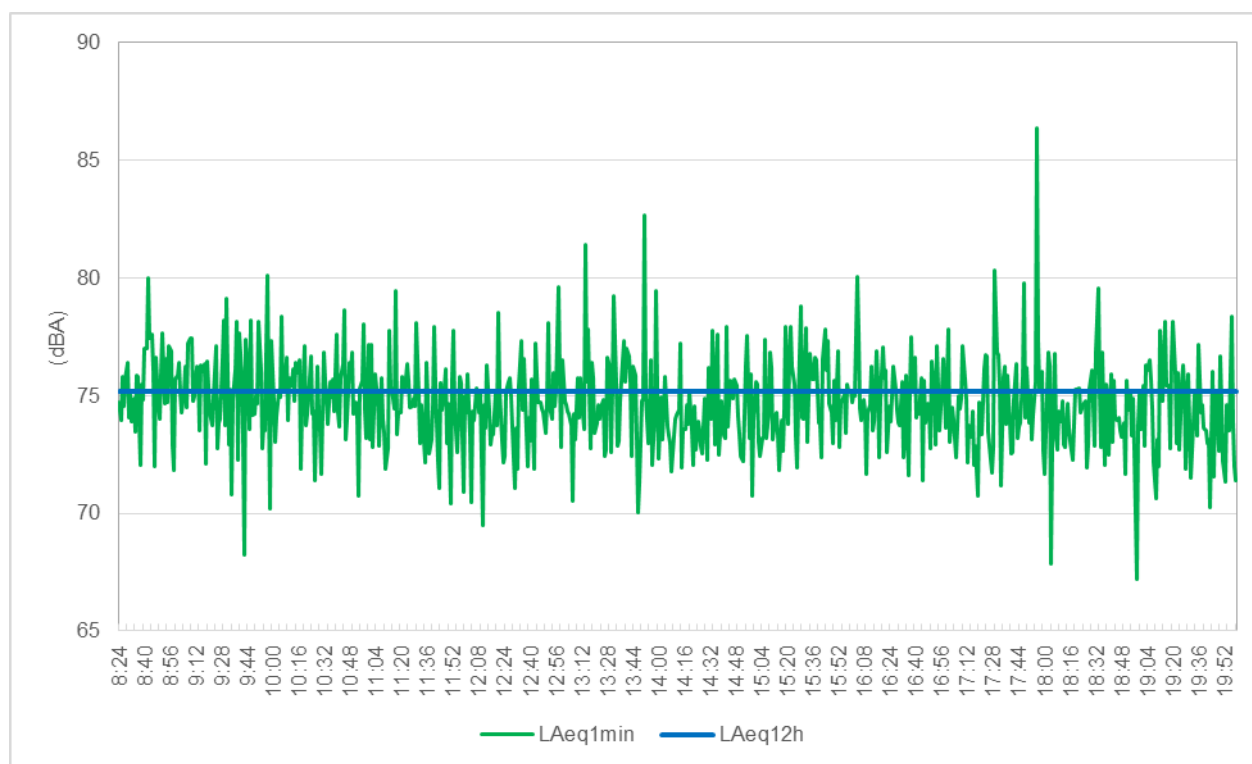
8.3. Campaña P151116 - Lunes

8.3.1. Evolución temporal del nivel de presión sonora

En la Figura a continuación se presenta la evolución temporal del parámetro $L_{AF,eq,1min}$ registrado durante la campaña de medición. Para la totalidad del período se obtuvo un $L_{AF,eq,12h}$ de 75 dBA.

Sobre las 17:55 se parecía un fuerte pico. Según los registros de campo corresponde al pasaje de una moto con escape libre sumamente ruidosa.

Figura 8-11 Evolución temporal $L_{Aeq1min}$ – Campaña P151116



8.3.2. Tiempos de estabilización

Con respecto a los tiempos de estabilización, estos se analizaron para diferentes valores de tolerancia: $\pm 0,5$, ± 1 y ± 2 dBA. A continuación, se presentan los resultados obtenidos, así como su evolución para el período de 12 horas y el período de una hora correspondiente a las 10 am, como ejemplo. La totalidad de los resultados se presentan en el Anexo II.

Tabla 8-5 Tiempos de estabilización – Campaña P151116

Período	$\pm 0,5$ dBA	± 1 dBA	± 2 dBA
12 horas (8:00 – 20:00)	116 min	2 min	1 min
1 hora (10:00 – 11:00)	5 min	5 min	1 min

Figura 8-12 Tiempo de estabilización 12 horas - P151116

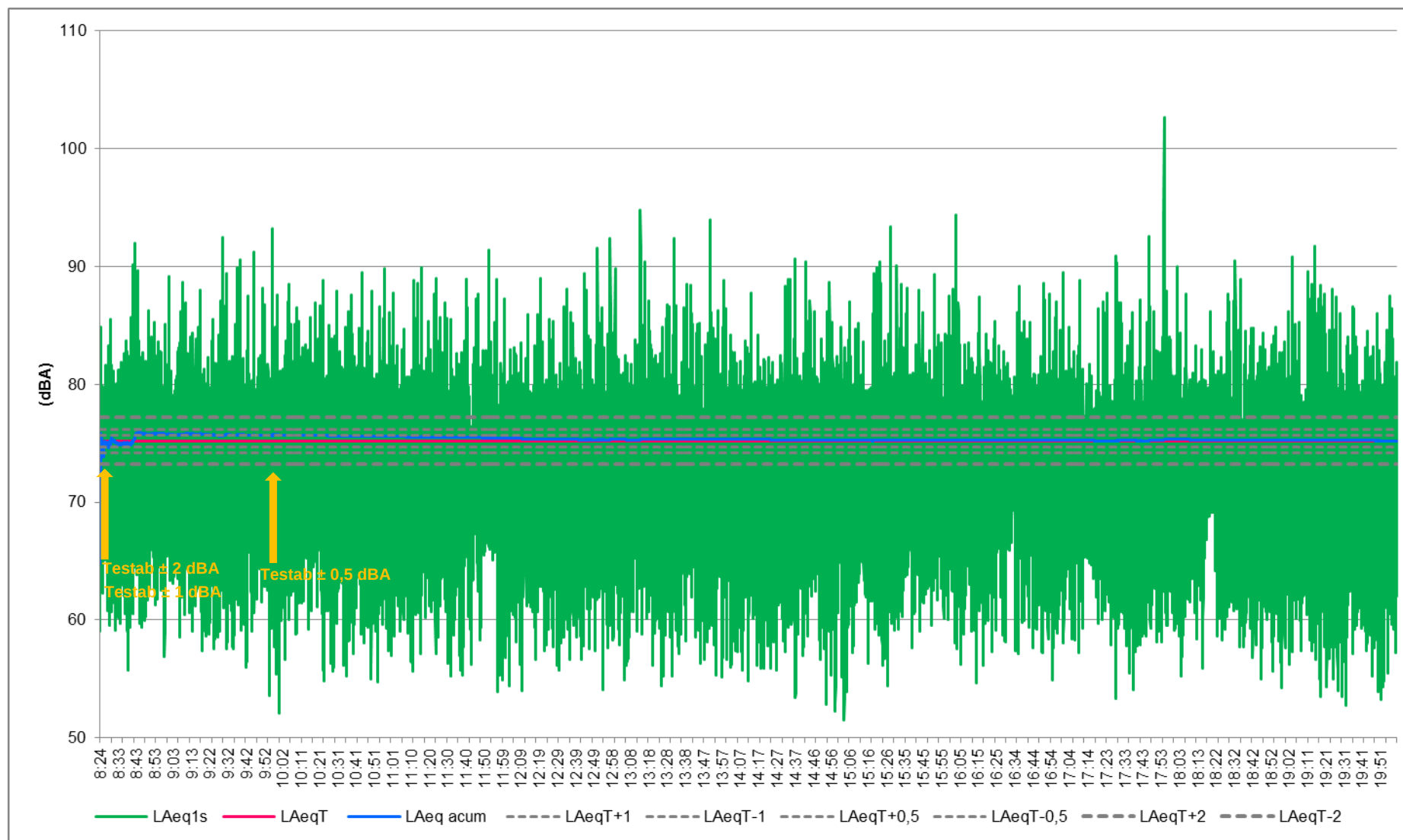
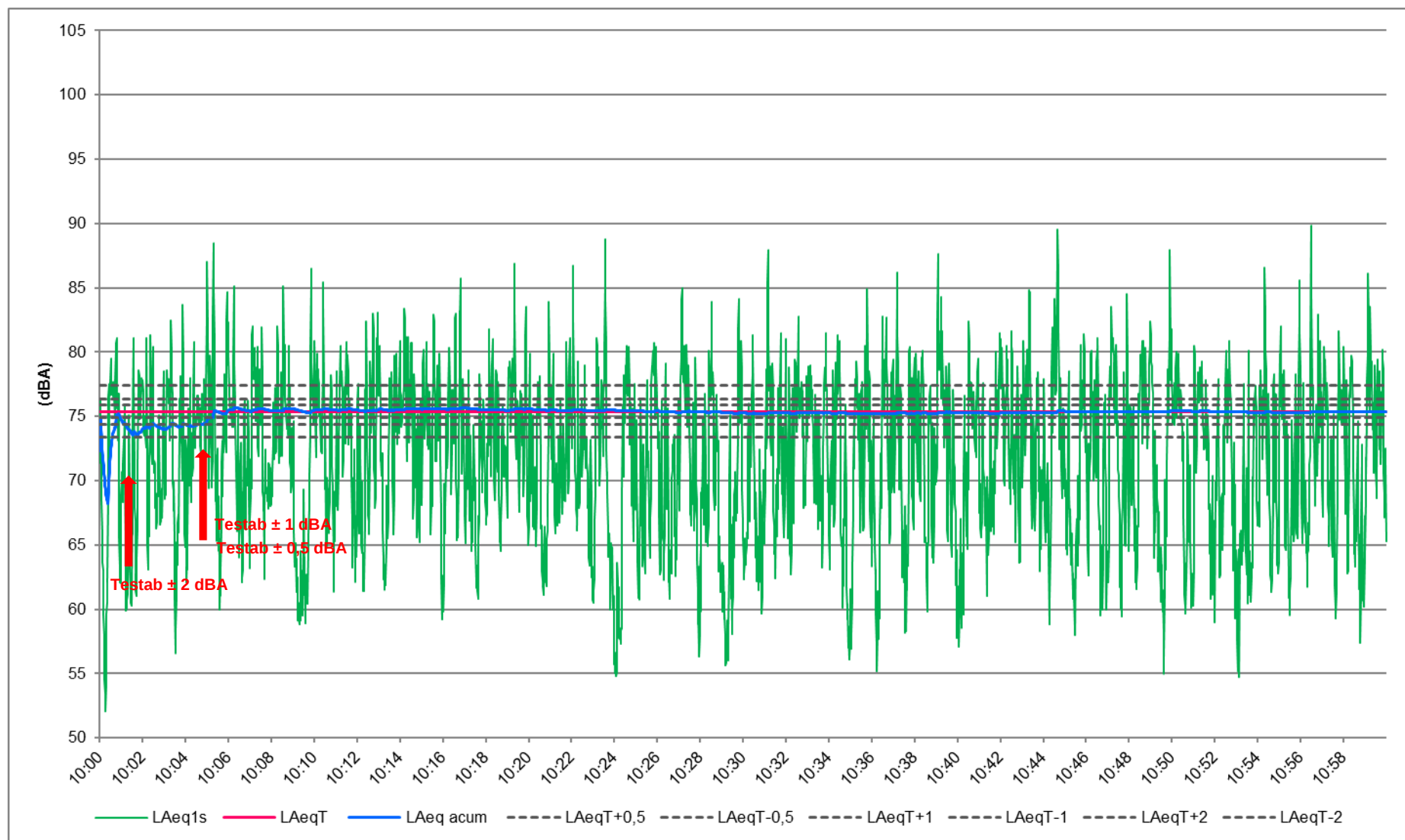


Figura 8-13 Tiempo de estabilización 1 hora, 10 am - P151116



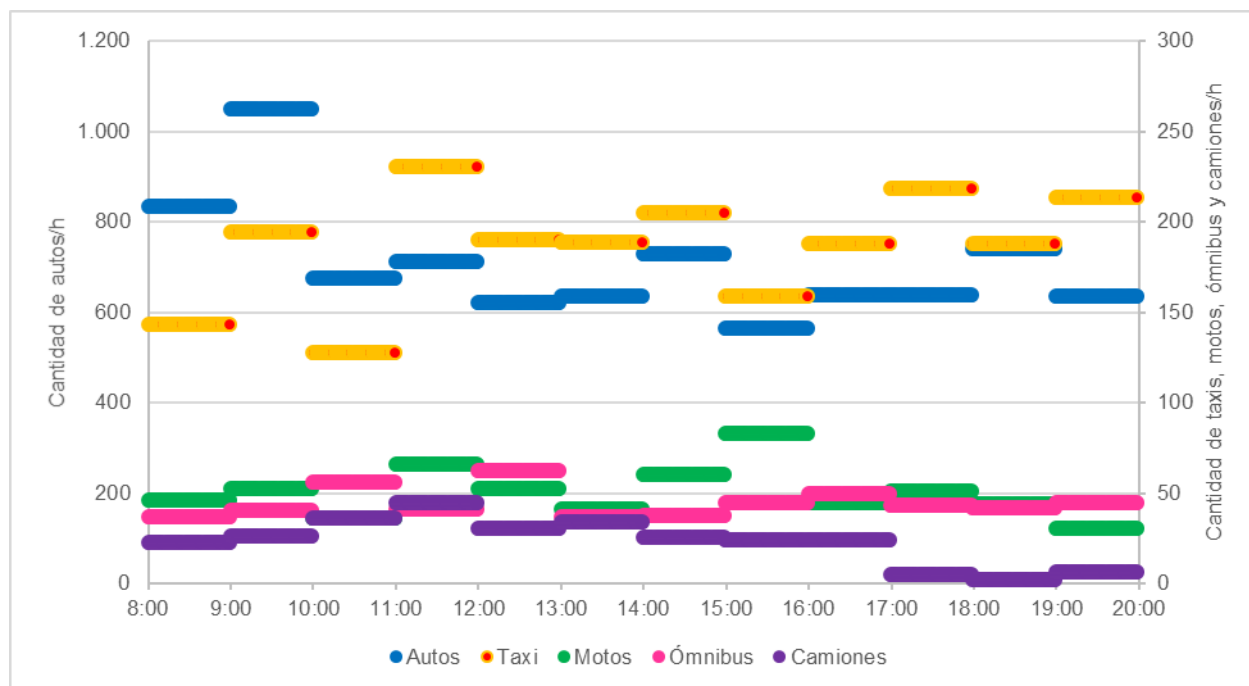
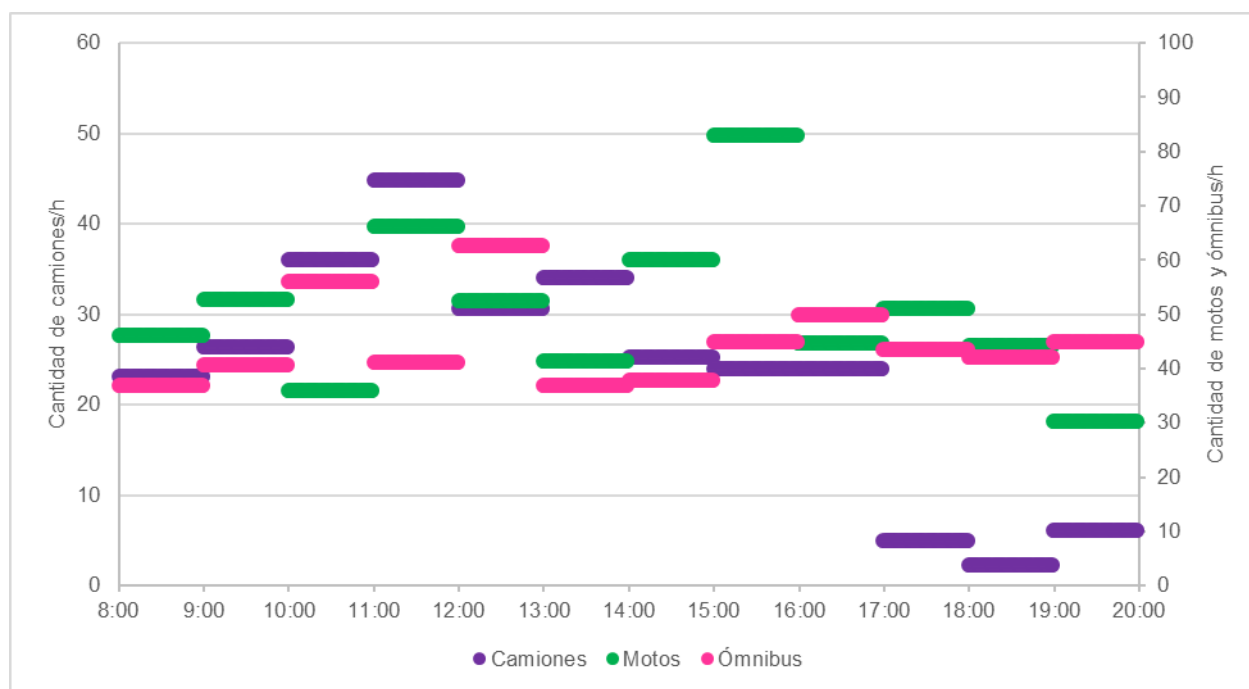
8.3.3. Flujo vehicular

En la siguiente tabla se presenta el tránsito horario durante la campaña de medición.

Tabla 8-6 Flujo vehicular clasificado – Campaña P151116

Hora	Autos	Taxi	Motos	Ómnibus	Camiones	% pesados*	% camiones	Flujo total
8:00	835	143	46	37	23	6%	2%	1.085
9:00	1.049	194	53	41	26	5%	2%	1.363
10:00	676	128	36	56	36	10%	4%	932
11:00	712	231	66	41	45	8%	4%	1.095
12:00	620	190	52	63	31	10%	3%	956
13:00	636	189	42	37	34	8%	4%	937
14:00	729	205	60	38	25	6%	2%	1.058
15:00	566	159	83	45	24	8%	3%	877
16:00	639	188	45	50	24	8%	3%	945
17:00	816	219	51	44	5	4%	0%	1.134
18:00	740	188	44	42	2	4%	0%	1.017
19:00	635	214	30	45	6	6%	1%	930
Promedio	721	187	51	45	23	7%	2%	1.027
(*) Pesados: camiones + ómnibus.								

En la Figura 8-14 se puede apreciar la distribución horaria del flujo vehicular clasificado relevado. En eje vertical principal se aprecia la cantidad de autos, mientras que en el eje vertical secundario se presentan los taxis, motos, ómnibus y camiones. Para facilitar su interpretación, en la Figura 8-15 se presenta únicamente la distribución horaria de los camiones, motos y ómnibus.

Figura 8-14 Distribución del flujo vehicular clasificado – Campaña P151116**Figura 8-15 Detalle de distribución de camiones, motos y ómnibus – Campaña P151116**

Como se puede apreciar, los autos registrados presentan un flujo bastante estable en el entorno de los 700 vehículos por hora durante todo el período, salvo las dos primeras horas de la mañana donde se aprecia un flujo bastante superior. Las motos, sin embargo, presentan un comportamiento aproximado de tipo doble campana, siendo más importante el flujo durante las horas medias que en las horas punta. Este es similar al comportamiento observado durante la primera campaña.

Los taxis y los camiones presentan un comportamiento relativamente estable durante la jornada laboral en el entorno de los 170 vehículos por hora los primeros y en el entorno de los 20 vehículos por hora los segundos. Sin embargo, los taxis no muestran una caída de unidades hacia las últimas horas de la tarde

como se apreció en las campañas anteriores. Los camiones sí presentan un decaimiento a partir de las 5 pm aproximadamente.

Por último, los ómnibus presentan un comportamiento muy similar a lo registrado en las campañas anteriores, con un flujo semi estable durante todo el período en el entorno de las 50 unidades por hora.

En resumen, esta campaña de medición contó con un flujo medio de aproximadamente 1.000 vehículos por hora.

SECCIÓN IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

9. INTRODUCCIÓN

Ante la necesidad de caracterizar acústicamente una zona urbana influenciada por ruido de tráfico, la determinación de la duración de las mediciones a realizar cobra suma importancia a la hora de garantizar que los resultados obtenidos sean buenos descriptores de la realidad muestreada. Sin embargo, dada la complejidad requerida para realizar tales mediciones tanto en recursos humanos como en equipamiento, encontrar un balance entre el costo asociado a su realización y la representatividad alcanzada resulta imprescindible.

Como se mencionó anteriormente, uno de los objetivos del presente trabajo de investigación corresponde a determinar el tiempo de muestreo óptimo asociado al ruido por tránsito urbano que maximice la relación costo-beneficio. Por tanto, se estudia la validez de las recomendaciones realizadas por González (2000a) a la luz de los resultados de campo obtenidos. Se recuerda que el trabajo de campo realizado pretende ser una primera aproximación a esta investigación, ya que no replica algunas de las variables consideradas por González, siendo la espacial la más significativa. Sin embargo, pretende realizar una primera evaluación para determinar si una segunda instancia de investigación más ambiciosa y profunda es necesaria.

La optimización del tiempo de muestreo está intrínsecamente vinculada al tiempo de estabilización de la medición. Como se mencionó anteriormente en el capítulo 5, el tiempo de estabilización corresponde al menor tiempo transcurrido necesario para que el nivel sonoro continuo equivalente registrado durante un período difiera no más de un intervalo predefinido del nivel sonoro continuo equivalente del período de mayor duración que se desea representar (Giraldo 2012; González 2000a). Por tanto, la selección de dicho intervalo de tolerancia predefinido depende fuertemente del objetivo de la medición a realizar y el grado de veracidad que se desee lograr.

Distintos objetivos pueden requerir diferentes grados de precisión y, por tanto, el diseño de la campaña de medición asociada podrá optimizar la distribución de sus recursos, generalmente acotados, según corresponda. Por ejemplo, si se desea realizar una caracterización acústica general de la ciudad, seguramente se considere como aceptable un nivel de tolerancia más amplio que si se desea caracterizar particularmente una zona específica de la ciudad. Esto puede llevar que en el diseño de la primera campaña se priorice la distribución espacial de las muestras a realizar en vez de la precisión obtenida en cada una de ellas, resultando en tiempos de medición más cortos en cada ubicación. Sin embargo, en el segundo ejemplo correspondiente a la caracterización específica de una zona puntual, seguramente se priorice la precisión de la medida antes que su cantidad.

Considerando tales posibilidades y que el fenómeno en estudio corresponde al ruido asociado al tránsito vehicular urbano, se seleccionó como intervalo de tolerancia valores de $\pm 0,5$, ± 1 y ± 2 dBA para el análisis del tiempo de muestreo óptimo. Con este análisis se pretende caracterizar el nivel sonoro urbano con distintos niveles de confianza, de modo que los usuarios puedan elegir en función del grado de veracidad que se asuma como representativo para su objetivo específico, el nivel de esfuerzo requerido.

Para lograr tal objetivo, en el presente capítulo se estudia la representatividad estadística de los muestreos realizados, los tiempos de estabilización de cada medida y la optimización del tiempo de muestreo. El análisis se realiza para muestras de 1 hora de duración, así como para muestras de 12 horas de duración del período diurno (8 a 20 h). Por último, se analizan los resultados a la luz de las conclusiones obtenidas por González (2000a).

Adicionalmente, en los capítulos 12 y 13 de esta sección se aborda el estudio de la vigencia del modelo de predicción de ruido de tránsito desarrollado por González para la ciudad de Montevideo. En virtud de que la flota vehicular capitalina ha variado considerablemente en los últimos años, particularmente desde el estudio de González, resulta de importancia verificar si dichas conclusiones siguen siendo válidas y aplicables a la realidad actual.

Para ello, primero se realiza un análisis sobre la existencia de anómalos acústicos y su potencial distorsionador del ambiente sonoro local investigando si estos siguen siendo relevantes en la predicción

del nivel de presión sonora generado por el tránsito urbano. Por último, se analiza la aplicabilidad del modelo de predicción desarrollado por González a la realidad capitalina actual.

10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis de la optimización del tiempo de muestreo primero hay que verificar la comparabilidad de las muestras colectadas.

Como primer paso, se analizó la normalidad de los valores obtenidos a partir de la prueba de D'Agostino para las muestras de 1 hora y 12 horas de duración. Según se presenta en la Tabla 10-1, un 83% de las muestras de 1 hora rechaza la hipótesis nula al 95% de confianza, por lo que no se puede considerar que estas sean ajustadas por una distribución normal. El mismo comportamiento se aprecia con las muestras de 12 horas de duración (Tabla 10-2), en la cual el 100% rechaza la hipótesis nula para igual intervalo de confianza. Por tanto, se analizará la representatividad de la muestra a partir de la estadística no paramétrica.

Es importante destacar que este resultado es coincidente con la investigación de González (2000a).

Tabla 10-1 Análisis de normalidad muestras de 1 hora – Resultados prueba de D'Agostino

Hora	P150507		P151111		P151116	
	Resultado	Estadístico D'Agostino	Resultado	Estadístico D'Agostino	Resultado	Estadístico D'Agostino
8:00	Acepta Ho	0,28119	Rechaza Ho	0,28341	Rechaza Ho	0,28429
9:00	Acepta Ho	0,28204	Acepta Ho	0,28271	Acepta Ho	0,28284
10:00	Rechaza Ho	0,28340	Rechaza Ho	0,28371	Rechaza Ho	0,28459
11:00	Acepta Ho	0,28173	Rechaza Ho	0,28367	Rechaza Ho	0,28451
12:00	Rechaza Ho	0,28368	Rechaza Ho	0,28485	Rechaza Ho	0,28553
13:00	Rechaza Ho	0,28358	Rechaza Ho	0,28444	Rechaza Ho	0,28426
14:00	Rechaza Ho	0,28547	Rechaza Ho	0,28624	Rechaza Ho	0,28529
15:00	Rechaza Ho	0,28438	Rechaza Ho	0,28338	Rechaza Ho	0,28321
16:00	Rechaza Ho	0,28418	Rechaza Ho	0,28475	Rechaza Ho	0,28378
17:00	Rechaza Ho	0,28446	Rechaza Ho	0,28427	Acepta Ho	0,28277
18:00	Rechaza Ho	0,28519	Rechaza Ho	0,28573	Rechaza Ho	0,28537
19:00	Rechaza Ho	0,28418	Rechaza Ho	0,28646	Rechaza Ho	0,28659
Porcentaje total de aceptación hipótesis nula:				17%		
Porcentaje total de rechazo hipótesis nula:				83%		

Tabla 10-2 Análisis de normalidad muestras de 12 horas – Resultados prueba de D'Agostino

Hora	P150507		P151111		P151116	
	Resultado	Estadístico D'Agostino	Resultado	Estadístico D'Agostino	Resultado	Estadístico D'Agostino
8:00 – 20:00	Rechaza Ho	0,28370	Rechaza Ho	0,28457	Rechaza Ho	0,28453

Continuando con el análisis, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis para estudiar la comparabilidad de las muestras colectadas. Considerando un 95% de confianza, la prueba acepta la hipótesis nula correspondiente a que las muestras provienen de la misma población (representan el mismo fenómeno físico). En la Tabla 10-3 se presentan dichos resultados.

Tabla 10-3 Análisis de comparabilidad entre muestras – Resultados prueba de Kruskal-Wallis

Hora	P150507 - P151111 - P151116	
	Resultado	Estadístico H
8:00 – 20:00	Acepta Ho	4,726

Estos resultados deben analizarse conjuntamente con los resultados obtenidos por González (2000a) presentados previamente en el capítulo 5. Es decir, los resultados obtenidos son coincidentes: se mantiene la no normalidad de las muestras colectadas y su comparabilidad en el período diurno de días laborables.

Sin embargo, cuando se analizó la intercomparabilidad diaria, es decir, si la medición podría realizarse en cualquier horario durante el día, los resultados obtenidos difieren a los reportados por González.

Al analizar las muestras, se observa que, si se compara la mañana y la tarde de la misma campaña de medición, solamente dos de las muestras aceptan la hipótesis nula de la prueba de Mann-Whitney al 95% de confianza; es decir, solamente dos son estadísticamente comparables.

Adicionalmente, dado que ya se comprobó que los días de las semanas son comparables entre sí (a partir de los datos de campo y resultados de González), se analizó si el conjunto de las mañanas era estadísticamente comparable al conjunto de las tardes. Los resultados de campo analizados indican que no, que estas no son comparables, al 95% de confianza. En la Tabla 10-4 y Tabla 10-5 se presenta los valores hallados.

Tabla 10-4 Análisis de comparabilidad inter muestra: mañana vs. tarde – Resultados prueba de Mann-Whitney

Muestra	P150507		P151111		P151116	
	Resultado	Estadístico Z	Resultado	Estadístico Z	Resultado	Estadístico Z
Mañana vs. tarde (8 – 14 vs 14 – 20)	Acepta Ho	0,160	Rechaza Ho	2,562	Acepta Ho	1,095

Tabla 10-5 Análisis de comparabilidad entre muestras: mañanas vs. tardes – Resultados prueba de Mann-Whitney

Hora	P150507 - P151111 - P151116	
	Resultado	Estadístico Z
Mañanas vs. tardes (8 – 14 vs 14 – 20)	Rechaza Ho	2,046

Por tanto, la recomendación de González de que la medición para representar el período diurno puede realizarse a cualquier momento entre las 8 a 20 h, resulta no válida para las mediciones realizadas. Si bien este resultado es contradictorio a lo informado por González y podría mostrar una variación en el comportamiento del ruido producto del tráfico urbano, *a priori*, hay que analizarlo cuidadosamente y contextualizarlo a la situación estudiada. Es decir, González alcanzó tal conclusión a partir del análisis de 33 muestras colectadas en varios puntos de la ciudad y, el presente trabajo, analiza únicamente tres muestras en un único punto. Es decir, la variabilidad espacial montevideana no se encuentra considerada en el trabajo de campo actual y la cantidad de muestras colectadas es pequeña. Adicionalmente, si se analiza detalladamente el proceso de cálculo de González se observa que, de las muestras analizadas para alcanzar tal conclusión, solamente el 82% acepta la hipótesis nula de la prueba de Mann-Whitney al 95% de confianza. Por tanto, si se analizase un mayor rango espacial de la ciudad, es posible que el resultado hallado no sea contradictorio al considerar un universo más amplio de mediciones. Por último, como tercer factor a considerar se recuerda que el punto de medición se localiza sobre una avenida con un único sentido de circulación hacia al centro, por lo que, *a priori*, no sería descabellado considerar que el tránsito tiene un ciclo diferenciado entre la mañana y la tarde durante los días laborables, principalmente asociado al ingreso al centro durante la mañana y su retiro, por otras vías de circulación, al finalizar la jornada laboral.

Por tanto, el resultado obtenido sobre la no vigencia de la recomendación acerca del momento de medición durante el período diurno debe tomarse, en esta instancia, como un llamador de atención. Es decir, en este momento aún no se puede afirmar ni negar su vigencia, simplemente se puede alertar sobre su situación, para que se diseñe una nueva estrategia de muestreo que aborde este tema con la suficiente profundidad para asegurar conclusiones representativas.

11. OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO DE MUESTREO

Determinar el mínimo tiempo de muestreo que garantice una representatividad adecuada del fenómeno que se quiere estudiar resulta de suma importancia a la hora del diseño de las campañas de medición. Por lo general, estas son complejas y requieren de gran cantidad de recursos, tanto humanos como económicos, los que, en general, son escasos. Por lo tanto, contar con recomendaciones que permitan realizar una gestión eficiente y eficaz de dichos recursos resulta vital.

Como se mencionó anteriormente, uno de los objetivos de la presente investigación corresponde a verificar si las conclusiones obtenidas por González (2000a) con respecto a la optimización del tiempo de muestreo siguen siendo de aplicación, 16 años después.

11.1. Optimización del tiempo de muestreo para campañas de 1 hora

Según lo presentado en la *Sección III: Trabajo de campo*, se presentan a continuación los tiempos de estabilización obtenidos para muestras de una hora de duración de las campañas realizadas.

Para cada campaña válida se realizó el análisis de los tiempos de estabilización de las mediciones de una hora de duración para tolerancias de $\pm 0,5$, ± 1 y ± 2 dBA. Se consideraron los períodos de 60 minutos que comenzaron en hora puntual, es decir 8:00-9:00, 9:00-10:00, 10:00-11:00, etc.; y aquellos períodos que comenzaron en 30 minutos, es decir 8:30-9:30, 9:30-10:30, 10:30-11:30, etc.

En la Figura 11-1 se presenta, a modo de ejemplo, la evolución de una hora en particular y en la Tabla 11-1 se presentan los resultados obtenidos para todas las muestras analizadas. En el Anexo II se presenta el análisis de la totalidad de las horas relevadas.

Figura 11-1 Tiempo de estabilización P151111, 10 am

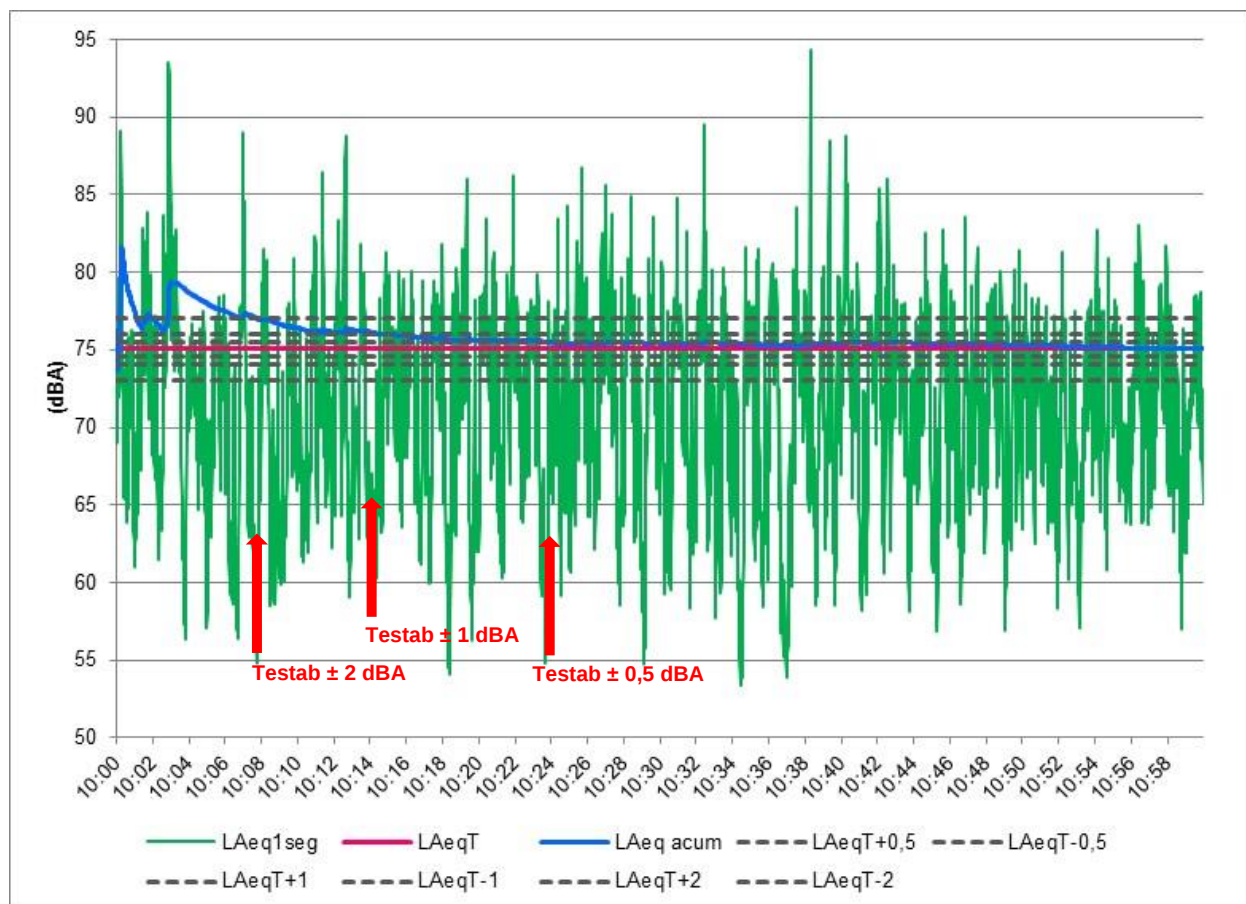


Tabla 11-1 Tiempos de estabilización para muestras de 1 h (valores expresados en minutos)

Hora	P150507			P151111			P151116		
	Σ (dBA)								
	± 0,5	± 1	± 2	± 0,5	± 1	± 2	± 0,5	± 1	± 2
8:00 – 9:00	34	8	1	14	1	1	SD	SD	SD
8:30 – 9:30	32	12	2	5	2	1	12	11	1
9:00 – 10:00	18	2	1	6	5	1	10	2	1
9:30 – 10:30	25	6	1	38	2	1	10	3	1
10:00 – 11:00	40	2	1	24	14	8	5	5	1
10:30 – 11:30	40	8	3	14	3	1	7	1	1
11:00 – 12:00	17	8	1	6	5	3	12	2	1
11:30 – 12:30	18	2	1	9	5	2	5	1	1
12:00 – 13:00	6	5	2	24	7	1	33	4	1
12:30 – 13:30	9	4	1	19	5	4	21	4	4
13:00 – 14:00	32	17	3	38	5	2	14	14	1
13:30 – 14:30	33	4	2	36	8	1	39	23	1
14:00 – 15:00	22	3	2	6	1	1	33	2	1
14:30 – 15:30	7	3	1	34	5	2	7	2	1
15:00 – 16:00	37	6	1	33	5	1	22	6	1
15:30 – 16:30	38	19	1	25	3	1	16	2	2
16:00 – 17:00	17	4	4	14	2	2	16	9	5
16:30 – 17:30	14	3	2	12	1	1	7	4	1
17:00 – 18:00	23	12	1	25	6	1	55	47	1
17:30 – 18:30	4	3	3	22	15	5	41	31	1
18:00 – 19:00	33	5	1	17	6	1	20	2	1
18:30 – 19:30	14	10	5	17	5	1	14	8	1
19:00 – 20:00	23	3	1	5	3	1	30	4	2
SD: Sin dato									

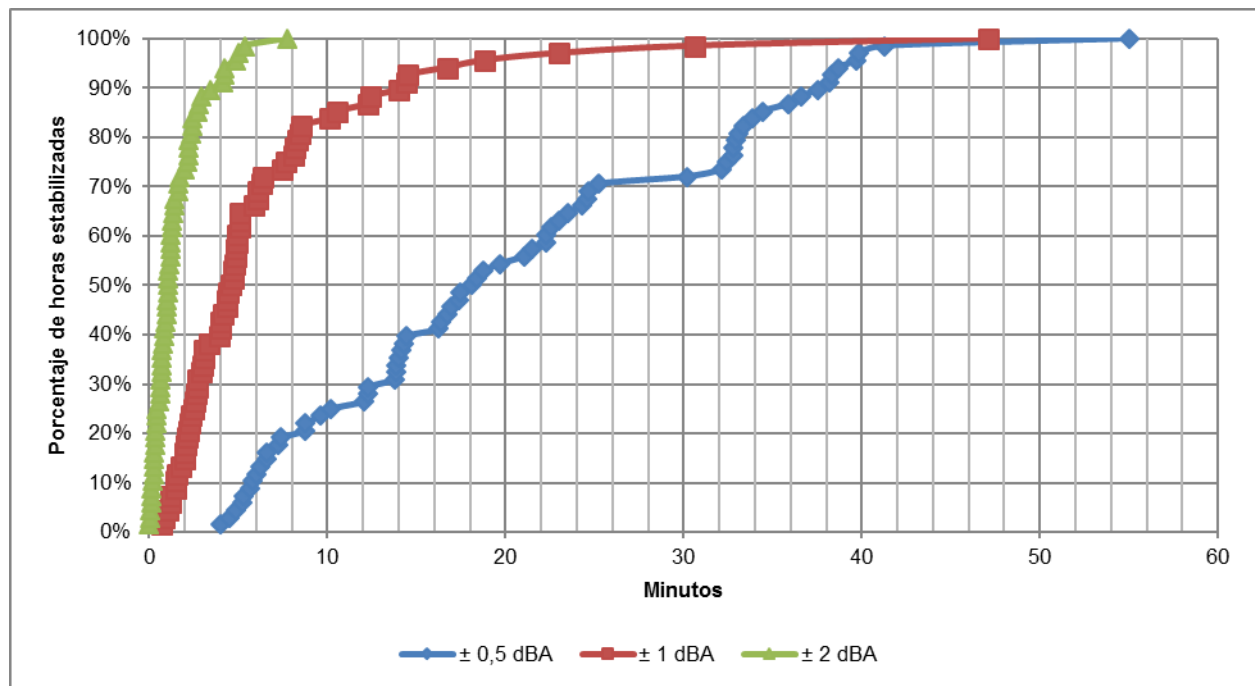
Para apreciar mejor el comportamiento del tiempo de estabilización de las muestras de una hora, en la Figura 11-2 y Figura 11-3 se presenta la relación entre los tiempos de estabilización obtenidos y el porcentaje de horas estabilizadas.

Como se puede apreciar, la estabilización para un intervalo de ± 2 dBA se produce a los escasos minutos de comenzada la medición, por lo que el 95% de las muestras alcanzan la estabilización a los 5 minutos y el 100% en menos de 8 minutos.

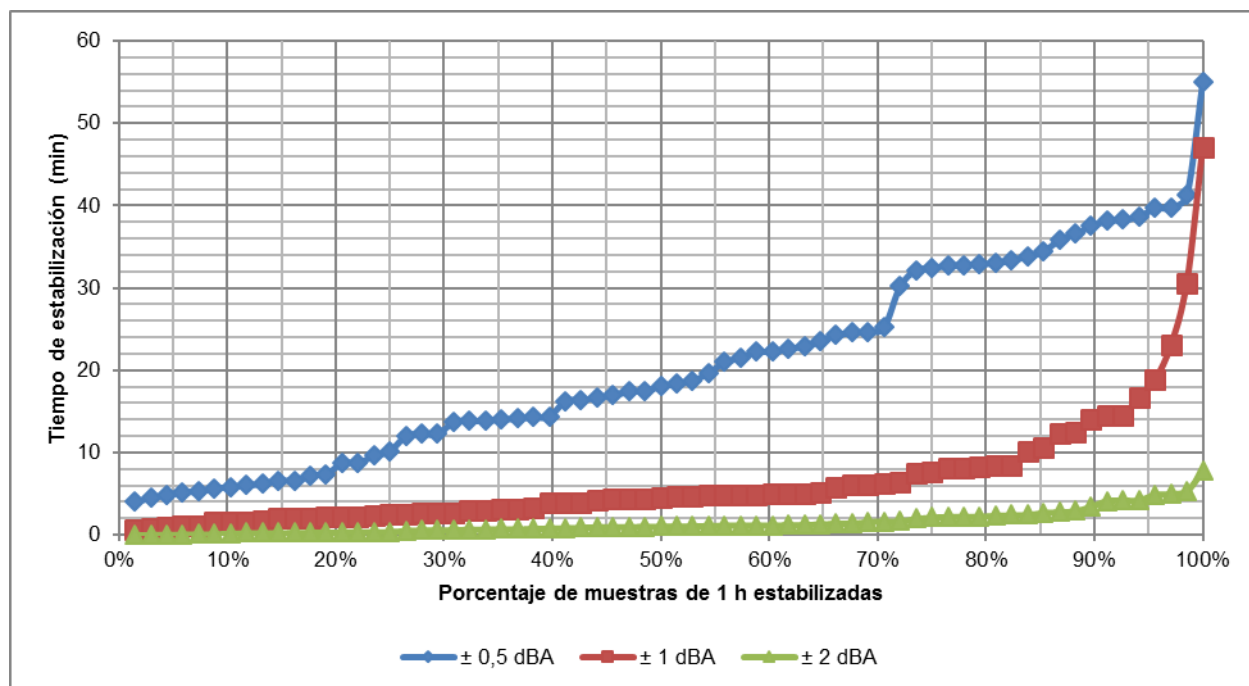
Sin embargo, si se analiza el intervalo de ± 1 dBA, se observa que la evolución de las muestras estabilizadas presenta un comportamiento lineal bien marcado para la estabilización del 70-80% de las muestras con una importante pendiente, para luego presentar un comportamiento similar al logarítmico para el 20-30% restantes. A un nivel de confianza del 95% se obtiene un tiempo de estabilización de aproximadamente 19 minutos.

Por último, el comportamiento relacionado al intervalo de $\pm 0,5$ dBA resulta el más exigente. En este caso se aprecia un comportamiento similar al lineal, con una “meseta” en el entorno del 70% de las muestras. Para un nivel de confianza del 95% se obtiene un tiempo de estabilización de aproximadamente 40 minutos.

Figura 11-2 Tiempos de estabilización para muestras de 1 hora



En la Figura 11-3 se presenta la misma información con un cambio de ejes para facilitar su comprensión.

Figura 11-3 Porcentaje de muestras de 1 h estabilizadas

Si se comparan los resultados con los obtenidos por González (2000a) para un tránsito promedio horario de 1.000 a 1.100 vehículos hora (ver numeral 5.1), se observa que los tiempos hallados han disminuido. En la Tabla 11-2 se presenta su comparación.

A *priori* no se puede determinar las causas de porqué tal disminución, aunque se puede conjeturar que estas están asociadas la variación de la composición de la flota montevideana (que se ha prácticamente renovado en los últimos 16 años con unidades modernas y más silenciosas), y a la variación de la conducta de la población sobre determinados eventos altamente ruidosos (anómalos acústicos), como ser el uso indiscriminado de alarmas, bocinas, entre otros. Mayor desarrollo de estos puntos se presenta en el análisis de los anómalos acústicos en el capítulo 12.

Tabla 11-2 Optimización tiempo de muestreo de 1 hora. Comparación 2000 - 2016

Tiempo de estabilización del 95% de las muestras. Tránsito promedio horario 1.000 - 1.100 veh/h					
± 0,5 dBA		± 1 dBA		± 2 dBA	
2016	2000 (González)	2016	2000 (González)	2016	2000 (González)
40 min	Sin dato	19 min	28 min	8 min	13 min

A modo de conclusión, se observa que el análisis realizado por González en el 2000 sigue siendo válido, aunque sobreestima el tiempo de muestreo mínimo en las condiciones específicas de las medidas realizadas en la Av. General Rivera.

Es importante destacar que González realizó su análisis considerando varios puntos de la ciudad con características disímiles en cuanto a dirección de circulación, localización, presencia de tránsito pesado, etc.

Por lo tanto, se recomienda mantener los tiempos de medición recomendados por González hasta no se disponga de un estudio más amplio. Si la localización a analizar presenta características similares a la

Av. Rivera en la zona de estudio, tales tiempos de medición podrían ser menores, por lo que es de interés complementar este análisis con mayor cantidad de campañas de medición.

11.2. Optimización del tiempo de muestreo para período diurno

Al igual que para las campañas de 1 hora, se realizó el análisis de los tiempos de estabilización de las mediciones de 12 horas de duración para intervalos de tolerancia de $\pm 0,5$, ± 1 y ± 2 dBA. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

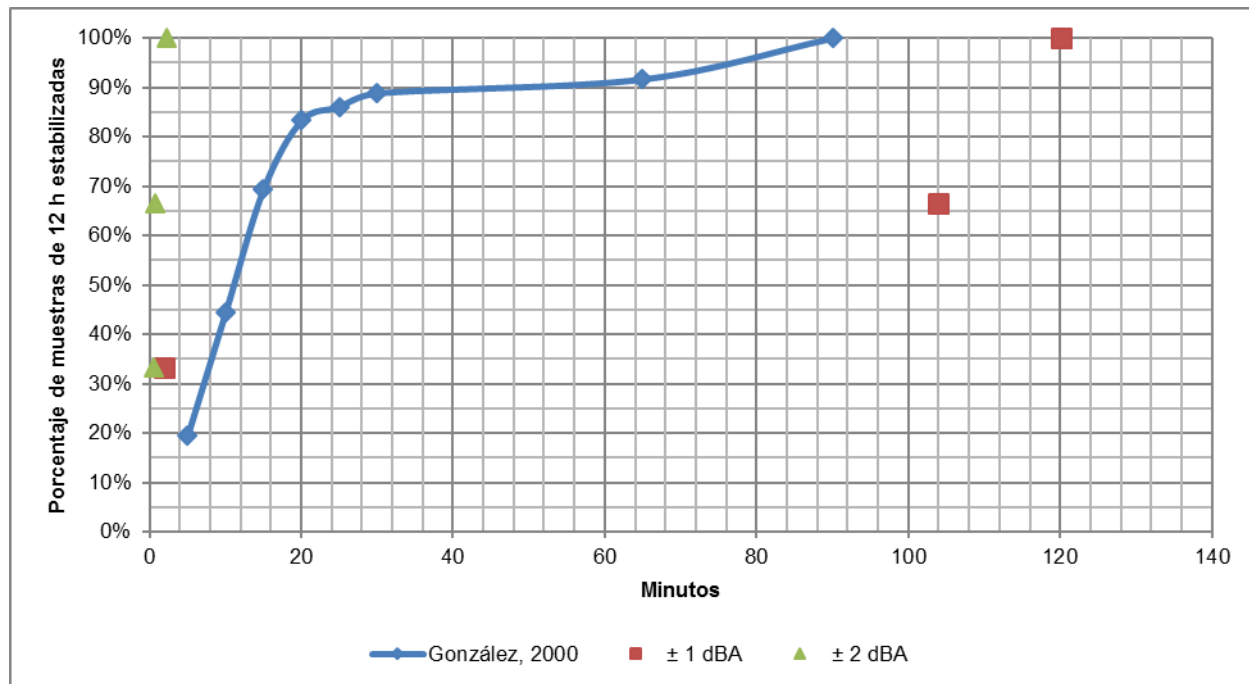
Tabla 11-3 Tiempos de estabilización para muestras de 12 h (min)

Hora	P150507			P151111			P151116		
	$\pm 0,5$ dBA	± 1 dBA	± 2 dBA	$\pm 0,5$ dBA	± 1 dBA	± 2 dBA	$\pm 0,5$ dBA	± 1 dBA	± 2 dBA
8:00 – 20:00	168	104	2	261	120	1	116	2	1

Para apreciar mejor la evolución de las muestras diurnas estabilizadas, en la Figura 11-4 se presenta la relación entre los tiempos de estabilización obtenidos y el porcentaje de muestras estabilizadas. Debido a que la cantidad de muestras analizadas resultan muy escasas como para estimar un valor correspondiente al 95% de confianza, se grafican los resultados obtenidos sobre los resultados presentados por González (2000a) para la totalidad de las muestras analizadas por ella¹¹.

Al superponer los resultados obtenidos con los presentados por Gonzáles se aprecia si se mantiene la tendencia observada.

Figura 11-4 Tiempos de estabilización para muestras de 12 h



¹¹ González analizó 36 muestras de 12 horas de duración para un intervalo de tolerancia de ± 1 dBA y 33 para un intervalo de tolerancia de ± 2 dBA. Todas las mediciones fueron tomadas en varias locaciones de la ciudad.

Como se puede apreciar, la estabilización de las muestras analizadas para un intervalo de tolerancia de ± 2 dBA se produce a los escasos minutos de comenzada la medición, por lo que el 100% de las muestras relevadas alcanzan la estabilización en menos de 5 minutos. Si bien el rango considerado de ± 2 dBA es un intervalo amplio, se considera que proponer tiempos de medición menores a los 10 minutos carece de sentido práctico, por lo que se considerará 10 minutos como resultado del tiempo mínimo de muestreo obtenido a partir del trabajo de campo realizado para un intervalo de tolerancia de ± 2 dBA. Sin embargo, González propone como tiempo de muestreo mínimo 25 minutos para 95% de confianza y este intervalo de tolerancia. Este valor resulta ampliamente mayor al obtenido a partir del trabajo de campo.

Si se analizan los resultados para niveles de tolerancia de ± 1 dBA, se observa una tendencia opuesta. González reporta resultados de tiempos de muestreo mínimos de 70 minutos considerando un intervalo de confianza del 95%, pero los resultados de campo actuales muestran valores sensiblemente superiores. Al igual que lo discutido con respecto a los tiempos de estabilización para muestras de 1 hora de duración, estos resultados deben relativizarse considerando el desarrollo acotado tanto espacial como temporal del trabajo de campo realizado. Es decir, es un llamador de atención sobre que la realidad analizada por González podría ser diferente a la situación actual y, por tanto, se debe profundizar en su estudio. Sin embargo, en este caso en particular, el resultado obtenido es más inquietante, ya que es altamente superior al recomendando, por lo que mantener vigente la recomendación de González en este caso podría significar una subestimación del tiempo mínimo y, por tanto, comprometer la representatividad del muestreo.

Por lo cual, se recomienda realizar un análisis más profundo a partir de una campaña de muestreo más ambiciosa que permita actualizar las recomendaciones de los tiempos de muestreo mínimos para diferentes intervalos de tolerancia.

Mientras tal actualización no se encuentre disponible, se recomienda cautela a la hora de la selección del tiempo de monitoreo mínimo, particularmente si se selecciona un intervalo de tolerancia de ± 1 dBA ya que los resultados obtenidos muestran una tendencia a la subestimación de las recomendaciones de González y, por tanto, un compromiso potencial de la representatividad del muestreo.

12. ANÓMALOS ACÚSTICOS

Se realizó la identificación de anómalos acústicos en las mediciones realizadas sobre la Av. General Rivera. Para ello, se utilizó la metodología definida por González (2000a) y presentada en el capítulo 5. Esta corresponde a determinar aquel minuto de medición en el que ocurre un $L_{Aeq,1min}$ que supera al menos en 4 dBA la lectura del $L_{Aeq,global}$ una vez que a ese se le han descontado los 12 minutos de valor de $L_{Aeq,1min}$ más elevados (valor denominado como $L_{Aeq,1h,corregido}$) sobre muestras de 1 hora de duración (González 2000a).

$$L_{Aeq,1min} - L_{Aeq,1h,corregido} > 4 \text{ dBA}$$

Ec. 12-1

Siendo:

- $L_{Aeq,1min}$ el nivel sonoro continuo equivalente de un minuto de duración.
- $L_{Aeq,1h,corregido}$ el nivel sonoro continuo equivalente de una hora sin considerar en la serie los 12 $L_{Aeq,1min}$ de mayor valor.

Una vez identificados la cantidad de anómalos acústicos existentes en cada hora, se trató de identificar su fuente a partir de las anotaciones de campo.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos por campaña. Allí se presenta la cantidad de anómalos identificados, el L_{Aeq} del período (1 hora), el L_{Aeq} corregido y la identificación de la razón de la existencia del anómalo, cuando fue posible su detección.

Tabla 12-1 Anómalos acústicos identificados en campo – P150507

Hora	$L_{Aeq,1h}$ (dBA)	$L_{Aeq,corregido}$ (dBA)	Cantidad de anómalos	Observaciones
8:00	76,7	75,7	1	• No reconocible.
9:00	75,9	75,0	2	• No reconocibles.
10:00	74,6	73,5	3	• 1 bocina. • 2 no reconocibles.
11:00	75,0	74,1	4	• 1 bocina. • 3 no reconocibles.
12:00	75,0	74,1	3	• 1 auto ruidoso. • 2 no reconocibles.
13:00	75,3	74,0	4	• No reconocibles.
14:00	75,0	74,1	2	• No reconocibles.
15:00	75,9	74,8	2	• No reconocibles.
16:00	75,3	74,5	1	• No reconocible.
17:00	75,6	74,6	3	• 1 arranque de auto. • 2 no reconocibles.
18:00	75,3	74,3	3	• 1 bocina. • 2 no reconocibles.

Hora	L _{Aeq,1h} (dBA)	L _{Aeq,corregido} (dBA)	Cantidad de anómalos	Observaciones
19:00	75,2	73,6	6	• 2 bocinas. • 1 moto con escape libre. • 1 patineta haciendo ruido por la vereda. • 2 no reconocibles.

Tabla 12-2 Anómalos acústicos identificados en campo – P151111

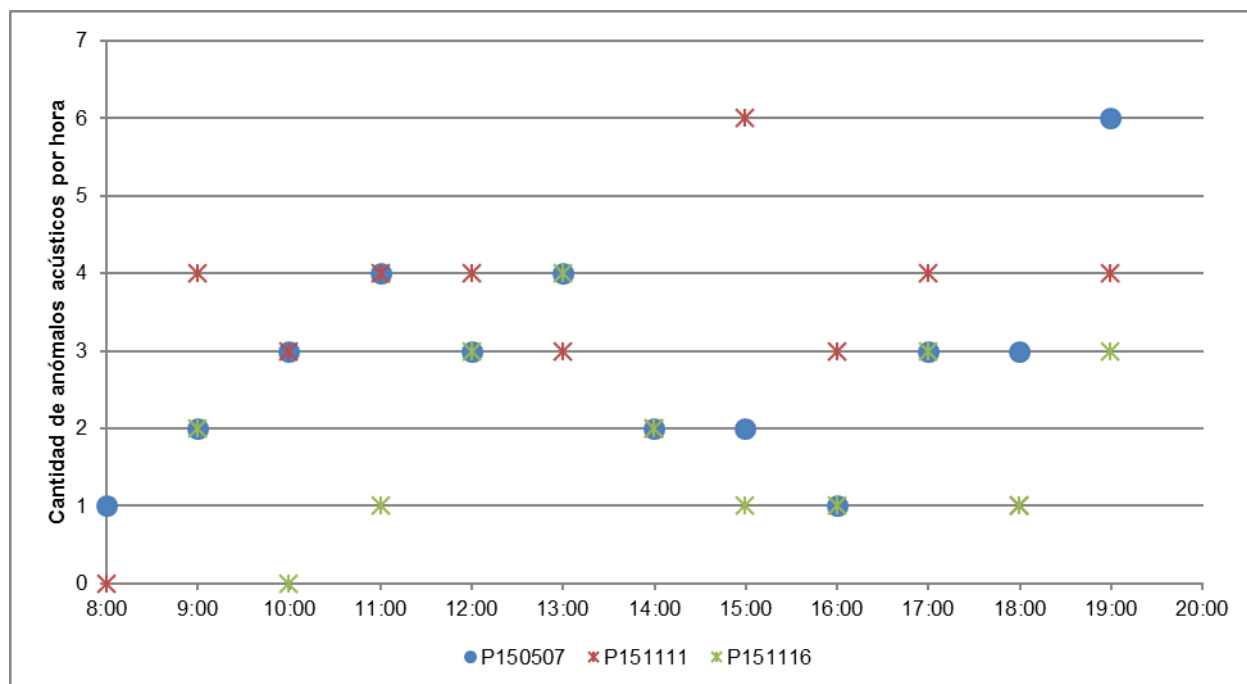
Hora	L _{Aeq,1h} (dBA)	L _{Aeq,1h,corregido} (dBA)	Cantidad de anómalos	Observaciones
8:00	76,1	75,7	0	
9:00	75,7	74,8	4	• 1 bocina. • 3 no reconocibles.
10:00	75,0	73,9	3	• 1 bocina. • 1 sirena. • 1 no reconocible.
11:00	75,2	74,2	4	• No reconocibles.
12:00	74,8	73,5	4	• 1 camión en mal estado. • 3 no reconocibles.
13:00	75,1	73,9	3	• 1 amoladora. • 2 no reconocibles.
14:00	74,1	73,2	2	• 1 camión en mal estado • No reconocibles.
15:00	74,5	73,3	6	• No reconocibles.
16:00	74,5	73,7	3	• No reconocibles.
17:00	75,1	73,9	4	• 1 camión en mal estado. • 3 no reconocibles.
18:00	74,3	73,5	1	• No reconocible.
19:00	74,5	73,5	4	• No reconocibles.

Tabla 12-3 Anómalos acústicos identificados en campo – P151116

Hora	L _{Aeq,T} (dBA)	L _{Aeq,T} corregido (dBA)	Cantidad de anómalos	Observaciones
8:00	-	-	SD	
9:00	75,7	74,7	2	• 1 bocina. • 1 no reconocibles.
10:00	75,3	74,7	0	
11:00	75,0	74,2	1	• No reconocible.
12:00	74,8	74,0	3	• No reconocibles.
13:00	75,6	74,4	4	• No reconocibles.
14:00	74,5	73,6	2	• No reconocibles.
15:00	75,2	74,4	1	• No reconocible.
16:00	75,1	74,4	1	• No reconocible.
17:00	75,9	74,1	3	• 1 moto con escape libre. • 2 no reconocibles.
18:00	74,4	73,7	1	• Moto con escape libre.
19:00	74,8	73,9	3	• 1 auto ruidoso paró frente al micrófono. • 2 no reconocibles.
SD: Sin dato				

Como se puede apreciar, en la gran mayoría de las horas analizadas se detectó la presencia de anómalos acústicos; sin embargo, solo el 22% fue posible reconocer su procedencia. En la Figura 12-1 se aprecia de forma gráfica la cantidad de anómalos acústicos identificados por hora.

Figura 12-1 Cantidad de anómalos acústicos por hora



Es importante destacar que González definió la cantidad máxima de anómalos acústicos posibles de existir en una muestra de una hora (12 anómalos) a partir de garantizar que la serie original y la serie purgada de hasta estos 12 valores continuase siendo comparable, es decir, continuase aceptando la hipótesis nula de la prueba de Mann-Whitney. En su trabajo, González presenta la cantidad promedio de anómalos obtenidos en la Av. General Rivera, durante el circuito de medición empleados para conformar el mapa acústico de Montevideo realizado por el IMFIA-Intendencia de Montevideo en 1998-1999: 4 anómalos acústicos.

Sin embargo, si se analizan los resultados obtenidos en el presente trabajo de campo, se observa como únicamente dos horas relevadas poseen más de 4 anómalos acústicos. El promedio corresponde a 3 anómalos acústicos por hora.

Si bien la cantidad de horas analizadas resulta escasa para emitir una conclusión representativa, sí se puede considerar la tendencia a la baja en la cantidad de anómalos acústicos observados durante el trabajo de campo realizado en el 2016, en comparación a los observados en el 2000. Esto se podría deber a varias razones. *A priori*, se considera las siguientes como potencialmente más significativas.

- Desde el 2000 hasta la fecha, la flota vehicular uruguaya y, en especial, la capitalina ha sufrido una fuerte modificación, a partir de la incorporación de muchísimas unidades nuevas. En términos generales, desde principio de siglo la flota uruguaya se ha duplicado, por lo que las unidades nuevas, sensiblemente menos ruidosas que las más antiguas, ha modificado sensiblemente las emisiones sonoras urbanas.

Adicionalmente, desde el arribo al mercado local de vehículos livianos de origen chino a bajos costos, se ha observado una tendencia a la sustitución de las motos por estas unidades. Si bien esta tendencia se observa desde hace pocos años (Asociación del Comercio Automotor del Uruguay 2015; Dirección Nacional de Energía 2014) y, por tanto, aún es muy incipiente, se entiende que llevará a la variación de la composición de la flota vehicular urbana, particularmente en Montevideo donde las consideraciones de seguridad vial han desestimado fuertemente el transporte birrodado.

- Por otro lado, se puede considerar la variación de la conducta de la población en estos 16 años. En los últimos años de la década del 90, el uso indiscriminado de alarmas asociadas a viviendas y, principalmente a vehículos, afectaba fuertemente el ambiente sonoro capitalino. Con el correr de los años, los avances tecnológicos incorporados en el sistema de activación y corte de las alarmas,

entre otros, provocó una disminución de su presencia en el ruido ambiente. Al día de hoy, no es tan usual escuchar alarmas de vehículos como lo era unos años atrás.

- Por último, se considera como potencial razón el cambio en la modalidad de publicidad de diversos comercios barriales. A fines del siglo pasado, la propaganda sonora callejera impartida a través de altavoces incorporados a vehículos móviles era muy común, dominando el ruido “natural” de la ciudad, con publicidad de comercios y servicios. Al día de hoy, tal práctica ha disminuido sensiblemente su uso, principalmente por el auge de la era digital, salvo en períodos especiales como ser electorales, etc. cuando vuelven a tomar relevancia.

Para investigar con mayor precisión la relación entre la existencia de anómalos y los demás factores involucrados, se realizó un análisis para determinar si era posible establecer alguna relación, aparte de la reportada por González relativa al flujo total de vehículos. Para ello primero se analizaron las correlaciones simples entre las variables y luego se realizó un análisis multivariado a partir del método de componentes principales.

En definitiva, el objetivo de este análisis es identificar si los anómalos acústicos relevados muestran una dependencia significativa con el flujo total de vehículos y otros factores.

Para comenzar, se consideró como variables relevantes las siguientes:

- Flujo total de vehículos (Q).
- Cantidad de anómalos acústicos relevados por hora.
- Niveles de presión sonora medidos, expresados en dBA como $L_{Aeq,1h}$.
- Tiempos de estabilización para una tolerancia de ± 1 dBA para cada hora muestreada ($T_{estab\pm 1dBA}$).

Para comenzar, se graficó la cantidad de anómalos acústicos detectados, el flujo vehicular total y los niveles de presión sonora, para tratar de identificar alguna correlación de forma visual. No fue posible identificar alguna tendencia de correlación clara, así que se calculó la matriz de correlaciones.

Tabla 12-4 Matriz de correlaciones (Pearson (n))

Variables	$L_{Aeq,1h}$	$T_{estab\pm 1dBA}$	Anómalos acústicos	Q
$L_{Aeq,1h}$	1	0,371	-0,114	0,321
$T_{estab\pm 1dBA}$	0,371	1	0,116	0,080
Anómalos acústicos	-0,114	0,116	1	-0,153
Q	0,321	0,080	-0,153	1

Como se puede apreciar en la Tabla 12-4 el nivel de presión sonora muestra una correlación más fuerte con el flujo vehicular y con el tiempo de estabilización considerando una tolerancia de ± 1 dBA, y una correlación inversa más débil con la cantidad de anómalos acústicos detectados. Por otro lado, se aprecia como el tiempo de estabilización se encuentra más fuertemente correlacionado con los niveles de presión sonora, en menor cantidad con los anómalos acústicos, y apenas con el flujo vehicular. Por último, se aprecia cómo los anómalos acústicos presentan una correlación de casi el mismo orden con todas las demás variables, directa para el tiempo de estabilización e inversa para las restantes.

Para continuar con el análisis, se utilizó el método multivariado de componentes principales. En la siguiente Tabla se presenta el porcentaje de varianza que explica cada componente principal.

Tabla 12-5 Análisis de componentes principales de los parámetros Q, anómalos, $L_{Aeq,1h}$, $T_{estab\pm 1dB A}$ – Resultados

Componente principal	F1	F2	F3	F4
Valor propio	1,548	1,147	0,775	0,530
Variabilidad explicada (%)	39	29	19	13
Variabilidad acumulada (%)	39	67	87	100

Si se utiliza el método de selección de componentes principales indicado por Kaiser (citado por Pla, 1986) se deberían seleccionar únicamente los dos primeros componentes principales ya que sus valores propios son superiores a la unidad, los que representan una variabilidad acumulada del 67%. Sin embargo, en el presente trabajo se seleccionarán los tres primeros componentes principales de modo de aumentar la variabilidad representada a 87%.

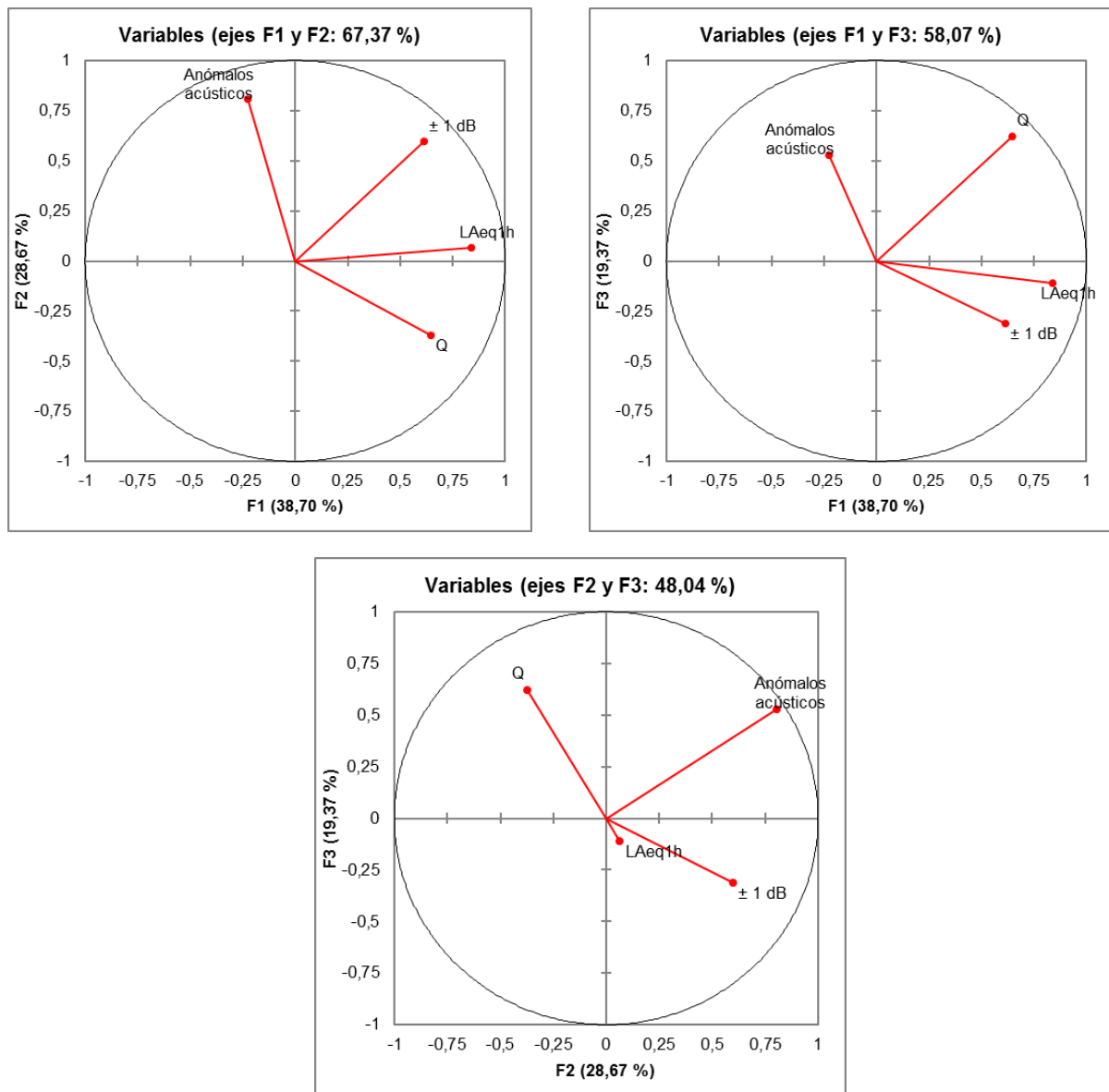
En la Tabla 12-6 se presentan los vectores propios de la matriz de correlación.

Tabla 12-6 Vectores propios de la matriz de correlación

	F1	F2	F3	F4
$L_{Aeq,1h}$	0,675	0,060	-0,125	-0,725
$T_{estab\pm 1dB A}$	0,494	0,556	-0,353	0,567
Anómalos acústicos	-0,180	0,752	0,598	-0,208
Q	0,518	-0,347	0,708	0,331

En las Figura 12-2 se grafica la correlación de cada variable original con los componentes principales seleccionados.

Figura 12-2 Diagrama de correlación de las variables originales con las componentes principales F1 y F2, F1 y F3, y F2 y F3



Como se puede observar del análisis de la Figura 12-2 a) componentes F1 y F2, las variables representadas se localizan cerca del círculo unitario, lo que significa que buena parte de su varianza propia se encuentra representada en estas dos componentes principales. Al observar su distribución, se aprecia que los anómalos acústicos tienen una relación inversa con el nivel sonoro continuo equivalente y que esta no es muy fuerte. Es decir, la existencia de anómalos acústicos condiciona el nivel sonoro continuo equivalente, pero de manera moderada, según estas componentes principales. Adicionalmente, se observa una dependencia directa entre los anómalos acústicos y el tiempo de estabilización considerando una tolerancia de ± 1 dBA, y una dependencia inversa significativa entre los anómalos acústicos y el flujo horario.

Este resultado es coincidente con lo reportado por González, ya que ella vincula la presencia de anómalos acústicos con la alteración del nivel de presión sonora continuo equivalente y el flujo de tránsito. De todas formas, es importante destacar que las dos primeras componentes principales únicamente representan el 67% de la varianza total.

Si se analizan los componentes F1 y F3 se obtiene una conclusión similar, aunque los anómalos acústicos se localizan un poco más alejados del círculo unitario, lo que significa que su varianza propia no está tan bien representada por estas dos componentes principales. Igualmente, se aprecia una relación inversa entre estos y el nivel de presión sonora, y una relación directa débil entre los anómalos acústicos y el flujo vehicular. Por último, se aprecia una relación directa significativa entre el nivel de presión sonora, el tiempo de estabilización y el flujo vehicular. Los componentes F1 y F3 representan el 58% de la varianza total.

Por último, si se analizan los componentes F2 y F3 se observa que el nivel de presión sonora se encuentra muy cerca del centro del círculo, por lo que está muy poco representado en estas componentes y, por tanto, no se utilizará para su interpretación. Sin embargo, los anómalos acústicos y el flujo vehicular sí se localizan cerca del círculo unitario, por lo que se encuentran “bien” representados. Al analizarlos, se aprecia su ubicación casi ortogonal, por lo que, según esta representación, serían bastante independientes. Estas componentes representan el 48% de la varianza total.

Por tanto, se concluye que el nivel sonoro continuo equivalente depende de los anómalos acústicos existentes y del flujo vehicular, aunque, a partir del trabajo de campo realizado, no se puede establecer claramente cómo es dicha relación. Estos resultados son coincidentes con los presentados por González.

13. MODELO DE PREDICCIÓN DE NIVEL DE PRESIÓN SONORA A PARTIR DE TRÁNSITO URBANO

Uno de los objetivos de la presente investigación corresponde a la validación de la aplicabilidad del modelo desarrollado por González y presentado en el capítulo 6.

Montevideo ha sufrido grandes cambios en el correr de este siglo, por lo que resulta relevante analizar, aunque sea en una primera aproximación, si el modelo propuesto sigue representado la realidad capitalina correctamente.

La ecuación Ec. 13-1 (ya presentada en el capítulo 6) corresponde al modelo de predicción.

$$LA_{eq} = 49,4 + 10 \log(A + 2,33.M + 9,01.B + 6,84.C) - 10 \log(d) + 23,266.Q^{-0,3811} [dBA] \quad \text{Ec. 13-1}$$

Siendo:

- *A* corresponde al número de vehículos livianos registrados por hora (autos y taxis).
- *M* corresponde al número de motos registradas por hora.
- *B* corresponde al número de ómnibus registrados por hora.
- *C* corresponde al número de camiones registrados por hora.
- *Q* corresponde al flujo total de vehículos por hora ($A+M+B+C$).
- *d* corresponde a la distancia al centro de la calle.

Para analizar su validez, en primera instancia, se estudió la aplicabilidad del modelo a la situación actual. Para ello, se calculó el L_{Aeq} a partir de la ecuación Ec. 13-1 y se lo comparó con los L_{Aeq} medidos en campo. Los resultados se presentan en la Tabla 13-1.

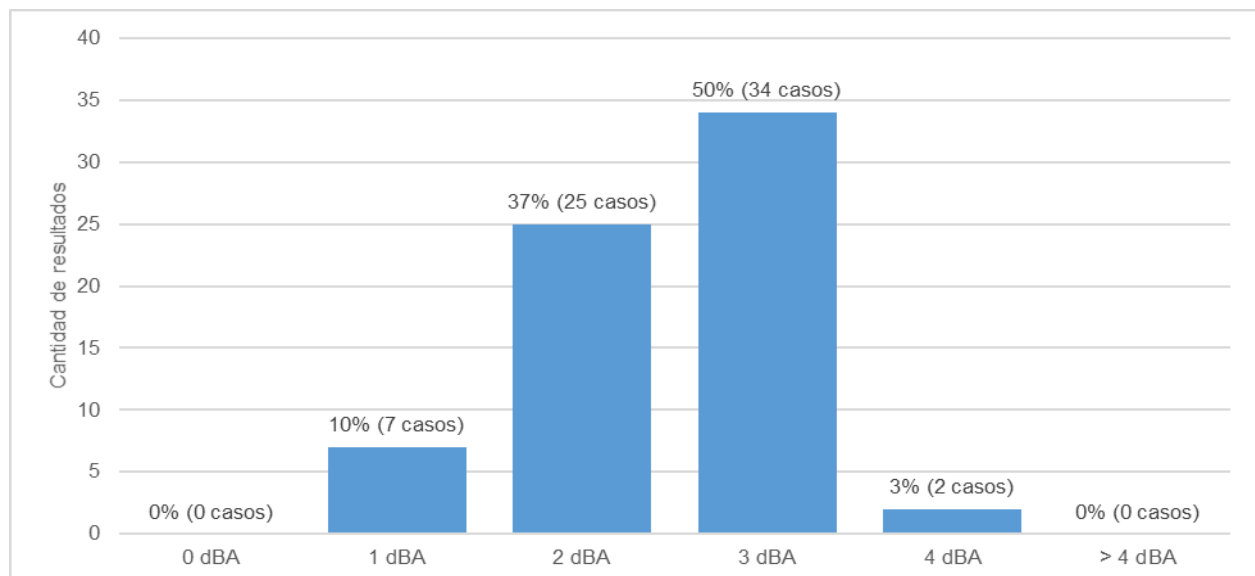
Tabla 13-1 Comparación L_{Aeq} calculado contra L_{Aeq} medido

Hora	$L_{Aeq,1h}$ calculado			$L_{Aeq,1h}$ medido			$\Delta L_{Aeq,1h}$ (calculado-medido)		
	P150507	P151111	P151116	P150507	P151111	P151116	P150507	P151111	P151116
8:00	78	78	78	77	76	SD	1	2	SD
8:30	79	78	78	77	76	76	2	3	2
9:00	79	79	78	76	76	76	3	3	3
9:30	78	78	78	75	76	75	3	3	3
10:00	78	78	78	75	75	75	4	3	2
10:30	78	78	78	75	75	75	3	3	3
11:00	79	78	78	75	75	75	4	3	3
11:30	78	78	78	75	75	75	3	2	3
12:00	78	77	78	75	75	75	3	2	3
12:30	77	78	77	75	75	75	3	3	2
13:00	78	78	77	75	75	76	2	3	2

Hora	L _{Aeq,1h} calculado			L _{Aeq,1h} medido			$\Delta L_{Aeq,1h}$ (calculado-medido)		
	P150507	P151111	P151116	P150507	P151111	P151116	P150507	P151111	P151116
13:30	78	78	77	75	75	75	3	3	2
14:00	78	77	78	75	74	74	3	3	3
14:30	78	77	78	75	75	75	3	3	3
15:00	77	77	77	76	75	75	1	3	2
15:30	77	77	78	76	74	75	1	3	2
16:00	77	77	78	75	75	75	2	3	2
16:30	77	78	77	76	75	75	1	3	2
17:00	77	78	78	76	75	76	2	3	2
17:30	78	77	77	75	75	76	2	2	1
18:00	77	77	77	75	74	74	2	2	3
18:30	76	77	77	75	74	75	1	2	2
19:00	76	76	77	75	75	75	1	2	2
SD sin dato									

En virtud de que la ecuación Ec. 13-1 fue validada para un rango de ± 3 dBA, se entiende que ajusta correctamente a la situación estudiada, ya que el únicamente 3% de los valores obtenidos se encuentran fuera del rango de validez. Sin embargo, al analizar la tendencia, se observa que en todos los casos el L_{Aeq} calculado es superior al valor medido, lo que implicaría que el modelo sobreestima la realidad, por lo menos en los casos estudiados. En la Figura 13-1 se presenta un histograma de frecuencia de los valores obtenidos.

Figura 13-1 Histograma de frecuencia $\Delta L_{Aeq,1h}$ (calculado-medido)



Por lo tanto, en vista de los resultados obtenidos a partir del trabajo de campo realizado, se infiere que, en principio, el modelo tal cual fue presentado por González presenta una tendencia clara a la sobreestimación bajo los casos analizados, si bien tal variación se encuentra dentro del rango de validez.

Tal diferencia puede provenir de que algún término del modelo ya no se condice exactamente con la realidad. Si se analiza la ecuación Ec. 13-1, el único término que permanecería invariado es el asociado al decaimiento por distancia al eje de la calle. Los demás términos, podrían presentar variaciones. *A priori*, se considera las siguientes como las principales razones potenciales:

- En el capítulo anterior se demostró como la existencia de anómalos acústicos seguía siendo relevante en el ambiente sonoro capitalino. Sin embargo, la cantidad de anómalos acústicos hallados parecería ser inferior a la obtenida por González. Por tanto, una potencial explicación a la variación encontrada entre la realidad y el modelo podría ser que la relación entre el flujo vehicular y los anómalos acústicos no continuase siendo tal cual la describe González, o sea, que su presencia ahora tenga un menor peso relativo en comparación con el año 2000.

Si se considera que el tránsito medio de la Av. General Rivera es entre 1.000 y 1.100 vehículos por hora, la expresión proporcionada por González entre los anómalos acústicos y el flujo vehicular (Ec. 6-28) resulta en un incremento de 1,6 dBA aproximadamente. Dado que el aporte total para estas condiciones de flujo vehicular es únicamente 1,6 dBA aproximadamente y solamente estaría en duda un porcentaje de ese valor, se considera, *a priori*, que este término no sería el gran responsable de la tendencia a la sobreestimación encontrada.

- El segundo término potencialmente responsable de la tendencia a la sobreestimación sería el nivel de ruido de fondo. González lo estimó en 49,4 dBA. En esta instancia, a partir del trabajo de campo realizado no es posible inferir sobre la potencial variación de este término. Para obtener conclusiones sobre él, necesariamente se debe realizar mayor trabajo de campo.
- Adicionalmente, otro término que podría ser responsable de la tendencia a la sobreestimación corresponde a las equivalencias acústicas determinadas por González. Ella propone que una moto equivale acústicamente a 2,33 autos, un ómnibus equivale acústicamente a 9,01 autos y un camión equivale acústicamente a 6,84 autos. Según lo que se presentó en el capítulo 4, el parque automotor uruguayo y, principalmente el capitalino, ha variado sensiblemente desde el análisis de González, particularmente con la incorporación de unidades nuevas, sensiblemente menos ruidosas que las anteriores. Este incremento, desde el 2000 a la fecha, representa aproximadamente el 50% de la flota actual. Por tanto, la presunción que las equivalencias acústicas hayan cambiado resulta una hipótesis, en primera instancia, válida. Para profundizar su análisis, se intentó calcular nuevas equivalencias acústicas. Este desarrollo se presenta en el numeral 13.1.
- Por último, es importante volver a retomar el análisis presentado en el capítulo 11 con respecto a la representatividad espacial y temporal del trabajo de campo realizado. González desarrolló el modelo de predicción (Ec. 13-1) a partir del análisis de numerosas mediciones de campo obtenidas en varios puntos de la ciudad con características disímiles en cuanto a dirección de circulación, flujo vehicular, localización, presencia de tránsito pesado, día de medición, etc. El trabajo de campo realizado en la presente investigación considera únicamente un lugar de medición y una pequeña cantidad de repeticiones, por lo que sus conclusiones deben relativizarse. Es decir, si bien en el trabajo de campo realizado se nota una clara tendencia a la sobreestimación del nivel de ruido asociado al tránsito vehicular, se debería confirmar que tal tendencia se siguiese presentando en análisis similares realizados en otros puntos de la ciudad y bajo otras condiciones de flujo vehicular. Recién allí, se podrán obtener conclusiones sólidas. La presente investigación pretende ser una primera aproximación al problema, una primera revisión de la validez de la investigación de González por lo que únicamente permite presentar tendencias y conjeturas fundadas, pero no conclusiones definitivas.

13.1. Equivalencias acústicas

A raíz de los resultados obtenidos se propuso calcular nuevas equivalencias acústicas a partir de los datos de campo relevados, de modo de estudiar si su variación podría explicar la sobreestimación encontrada del modelo predictivo. Este análisis se realizó bajo el supuesto de que los demás términos de la ecuación Ec. 13-1 permanecían incambiados.

Para ello, se trabajó con la ecuación Ec. 13-1 de modo de utilizar los datos de campo para, a partir de la regresión lineal, calcular nuevas equivalencias. A continuación, se presenta el desarrollo realizado.

$$LA_{eq} = 49,4 + 10 \log(A + 2,33.M + 9,01.B + 6,84.C) - 10 \log(d) + 23,266.Q^{-0,3811} \quad \text{Ec. 13-1}$$

Si se consideran nuevas equivalencias acústicas, donde a , m , b y c son constantes positivas:

$$(LA_{eq} - 49,4 + 10 \log(d) - 23,266.Q^{-0,3811}) \frac{1}{10} = \log(aA + mM + bB + cC) \quad \text{Ec. 13-2}$$

$$10^{(LA_{eq} - 49,4 + 10 \log(d) - 23,266.Q^{-0,3811}) \frac{1}{10}} = aA + mM + bB + cC \quad \text{Ec. 13-3}$$

A partir de los valores de campo del tránsito vehicular clasificado y los $L_{Aeq,1h}$ se hallaron las constantes a , m , b y c a partir de regresión lineal. Los resultados obtenidos corresponden a:

$$a = 1,07; m = 4,39; b = 7,74 \text{ y } c = 0,93 \quad \text{Ec. 13-4}$$

Como se puede apreciar, los valores obtenidos carecen de significado físico ya que no es válido considerar que un auto sea acústicamente superior a un camión (1 auto = 0,93/1,07 camión = 0,87 camión).

Por tanto, considerando el resultado obtenido y viendo que el flujo vehicular tenía mayor número de camiones en la mañana que en la tarde, se decidió analizar la serie únicamente en el horario matutino, hasta las 14 h. Con dicha serie, se realizó el mismo procedimiento y se obtuvo como resultado:

$$a = 1,05; m = 1,09; b = 3,20 \text{ y } c = 12,76 \quad \text{Ec. 13-5}$$

Otra vez el resultado obtenido carece de significado físico. No es considera posible que un auto sea acústicamente casi equivalente a una moto, que un camión sea acústicamente equivalente a casi doce autos y que la relación entre ómnibus y camiones sea tan diferente (1 ómnibus = 3,99 camión).

Por último, se probó analizar la serie vespertina, es decir, desde las 14 h hasta las 20 h. Los resultados obtenidos, que se presentan a continuación, también son físicamente incoherentes, ya que se obtuvo coeficientes negativos.

$$a = 1,27; m = 5,71; b = 5,70 \text{ y } c = -4,94 \quad \text{Ec. 13-6}$$

Por tanto, se concluye que con el trabajo de campo realizado no es posible determinar nuevas equivalencias acústicas. Se presume que el error se encuentra en suponer que los demás términos del modelo predictivo (Ec. 13-1) permanecen invariados.

SECCIÓN V: CONCLUSIONES

14. CONCLUSIONES GENERALES

Se analizó la vigencia de las conclusiones y recomendaciones realizadas por González (2000a) con respecto a los tiempos de medición óptimos para caracterizar el nivel sonoro urbano producto, principalmente, del tránsito rodado para diversos períodos e intervalos de tolerancia.

Según el análisis realizado se presentan, a continuación, las principales conclusiones de esta investigación:

- Para caracterizar el nivel de presión sonora horario del período diurno, se analizó el tiempo de muestreo mínimo requerido para diversos intervalos de tolerancia y 95% de confianza. Se concluye que las recomendaciones de González siguen siendo válidas; estas corresponden a 30 minutos para un intervalo de tolerancia de ± 1 dBA y 15 minutos para un rango de tolerancia de ± 2 dBA.

Sin embargo, si se considera el período diurno de 12 horas y una tolerancia de ± 1 dBA, las recomendaciones de González, en principio, subestiman el tiempo de muestreo necesario según el trabajo de campo realizado, por lo que se recomienda cautela a la hora del diseño de campañas de medición.

Si se considera una tolerancia de ± 2 dBA, sí se mantiene vigente la recomendación de González de un tiempo de muestreo mínimo de 25 minutos al 95% de confianza, aunque, en las condiciones analizadas en este trabajo, se obtuvo un tiempo de muestreo mínimo inferior.

Por tanto, se recomienda realizar un análisis más profundo a partir de una campaña de muestreo más ambiciosa que permita actualizar las recomendaciones de los tiempos de muestreo mínimos para diferentes intervalos de tolerancia, ya que algunos resultados obtenidos muestran una tendencia a la subestimación de las recomendaciones de González y, por tanto, un compromiso potencial de la representatividad del muestreo a realizar.

- Con respecto a la importancia de la presencia de los anómalos acústicos como distorsionadores del ambiente sonoro urbano, se valida las recomendaciones de González en cuanto a su relevancia, aunque, en primera instancia, los resultados analizados arrojan que la ocurrencia podrá no ser tan marcada en la actualidad como lo era en el 2000. Sin embargo, el alcance del presente trabajo no permite cuantificarla, por lo que se recomienda se continúe con su análisis en una segunda instancia de investigación más detallada.
- Por último, se analizó la vigencia del modelo de predicción de nivel sonoro producto del tránsito urbano propuesto por González. Se concluye que este sigue siendo válido, aunque se identificó una tendencia a la sobreestimación de los resultados. Por tanto, se recomienda continuar con su utilización hasta tanto no se desarrolle una versión actualizada del modelo.

Como comentarios adicionales se quiere destacar que el presente trabajo tenía como objetivo analizar la vigencia de las recomendaciones realizadas por González, pero con la salvedad de que el trabajo de campo propuesto era acotado para obtener conclusiones sólidas, por lo que únicamente se podrían obtener conjeturas fundamentadas. En ese marco, se concluye que se valida, en primera instancia, la mayoría de las recomendaciones de González, pero se detectan elementos que indican que se requiere realizar una investigación más profunda y, así, poder proponer una actualización a su trabajo.

15. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN A FUTURO

En virtud de los resultados y conclusiones halladas en la presente investigación, se recomienda continuar el trabajo de investigación con un abordaje más detallado, que permita cuantificar las tendencias encontradas y actualizar el modelo de predicción de niveles de ruido urbano.

Para ello se recomienda el diseño de campañas de monitoreo más ambiciosas que abarquen los principales puntos de la ciudad de Montevideo con distintos tipos de flujos y patrones de tránsito, que consideren repeticiones durante varios días de la semana (incluyendo los días no laborables) y que aborden la variación interestacional.

Por tanto, en dicho marco, surgen las siguientes líneas de investigación en el futuro:

- ☐ Determinar tiempos de monitoreo mínimos compatibles con los diversos flujos de tránsito existentes en Montevideo, para niveles de tolerancia predefinidos. Estos deberán abordar períodos de una hora de duración, así como de la jornada diurna completa.
- ☐ Determinar la variación interestacional del comportamiento del ruido urbano en Montevideo. Particularmente, determinar si la presunción de que esta no es relevante es efectivamente cierta.
- ☐ Analizar la relación actual que guardan los anómalos acústicos con el ruido urbano y actualizar la fórmula matemática que los vincula al flujo vehicular.
- ☐ Actualizar el modelo de predicción de los niveles de presión sonora generados por el tránsito urbano en la ciudad, particularmente mediante la determinación de equivalencias acústicas actualizadas.

SECCIÓN VI: BIBLIOGRAFÍA

16. BIBLIOGRAFÍA

ADINSOFT, S., 2016. *XLSTAT*.

ÁLVAREZ RODENBEEK, J.P. y SUÁREZ SILVA, E., 2011. Estudio comparativo para modelos predictivos del ruido de tráfico rodado, a través de mediciones in situ en un sector de la ciudad de Osorno. *Sínt. tecnol*, vol. 4, no. 2, pp. 17–24.

AMBROSIO, L., PASCUAL, V., IGLESIAS, L., DÍAZ, C. y PEDRERO, A., 2013. Clasificación de áreas urbanas a partir de los niveles de ruido debidos al tráfico utilizando un modelo no lineal mixto. *44º Congreso español de acústica. Encuentro ibérico de acústica*. Valladolid.

ANTUNES, S., SANTOS LOPES, L. y DOMINGUES, O., 2012. Metodologias para a monitorização de ruído. Combinação de medições e modelação de ruído na melhoria da eficiência na amostragem de ruído. *VIII Congresso Ibero-americano de Acústica*. Évora.

ASOCIACIÓN DEL COMERCIO AUTOMOTOR DEL URUGUAY, 2014. *Anuario 2014. Tiempo para alinear y balancear*. 2014.

ASOCIACIÓN DEL COMERCIO AUTOMOTOR DEL URUGUAY, 2015. *Anuario 2015. Los desafíos de un nuevo marco regulatorio*. 2015.

ATAZ, E.M. y DE MERA MORALES, Y.D., 2004. *Contaminación atmosférica*. S.l.: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha. ISBN 978-84-8427-324-0.

BARRIGÓN MORILLAS, J.M., GÓMEZ ESCOBAR, V., FLORIANO SÁNCHEZ, S.A., ALFAYETE BLANCO, I., MÉNDEZ SIERRA, J.A., VÍLCHEZ-GÓMEZ, R., CARMONA DEL RÍO, F.J. y REY GOZALO, G., 2009. Análisis de estabilidad para medidas de corta duración de ruido urbano. *Tecniacústica 2009*.

BASTIÁN MONARCA, N., ÁLVAREZ RODENBEEK, J.P., SUÁREZ SILVA, E. y BÁEZ MONTENEGRO, A., 2015. Elección de un modelo de ruido de tránsito vehicular para Chile. *TecniAcústica*. Valencia.

BASTIÁN-MONARCA, N.A., SUÁREZ, E. y ARENAS, J.P., 2016. Assessment of methods for simplified traffic noise mapping of small cities: Casework of the city of Valdivia, Chile. *Science of The Total Environment*, vol. 550, pp. 439-448. ISSN 00489697.

BRAUN, M.E., WALSH, S.J., HORNER, J.L. y CHUTER, R., 2013. Noise source characteristics in the ISO 362 vehicle pass-by noise test: Literature review. *Applied Acoustics*, vol. 74, no. 11, pp. 1241-1265. ISSN 0003682X.

CAN, A., LECLERCQ, L., LELONG, J. y DEFRANCE, J., 2008. Accounting for traffic dynamics improves noise assessment: Experimental evidence. *Applied Acoustics*, vol. 70, no. 6, pp. 821-829. ISSN 0003682X.

CANAVOS, G.C., 1995. *Probabilidad y estadística: aplicaciones y métodos*. McGraw-Hill. México.

CASADO GARCÍA, M.E. y TECNOLÓGICO, E. de I.E., [sin fecha]. *Redes de ponderación acústica* [en línea]. S.l.: Escuela de Ingenierías, León. Retrieved from <http://mecg.es/archivos/Redes de ponderaci% C3% B3n ac% C3% B4stica. pdf>. [Consulta: 25 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.mecg.es/archivos/Redes%20de%20ponderaci%C3%B3n%20ac%C3%B4stica.pdf>.

DEFENSORÍA DEL VECINO, INTENDENCIA DE MONTEVIDEO, 2014. En el marco de la gestión del conocimiento: repositorios de recursos educativos para la educación media superior a distancia.

DÍAZ MONROY, LUIS y MORALES RIVERA, MARIO, 2012. *Estadística multivariada: Inferencia y métodos*. S.l.: Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. ISBN 978-958-701-195-1.

- DIRECCIÓN NACIONAL DE ENERGÍA, 2014. *Encuesta de usos, consumos y rendimientos del sector Transporte. Año 2014*. 2014. S.I.: MIEM, AECID.
- EL ACONTECER, 2010. Más guerra de patentes: la batalla continúa en varios frentes. *El Acontecer diario* [en línea]. [Consulta: 3 julio 2016]. Disponible en: <http://www.elacontecer.com.uy/6584-noticia-2010-01-12.html>.
- ESPECTADOR, 2010. IMM: descuento en patentes deberá realizarse por partes. *ESPECTADOR.COM* [en línea]. [Consulta: 3 julio 2016]. Disponible en: <http://www.espectador.com/politica/171460/imm-descuento-en-patentes-debera-realizarse-por-partes>.
- FAHY, F. y WALKER, J., 1998. *Fundamentals of noise and vibration*. S.I.: CRC Press. ISBN 0-419-24180-9.
- FAHY, F. y WALKER, J., 2004. *Advanced applications in acoustics, noise, and vibration*. London; New York: Spon Press. ISBN 978-0-203-64513-0.
- FLORIDA DIARIO, 2010. Montevideo baja y acusa a Florida de robo. *FloridAdiariO* [en línea]. [Consulta: 3 julio 2016]. Disponible en: <https://floridadiario.com.uy/2010/12/18/montevideo-baja-y-acusa-a-florida-de-robo/>.
- FREIRE CABRAL, M.F., SILVA ALBUQUERQUE, F., DE FREITAS NETO, O. y ALMEIDA ALBUQUERQUE, T., 2013. Estudo dos mecanismos de geração de ruído de tráfego na interface pneu-pavimento. *TRANSPORTES*, vol. 22, no. 1, pp. 1. ISSN 2237-1346.
- GAJA DÍAZ, E., GONZÁLEZ, E., REIG FABADO, A., SANCHO VIVÓ, S. y BONET, A.M., 2000. Influencia de los anómalos acústicos en el tiempo de estabilización del nivel equivalente horario. *Proceedings of the XXXI Congreso Nacional de Acústica (Tecnacústica 2000), Madrid, Spain*.
- GAYO, J.L.P., 2006. *Acústica ambiental*. S.I.: Universidad de Oviedo. ISBN 84-8317-531-2.
- GIRALDO, W., 2012. *Determinación del tiempo de muestreo de niveles de presión sonora por tráfico vehicular*. Medellín, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingenierías, Instituto de Energía y Termodinámica.
- GONZÁLEZ, A.E., 2000a. *Contaminación sonora en ambiente urbano: Optimización del tiempo de muestreo en Montevideo y desarrollo de un modelo predictivo en un entorno atípico*. Montevideo, Uruguay: Universidad de la República, Facultad de Ingeniería.
- GONZÁLEZ, A.E., 2000b. Muestreo de ruido urbano en Montevideo. Desafío metodológico. *Terceras jornadas internacionales multidisciplinarias sobre violencia acústica*. Rosario.
- GONZÁLEZ, A.E., 2009. *Caracterización de la flota de transporte pesado de la República Oriental del Uruguay desde el punto de vista de sus emisiones acústicas*. 2009. S.I.: Primeras jornadas regionales de acústica AdAA 2009.
- GONZÁLEZ, A.E., 2012. *Contaminación sonora y derechos humanos*. S.I.: Defensoría del Vecino de Montevideo.
- GONZÁLEZ, A.E., GAVIRONDO, M., ROCAMORA, E.P. y BRACHO, A.A., 2007. Urban noise: Measurement duration and modelling of noise levels in three different cities. *Noise control engineering journal*, vol. 55, no. 3, pp. 367–372.
- HAMMER, Ø., HARPER, D.A.T y RYAN, P.D., 2001. *PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis*.
- HARRIS, C.M., 1995. *Manual de medidas acústicas y control del ruido*. S.I.: McGraw-Hill. ISBN 84-481-0305-X.

- HARRISON, M., 2004. *Vehicle refinement: controlling noise and vibration in road vehicles*. Warrendale, Pa: SAE International. SAE-R, 364. ISBN 978-0-7680-1505-8.
- HUESO, M. del C., 2015. *Contribución al estudio de las técnicas de medición del nivel sonoro en distintos escenarios urbanos*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.
- IMFIA-INTENDENCIA DE MONTEVIDEO, 1999. Mapa acústico de Montevideo. Montevideo: Intendencia de Montevideo. Convenio IMFIA-IMM.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. 1996. 9613-2 Attenuation of sound during propagation outdoors—part 2: general method of calculation. 1996.
- JANCZUR, R., WALERIAN, E., MEISSNER, M. y CZECHOWICZ, M., 2006. Influence of vehicle noise emission directivity on sound level distribution in a canyon street. Part II: Experimental verification. *Applied Acoustics*, vol. 67, no. 7, pp. 659-679. ISSN 0003682X.
- JANCZUR, R., WALERIAN, E., MEISSNER, M. y CZECHOWICZ, M., 2009. Application of simulation program to specific urban situation. *Applied Acoustics*, vol. 70, no. 7, pp. 973-985. ISSN 0003682X.
- KALAISELVI, R. y RAMACHANDRAIAH, A., 2016. Honking noise corrections for traffic noise prediction models in heterogeneous traffic conditions like India. *Applied Acoustics*, vol. 111, pp. 25-38. ISSN 0003682X.
- KING, E.A. y RICE, H.J., 2009. The development of a practical framework for strategic noise mapping. *Applied Acoustics*, vol. 70, no. 8, pp. 1116-1127.
- LAMURE, C., 1986. Chapter 12: Road Traffic Noise: Generation, Propagation and Control. En: L. SAENZ y R.W.B. STEPHENS (eds.), *Noise Pollution*. S.I.: John Wiley & Sons, Ltd.
- LICITRA, G. (ed.), 2012. *Noise Mapping in the EU. Models and Procedures*. S.I.: CRC Press. ISBN 978-0-203-84812-8.
- MAYA, G., CORREA, M. y GÓMEZ, L.M., 2011. Gestión para la prevención y mitigación del ruido urbano. Medellín.
- MESTRE, V., 2004. *Contaminación por ruido*. S.I.: Escuela de Organización Industrial. España.
- MIYARA, F., 2004. Ruido Urbano: tránsito, industria y esparcimiento. *Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) de Uruguay*. Uruguay [en línea], [Consulta: 31 agosto 2016]. Disponible en: <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/urbano.pdf>.
- MIYARA, F., MIECHI, P., PASCH, V.I., CABANELLAS, S., YANITELLI, M. y ACCOLTI, E., 2008. Tiempos de estabilización del espectro del ruido de tránsito. *VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008*. Buenos Aires.
- PERAL-ORTS, RAMÓN, VELASCO-SÁNCHEZ, EMILIO, CAMPILLO-DAVÓ, NURIA, CAMPELLO-VICENTE, HÉCTOR y GAJA-DÍAZ, ESTEBAN, 2013. Análisis del comportamiento sonoro de los vehículos inspeccionados en las estaciones ITV's de la comunidad Valenciana. *TecniAcústica*. Valladolid.
- PEREA PÉREZ, F., NAVA NARO, E. y CUETO ANCELA, J.L., 2010. Mapa estratégico de ruido del campus universitario de Teatinos (Málaga). *TecniAcústica*. León.
- PÉREZ VILLALOBO, J.A., URQUIZA MANZANELLI, A.J., CONTRERA, H.H. y RAMOS, O.A., 2013. Potencia acústica de motocicletas a partir de mediciones de intensidad sonora.

- PLA, L.E., 1986. *Análisis multivariado: método de componentes principales*. S.I.: OEA, Washington, DC (EUA). Secretaría General. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. ISBN 0-8270-2451-7.
- PRIETO GAJARDO, C., BARRIGÓN MORILLAS, J.M., GÓMEZ ESCOBAR, V., VÍLCHEZ-GÓMEZ, R. y REY GOZALO, G., 2014. Effects of singular noisy events on long-term environmental noise measurements. *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 23, no. 6.
- PRIETO GAJARDO, C., BARRIGÓN MORILLAS, J.M., VÍLCHEZ-GÓMEZ, R., GÓMEZ ESCOBAR, V., REY GOZALO, G., MÉNDEZ SIERRA, J.A. y CARMONA DEL RÍO, F.J., 2012. Patrones de estabilización de los niveles sonoros horarios.
- QUIÑONES-BOLAÑOS, E.E., BUSTILLO-LECOMPTE, C.F. y MEHRVAR, M., 2016. A traffic noise model for road intersections in the city of Cartagena de Indias, Colombia. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 47, pp. 149-161.
- RAMÍREZ, A. y DOMÍNGUEZ, E., 2013. Modeling urban traffic noise with stochastic and deterministic traffic models. *Applied Acoustics*, vol. 74, no. 4, pp. 614-621. ISSN 0003682X.
- SANDBERG, U., 2001. Tyre/road noise: myths and realities. S.I.: Swedish National Road and Transport Research Institute.
- SANZ VILA, C., 2013. *Técnicas para el estudio acústico en vehículos (Noise, vibration and harshness)*. Gandia: Universidad Politécnica de Valencia.
- SEGUÉS, F., 2007. Conceptos básicos de ruido ambiental.
- SILVA, M., LEITE, J., LEMOS, L., LOPES, S. y PINHO, P.G., 2012. Medição e avaliação do ruído ambiente do intervalo de tempo e da altura de medição. Evora, Portugal.
- SUCIVE, 2016. *Detalle del Parque Automotor al 31/12/2015*. 2016. Sistema Único de Cobro de Ingresos Vehiculares. Congreso de Intendentes.
- TORIJA, A.J., RUIZ, D.P. y RAMOS, Á., 2007. A method for prediction of the stabilization time in traffic noise measurements. *19th International Congress on Acoustics*. Madrid.
- TORIJA, A.J., RUIZ, D.P. y RAMOS-RIDAO, A., 2008. Metodología para la identificación de eventos sonoros anómalos. *Proceedings of the 5th Iberian Congress of Acoustics–Acústica*.
- TORIJA, A.J., RUIZ, D.P. y RAMOS-RIDAO, Á., 2010. Eventos sonoros anómalos en entornos urbanos. *Tecniaústica 2010*.
- TORIJA, A.J., RUIZ, D.P. y RAMOS-RIDAO, Á., 2012. Estimation procedure of the descriptor LAeq, T from the stabilization time of the sound pressure level value. *Noise & Vibration Worldwide*, vol. 43, no. 1, pp. 11-18.
- UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO. OBSERVATORIO DE TRÁNSITO, 2015. Vehículos empadronados Montevideo al 31/12/2015. S.I.: Intendencia de Montevideo.
- WEBSTER, A.L., 2000. *Estadística aplicada a los negocios y la economía. 3ra edición*. S.I.: Irwin McGraw-Hill.
- WU, J., 2006. Mitigation measures against road traffic noise in selected places. *Legislative Council Secretariat*.

ANEXO I: CONCEPTOS TEÓRICOS GENERALES

ÍNDICE GENERAL

1. CONCEPTOS TEÓRICOS GENERALES.....	3
1.1. SONIDO	3
1.2. VELOCIDAD DEL SONIDO	3
1.3. FRECUENCIA	3
1.4. LONGITUD DE ONDA.....	3
1.5. PERÍODO	3
1.6. IMPEDANCIA ACÚSTICA	3
1.7. POTENCIA ACÚSTICA	4
1.8. NIVEL DE POTENCIA SONORA	4
1.9. INTENSIDAD ACÚSTICA.....	4
1.10. PRESIÓN SONORA	4
1.11. NIVEL DE PRESIÓN SONORA	5
1.12. NIVEL SONORO CONTINUO EQUIVALENTE	6
1.13. CURVAS DE AUDICIÓN.....	6
1.14. CURVAS DE PONDERACIÓN	7

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1 ESCALA DE NIVELES DE PRESIÓN SONORA	5
FIGURA 1-2 CURVAS DE IGUAL SONORIDAD.....	6
FIGURA 1-3 CURVAS DE PONDERACIÓN A Y C.....	7

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1-1 CORRECCIONES PARA EL CÁLCULO DE NIVELES DE PRESIÓN SONORA SEGÚN CURVAS DE PONDERACIÓN A Y C	8
---	---

1. CONCEPTOS TEÓRICOS GENERALES

En el presente anexo se incluyen los conceptos teóricos generales del campo de la acústica que dan sustento a la investigación realizada.

1.1. Sonido

El sonido se refiere a un fenómeno físico de propagación de energía desde un foco emisor a través de un campo acústico, producido por la vibración o movimiento ondulatorio de una partícula en un medio elástico, que produce una sensación auditiva. La vibración incide en las partículas contiguas y ello conlleva al desplazamiento de la onda sonora, la cual se realiza por cambios de presión y de densidad en el medio.

1.2. Velocidad del sonido

La velocidad del sonido corresponde a la velocidad con la que se desplaza la onda sonora en un medio elástico determinado. A 20 °C la velocidad de desplazamiento en el aire corresponde a aproximadamente 344 m/s, y esta aumenta aproximadamente 0,61 m/s por cada aumento de 1 °C en la temperatura.

1.3. Frecuencia

La frecuencia de un fenómeno periódico corresponde al número de veces que este se repite a sí mismo por unidad de tiempo.

Para que el oído pueda detectar las ondas sonoras, la frecuencia de estas deberá estar comprendida entre 20 Hz y 20.000 Hz aproximadamente.

1.4. Longitud de onda

La longitud de onda de un sonido corresponde a la distancia perpendicular entre dos frentes de onda en la misma fase.

A continuación, se presenta la relación entre la frecuencia (f), la longitud de onda (λ) y la velocidad de propagación del sonido (c).

$$\lambda \cdot f = c$$

Ec. A.I 1

Las longitudes de onda del rango audible se encuentran entre 17 mm a 17 m aproximadamente.

1.5. Período

El período del movimiento ondulatorio (T) corresponde al inverso de la frecuencia.

$$T = \frac{1}{f}$$

Ec. A.I 2

1.6. Impedancia acústica

La impedancia acústica corresponde a la resistencia que ofrece un medio al flujo de energía acústico. Es la relación entre la presión acústica (P) y la velocidad de propagación de las partículas de aire al ser movidas por el pasaje de la onda (u):

$$Z = \frac{P}{u} = \rho c \text{ [Rayls]}$$

Ec. A.I 3

A 20 °C y 101,43 kPa corresponde a 415 Rayls.

1.7. Potencia acústica

Para que una onda sonora se desplace se necesita cierta cantidad de energía, lo que implica que se deberá realizar un trabajo por unidad de tiempo. Es decir, la fuente generadora de onda tendrá una cierta potencia sonora.

Esta potencia sonora es una característica constante de las fuentes; así siempre que esta trabaje con las mismas características, su potencia sonora será igual.

La potencia instantánea corresponde a la tasa a la que la energía sonora es radiada en cualquier instante de tiempo y fluctúa considerablemente. La potencia máxima corresponde al valor máximo que alcanza la potencia instantánea en un intervalo de tiempo determinado.

1.8. Nivel de potencia sonora

Resulta más cómodo expresar la potencia sonora sobre una escala logarítmica, por lo que se utiliza el nivel de potencia sonora. Esta corresponde a la medida de la potencia acústica irradiada por una fuente.

Este nivel de potencia sonora (L_W) se expresa en decibeles:

$$L_W = 10 \log_{10} \left(\frac{W}{W_0} \right) \text{ [dB]}$$

Ec. A.I 4

Siendo W la potencia de la fuente y W_0 la potencia de referencia. Usualmente se utiliza como potencia sonora de referencia 1 picowatt [1 pW].

1.9. Intensidad acústica

Se llama intensidad sonora a la energía radiada por una fuente por unidad de tiempo que atraviesa la unidad de superficie. Es decir, que la intensidad sonora I_a , la potencia sonora W_a y la superficie A están relacionadas por:

$$I_a = \frac{W_a}{A} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Ec. A.I 5

1.10. Presión sonora

Se designa presión sonora a la sobrepresión que genera el desplazamiento de la onda sonora con respecto a la presión de equilibrio de la atmósfera.

Las fluctuaciones de presión capaces de generar sensación auditiva en el oído humano varían desde 2×10^{-5} Pa correspondiente al umbral de audición, hasta 200 Pa, correspondiente al umbral de dolor.

$$p(t) = P(t) - P_{atm}(t)$$

Ec. A.I 6

Como el valor medio de la amplitud de la onda sonora es nulo, se considera como indicador la presión eficaz (prms), de acuerdo a la expresión:

$$p_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}$$

Ec. A.I 7

1.11. Nivel de presión sonora

Debido al amplio rango que presentan los valores de presión sonora, se utiliza el nivel de presión sonora para facilitar su uso. Esta corresponde a una cantidad proporcional al logaritmo de la presión sonora.

El nivel de presión sonora, L_p , correspondiente a una presión sonora p , se define con la siguiente expresión.

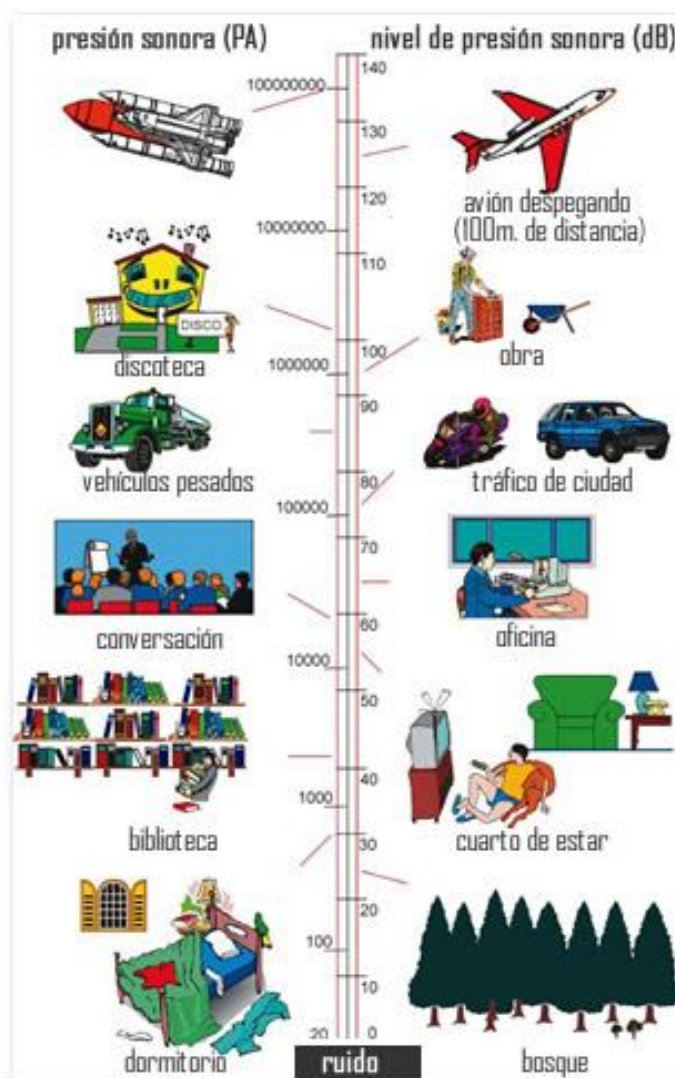
$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 [\text{dB}] \quad \text{Ec. A.I 8}$$

Donde p_0 es la presión de referencia¹.

El nivel de presión sonora depende de la potencia acústica irradiada por la fuente, de la distancia a esta y de las características acústicas del espacio que la rodea.

El rango de audibilidad del oído humano se localiza entre 0 a 140 dB aproximadamente.

Figura 1-1 Escala de niveles de presión sonora



Fuente: (Segués 2007)

¹ En el aire se considera como presión de referencia 20 μPa , correspondiente al umbral de audición.

1.12. Nivel sonoro continuo equivalente

El nivel sonoro continuo equivalente corresponde a un sonido ficticio, de nivel de presión sonora constante, que, si hubiera tenido lugar, hubiera hecho llegar a la membrana del tímpano la misma dosis de energía que la secuencia de sonidos que efectivamente tuvieron lugar en el intervalo de tiempo considerado.

Se expresa según la siguiente formula:

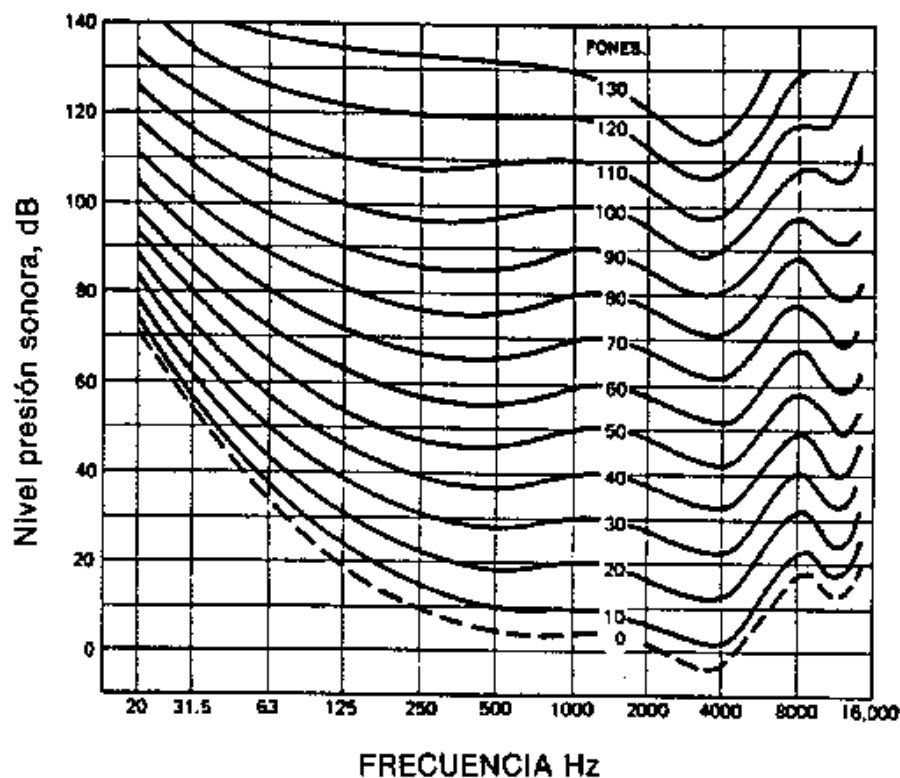
$$L_{A,eq,T} = 10 \log \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right) \quad \text{Ec. A.I 9}$$

1.13. Curvas de audición

La variación de la sensibilidad del oído humano a las distintas frecuencias se ha determinado a partir de numerosos estudios, generándose curvas de igual sonoridad para distintas frecuencias y niveles de presión sonora. Estas se presentan en la Figura a continuación y su unidad de medida corresponde a Fones².

Según se puede apreciar, el oído humano es selectivo a la hora de detectar las distintas frecuencias, alcanzando su sensibilidad máxima en el intervalo comprendido entre las frecuencias de 1.000 Hz y los 4.000 Hz aproximadamente.

Figura 1-2 Curvas de igual sonoridad



Fuente: (Mestre 2004).

² Se dice que un sonido compuesto o ruido tiene un nivel f de fones cuando comparado por un observador medio, se dice que tienen la misma sonoridad con un tono de referencia puro de 1.000 Hz y un nivel de presión sonora de f dB.

1.14. Curvas de ponderación

La respuesta del oído humano no es lineal con respecto al espectro de frecuencias, por lo que la medida del ruido en términos de su nivel de presión sonora no representa correctamente lo que el individuo percibe. Para poder estimar cuánto “se oye” un determinado ruido, se crearon curvas de ponderación que reproducen la respuesta del oído humano modificando la señal acústica para cada una de las bandas de frecuencia.

Las dos curvas de ponderación³ de mayor uso en la actualidad se presentan en la Figura a continuación y corresponden a:

□ Curva de ponderación “A”.

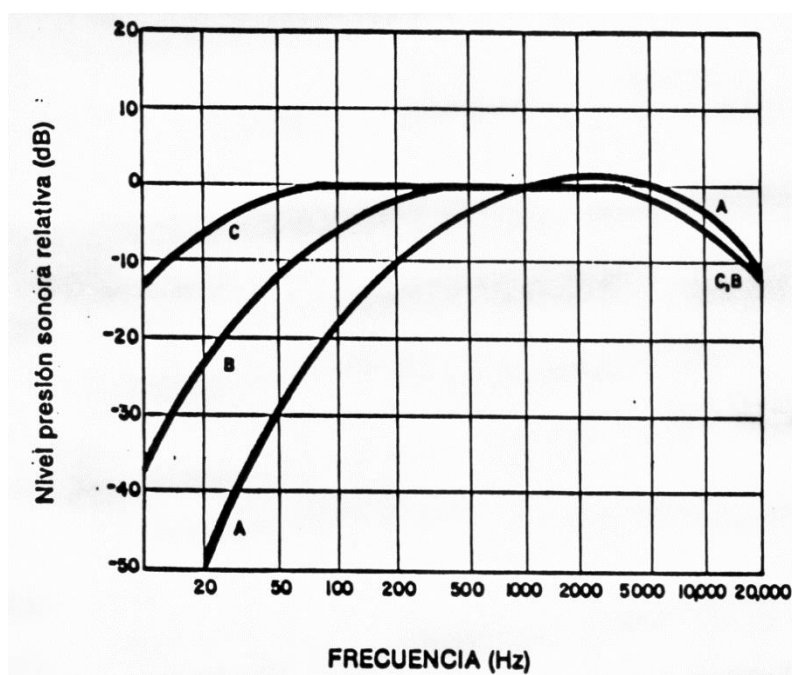
La curva de ponderación A fue originalmente utilizada para sonidos de bajo nivel de presión sonora, aunque en la actualidad se generaliza para múltiples usos. Surge de la curva de igual sonoridad de Fletcher-Munson de 40 fones y se expresa en dBA.

Esta penaliza fuertemente las frecuencias bajas y en menor medida las frecuencias altas, reproduciendo la respuesta del oído humano al espectro de frecuencias.

□ Curva de ponderación “C”.

La curva de ponderación C utiliza la curva de igual sonoridad de Fletcher-Munson de 100 fones y fue diseñada para evaluar sonidos de alto nivel de presión sonora. Actualmente se utiliza para evaluación de aislamientos acústicos, ya que le confiere mayor importancia a las frecuencias bajas del espectro. Se expresa en dBC.

Figura 1-3 Curvas de ponderación A y C.



Nota: la curva de ponderación B se encuentra fuera de uso en la actualidad.

Fuente: (Mestre 2004).

En la Tabla a continuación se presenta las correcciones a aplicar a los niveles de presión sonora en bandas de octavas según cada escala.

³ Las curvas de ponderación A y C están definidas por la norma IEC 61672:2003.

Tabla 1-1 Correcciones para el cálculo de niveles de presión sonora según curvas de ponderación A y C

Bandas de tercios de octavas Frecuencia (Hz)	Correcciones en dB	
	Curva de ponderación A	Curva de ponderación C
12,5	-63,4	-11,2
16	-56,7	-8,5
20	-50,5	-6,2
25	-44,7	-4,4
31,5	-39,4	-3,0
40	-34,6	-2,0
50	-30,2	-1,3
63	-26,2	-0,8
80	-22,5	-0,5
100	-19,1	-0,3
125	-16,1	-0,2
160	-13,4	-0,1
200	-10,9	0,0
250	-8,6	0,0
315	-6,6	0,0
400	-4,8	0,0
500	-3,2	0,0
630	-1,9	0,0
800	-0,8	0,0
1.000	0,0	0,0
1.250	0,6	0,0
1.600	1,0	-0,1
2.000	1,2	-0,2
2.500	1,3	-0,3
3.150	1,2	-0,5
4.000	1,0	-0,8
5.000	0,5	-1,3
6.300	-0,1	-2,0
8.000	-1,1	-3,0
10.000	-2,5	-4,4
12.500	-4,3	-6,2
16.000	-6,6	-8,5
20.000	-9,3	-11,2

Fuente: (Mestre 2004).

ANEXO II: RESULTADOS POR CAMPAÑA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. TIEMPOS DE ESTABILIZACIÓN.....	4
2.1. PERÍODO DE 1 HORA.....	4
2.1.1. RESULTADOS GLOBALES	4
2.1.2. GRÁFICAS DE EVOLUCIÓN	5
2.2. PERÍODO DE 12 HORAS.....	75
2.2.1. RESULTADOS GLOBALES	75
2.2.2. GRÁFICAS DE EVOLUCIÓN	75
3. IDENTIFICACIÓN DE ANÓMALOS ACÚSTICOS	79

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anexo se incluye la totalidad de los resultados obtenidos a partir del análisis de datos de los registros de las distintas campañas de monitoreo.

Se incluye:

- ☐ Análisis del tiempo de estabilización:
 - Para el período de 1 hora.
 - Para el período de 12 horas.
- ☐ Identificación de anómalos acústicos por hora.

2. TIEMPOS DE ESTABILIZACIÓN

2.1. Período de 1 hora

2.1.1. Resultados globales

A continuación, se presenta los resultados obtenidos para la totalidad de las horas analizadas, de las campañas de monitoreo.

Tabla 2-1 Tiempos de estabilización para muestras de 1 h (valores expresados en minutos)

Hora	P150507			P151111			P151116		
	ε (dBA)								
	± 0,5	± 1	± 2	± 0,5	± 1	± 2	± 0,5	± 1	± 2
8:00 – 9:00	34	8	1	14	1	1	SD	SD	SD
8:30 – 9:30	32	12	2	5	2	1	12	11	1
9:00 – 10:00	18	2	1	6	5	1	10	2	1
9:30 – 10:30	25	6	1	38	2	1	10	3	1
10:00 – 11:00	40	2	1	24	14	8	5	5	1
10:30 – 11:30	40	8	3	14	3	1	7	1	1
11:00 – 12:00	17	8	1	6	5	3	12	2	1
11:30 – 12:30	18	2	1	9	5	2	5	1	1
12:00 – 13:00	6	5	2	24	7	1	33	4	1
12:30 – 13:30	9	4	1	19	5	4	21	4	4
13:00 – 14:00	32	17	3	38	5	2	14	14	1
13:30 – 14:30	33	4	2	36	8	1	39	23	1
14:00 – 15:00	22	3	2	6	1	1	33	2	1
14:30 – 15:30	7	3	1	34	5	2	7	2	1
15:00 – 16:00	37	6	1	33	5	1	22	6	1
15:30 – 16:30	38	19	1	25	3	1	16	2	2
16:00 – 17:00	17	4	4	14	2	2	16	9	5
16:30 – 17:30	14	3	2	12	1	1	7	4	1

Hora	P150507			P151111			P151116		
	Σ (dBA)								
	± 0,5	± 1	± 2	± 0,5	± 1	± 2	± 0,5	± 1	± 2
17:00 – 18:00	23	12	1	25	6	1	55	47	1
17:30 – 18:30	4	3	3	22	15	5	41	31	1
18:00 – 19:00	33	5	1	17	6	1	20	2	1
18:30 – 19:30	14	10	5	17	5	1	14	8	1
19:00 – 20:00	23	3	1	5	3	1	30	4	2

SD: Sin dato

2.1.2. Gráficas de evolución

A continuación se presentan las gráficas de evolución del parámetro $L_{Aeq,acumulado}$ para la totalidad de las horas analizadas móviles cada 30 minutos. Adicionalmente se incluye el parámetro $L_{Aeq,1h}$, y las franjas de tolerancia de $\pm 0,5$, ± 1 y ± 2 dBA. Se presentan para cada campaña relevada.

Figura 2-1 Tiempo de estabilización 1 hora, 8 h - P150507

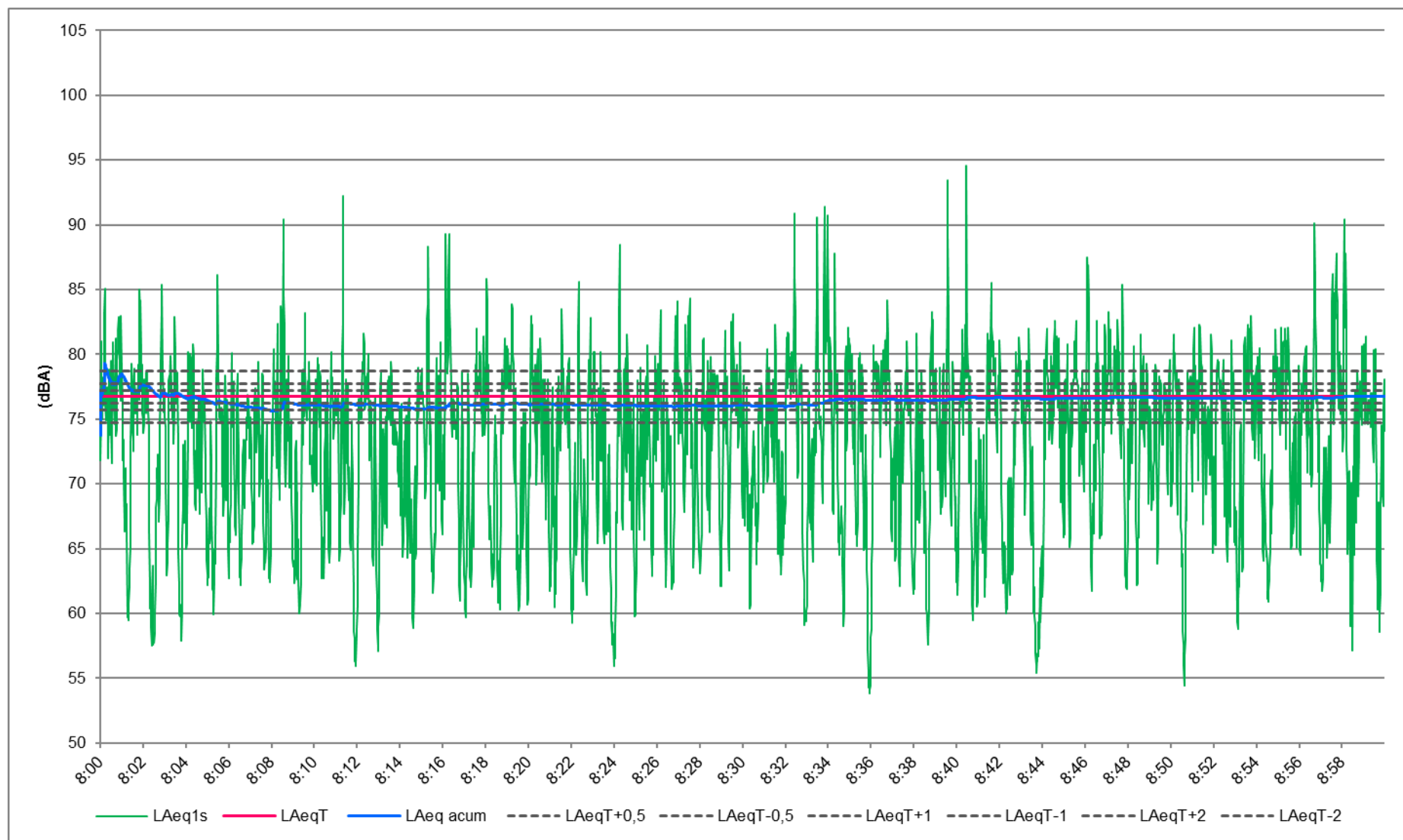


Figura 2-2 Tiempo de estabilización 1 hora, 8:30 h - P150507

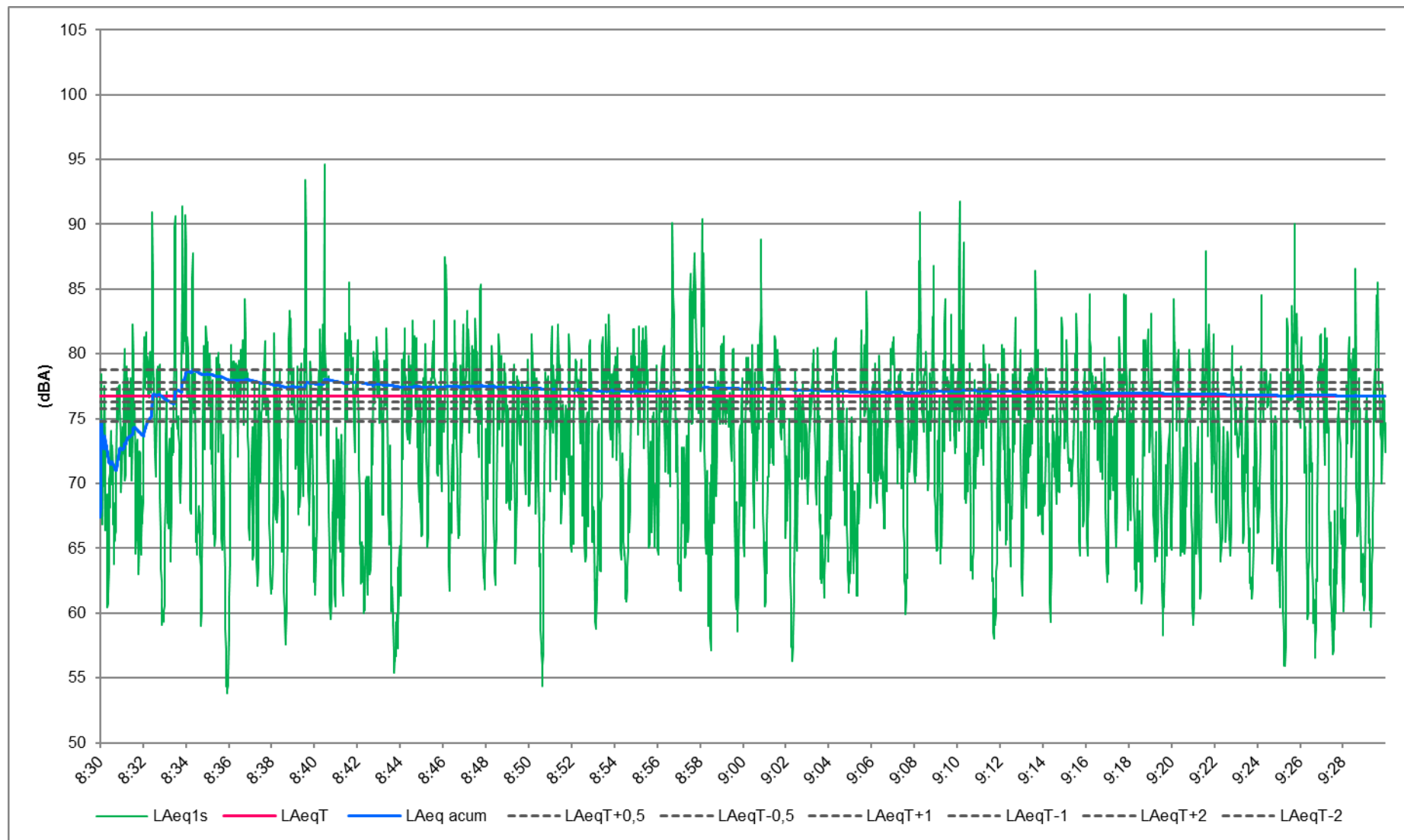


Figura 2-3 Tiempo de estabilización 1 hora, 9 h - P150507

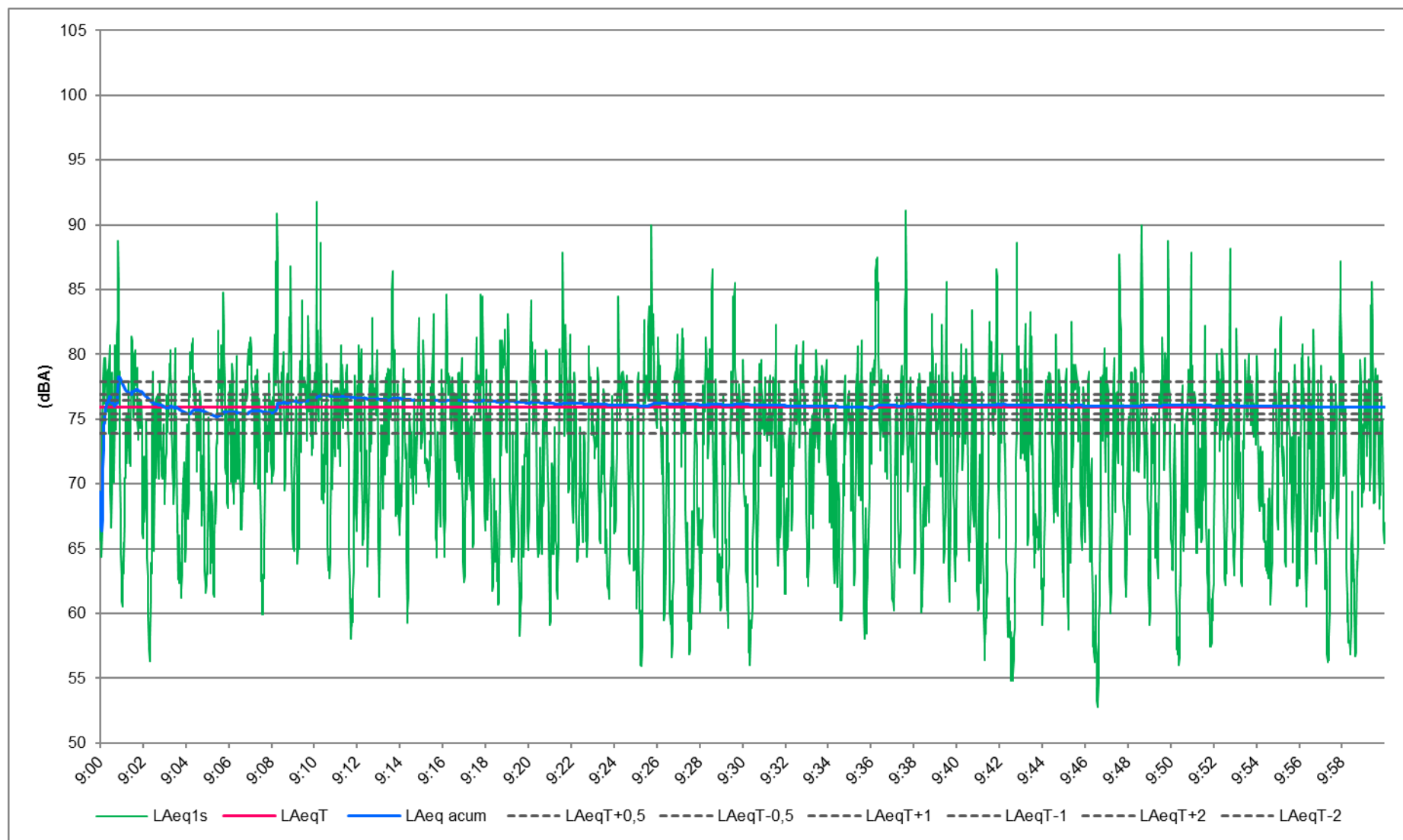


Figura 2-4 Tiempo de estabilización 1 hora, 9:30 h - P150507

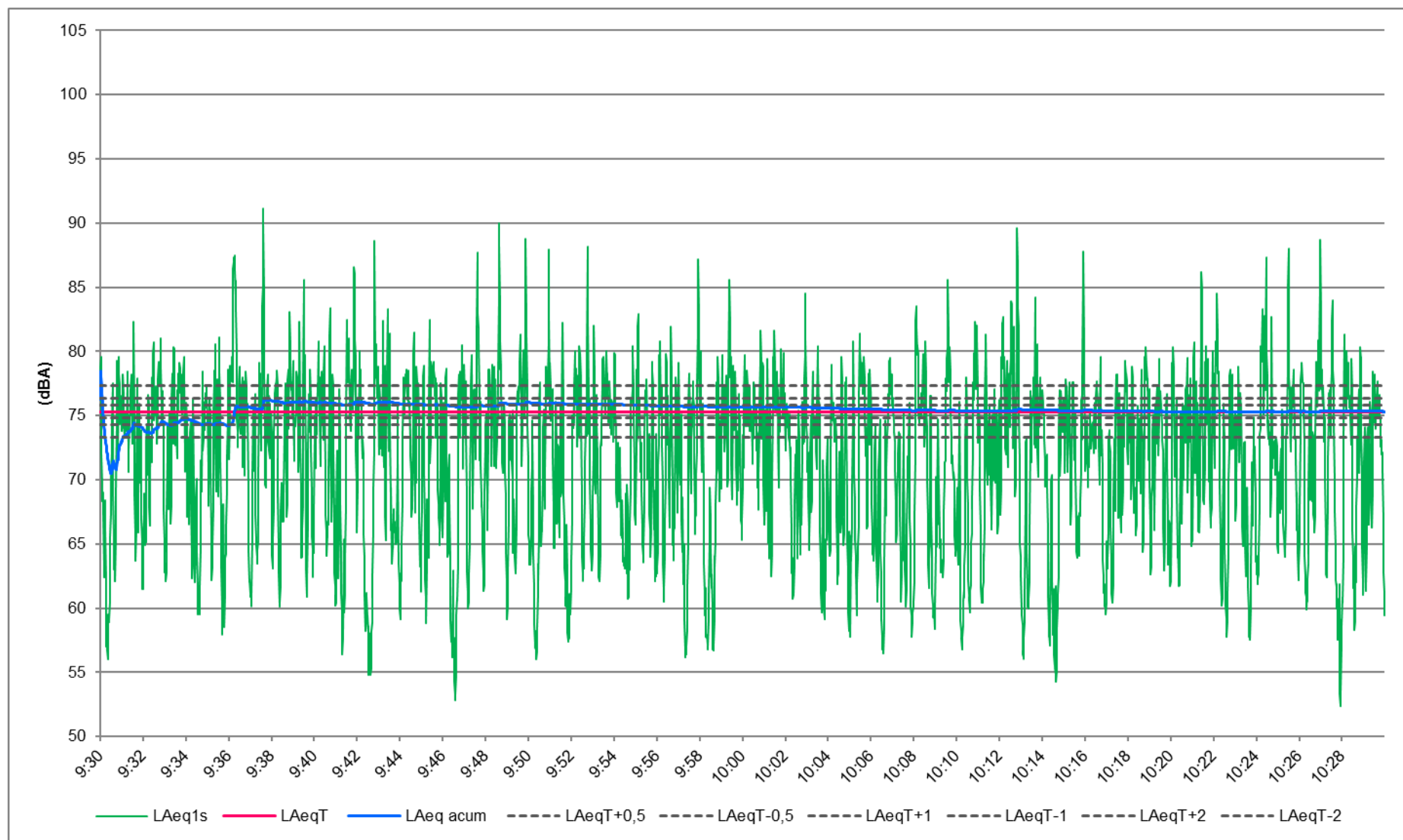


Figura 2-5 Tiempo de estabilización 1 hora, 10 h - P150507

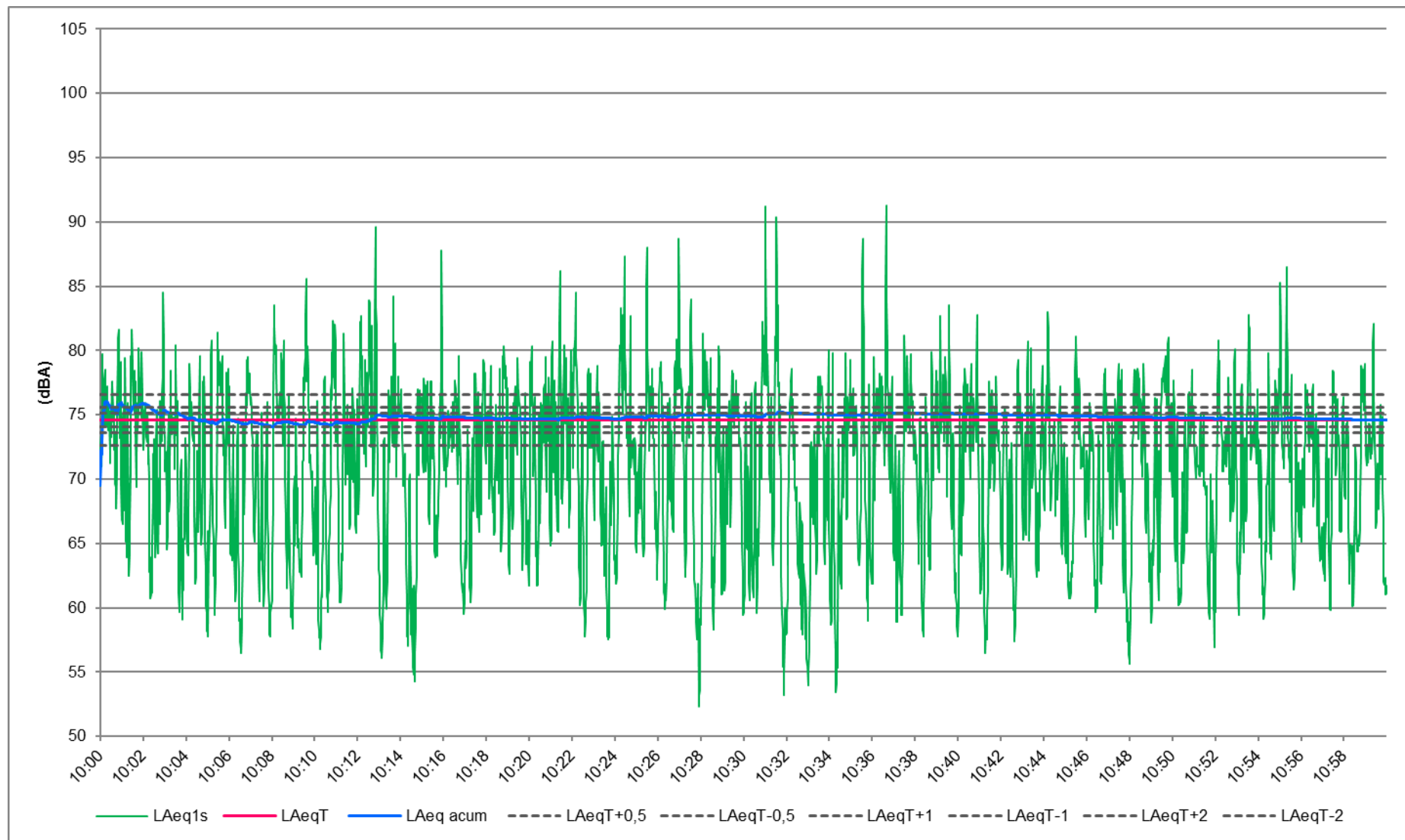


Figura 2-6 Tiempo de estabilización 1 hora, 10:30 h - P150507

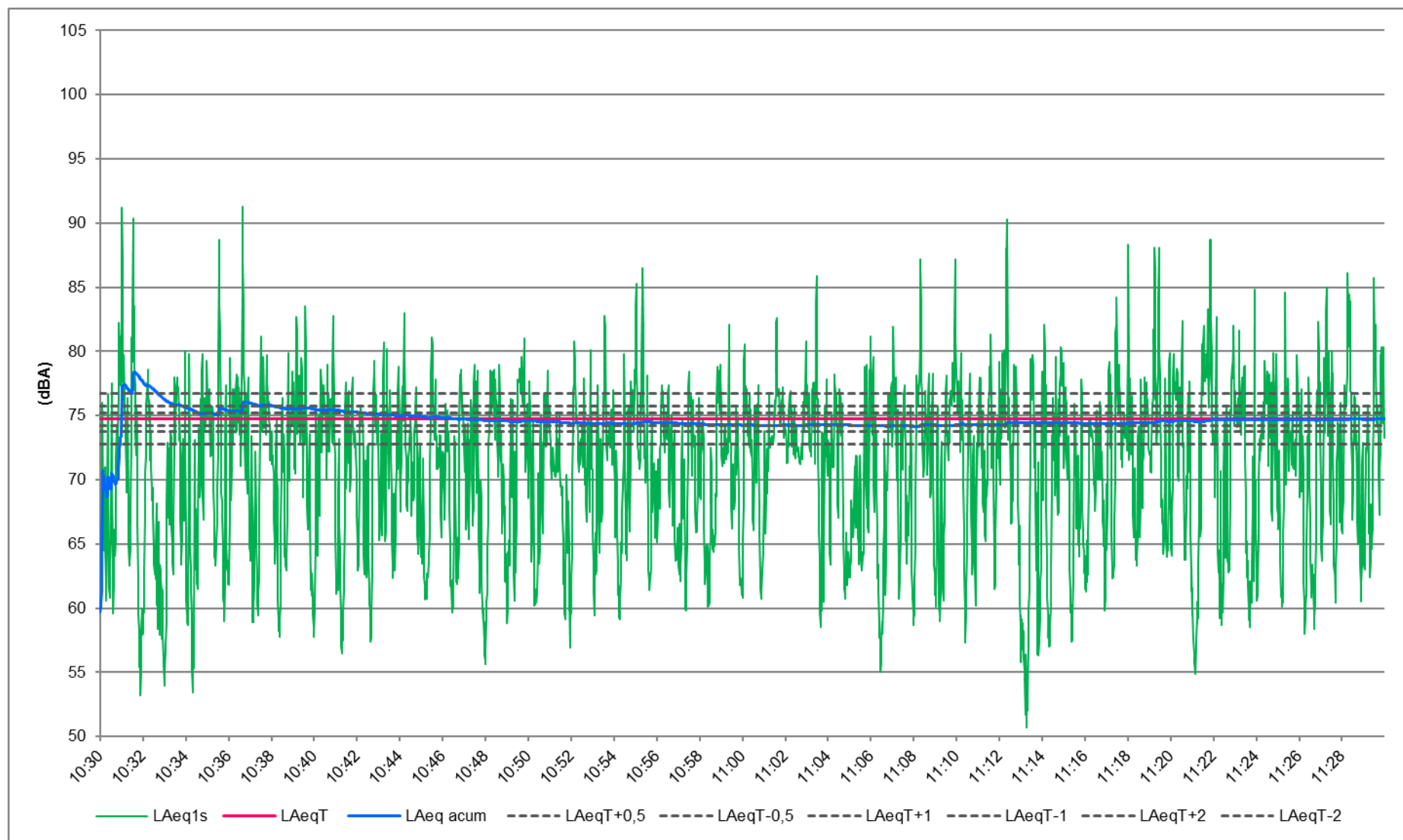


Figura 2-7 Tiempo de estabilización 1 hora, 11 h - P150507

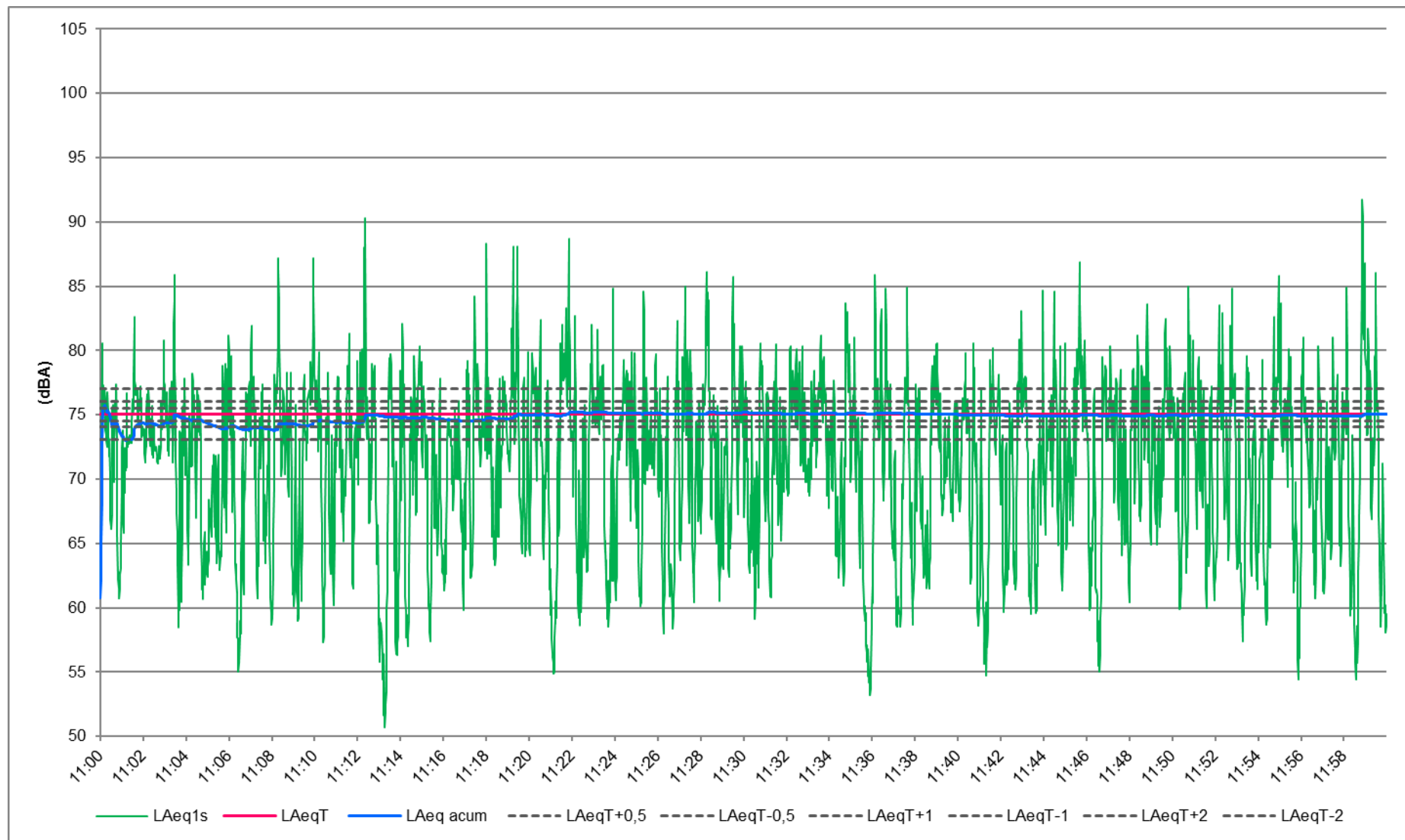


Figura 2-8 Tiempo de estabilización 1 hora, 11:30 h - P150507

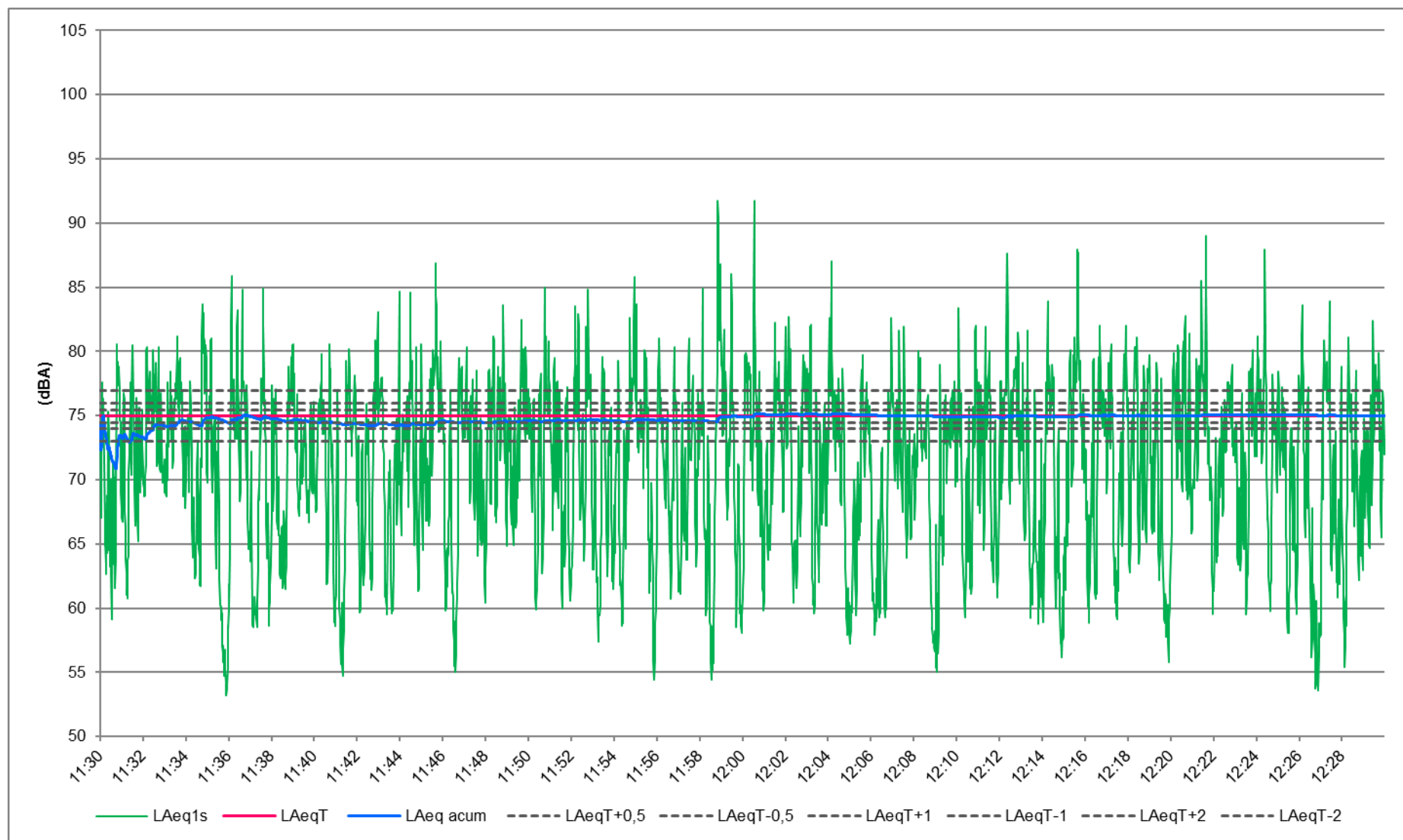


Figura 2-9 Tiempo de estabilización 1 hora, 12 h - P150507

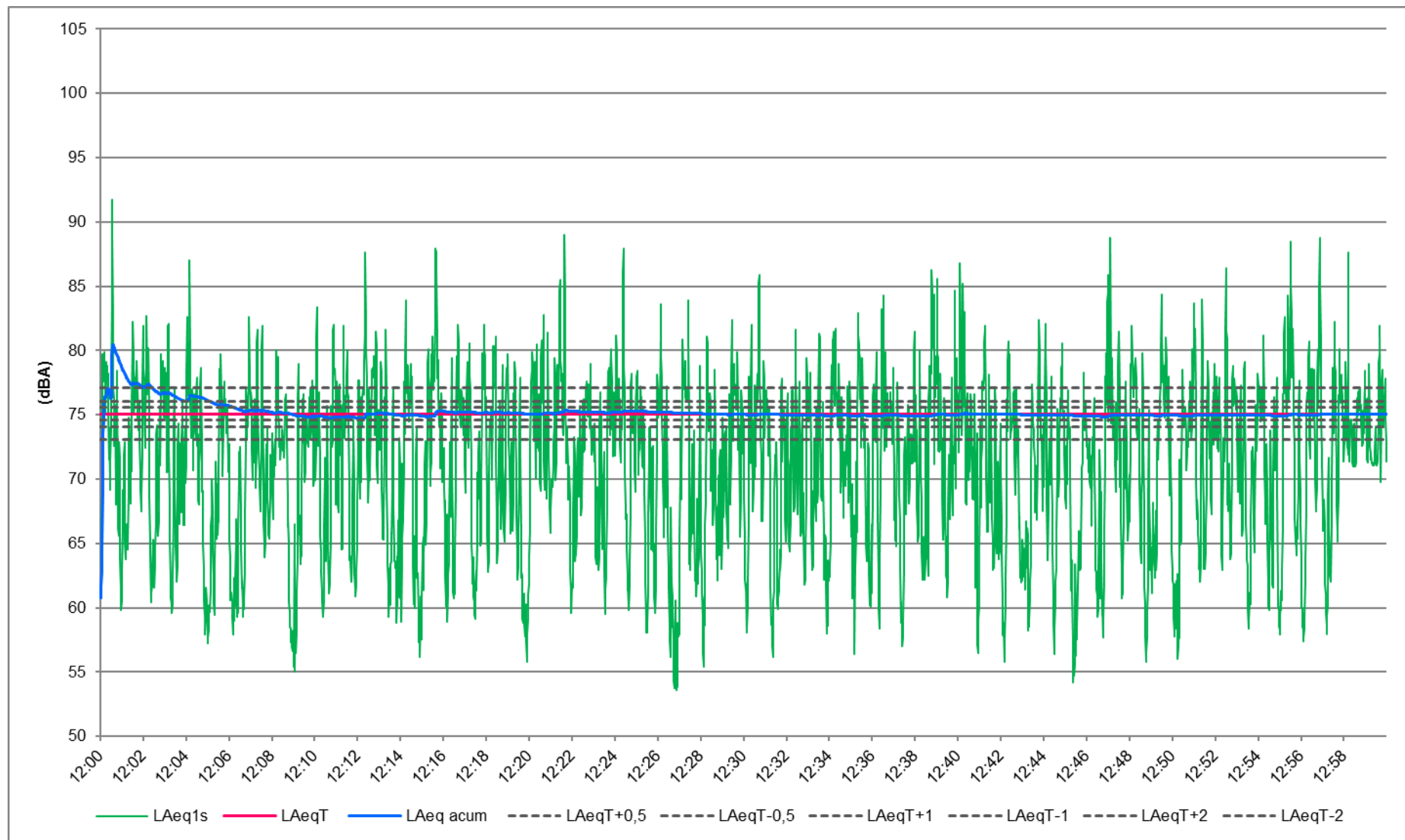


Figura 2-10 Tiempo de estabilización 1 hora, 12:30 h - P150507

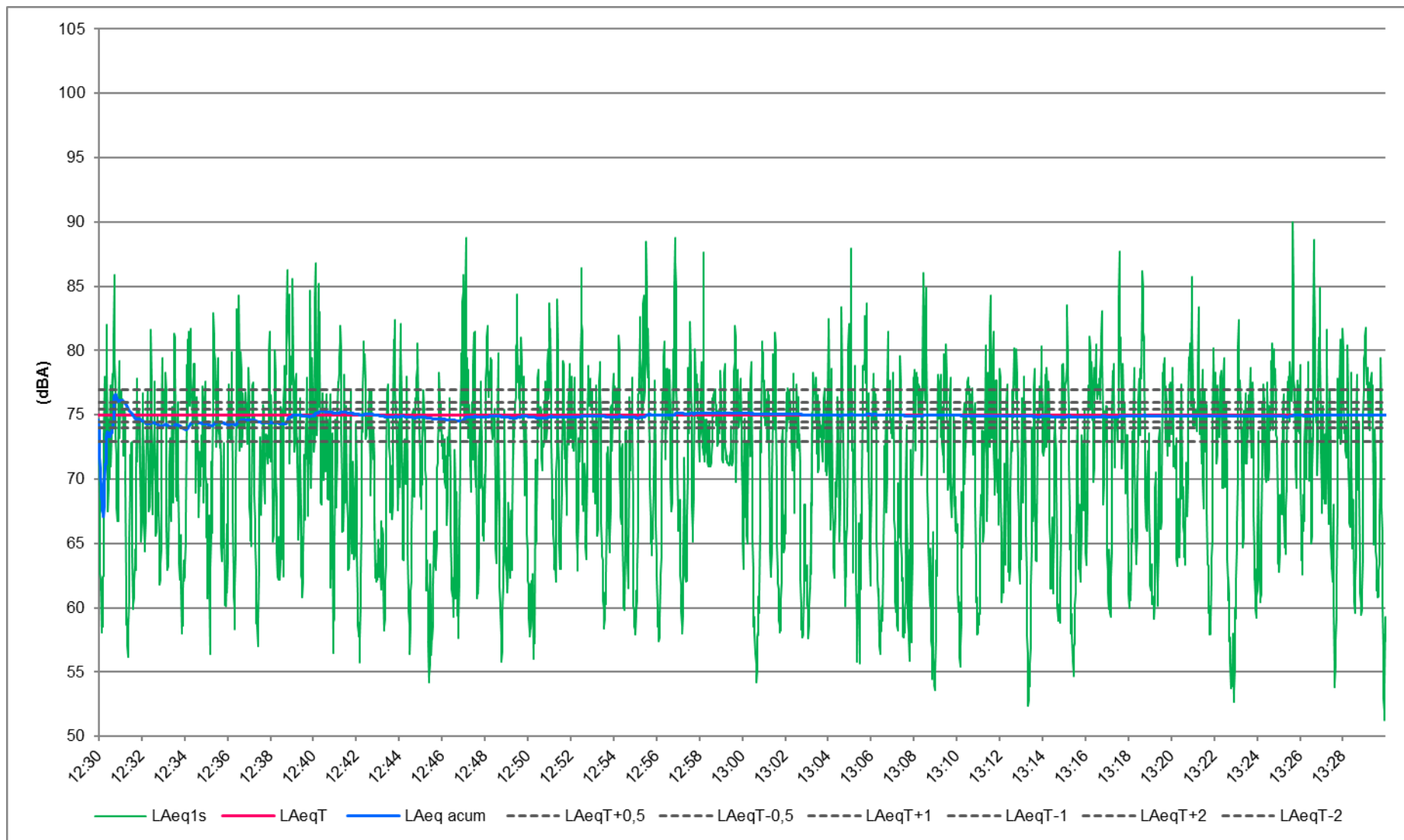


Figura 2-11 Tiempo de estabilización 1 hora, 13 h - P150507

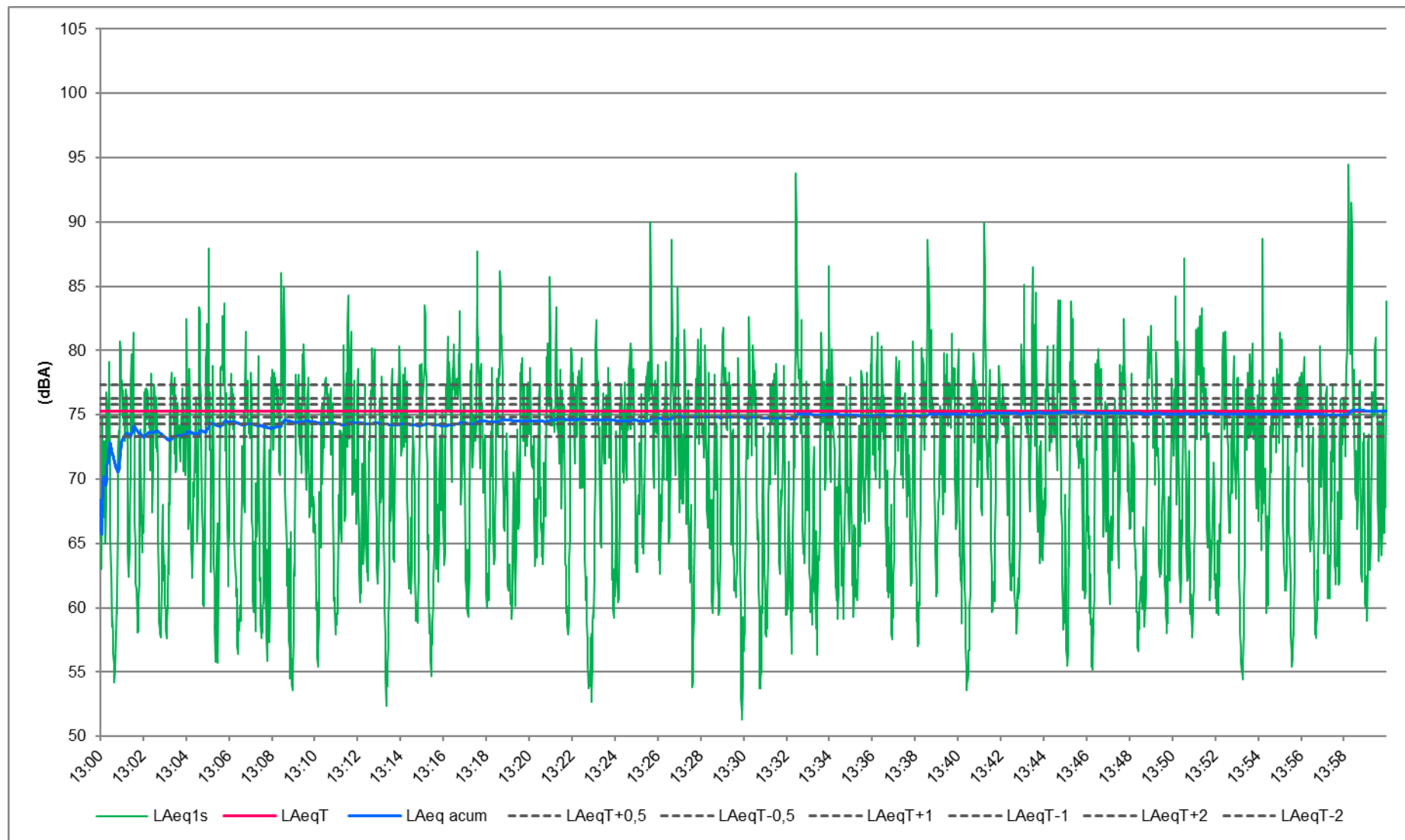


Figura 2-12 Tiempo de estabilización 1 hora, 13:30 h - P150507

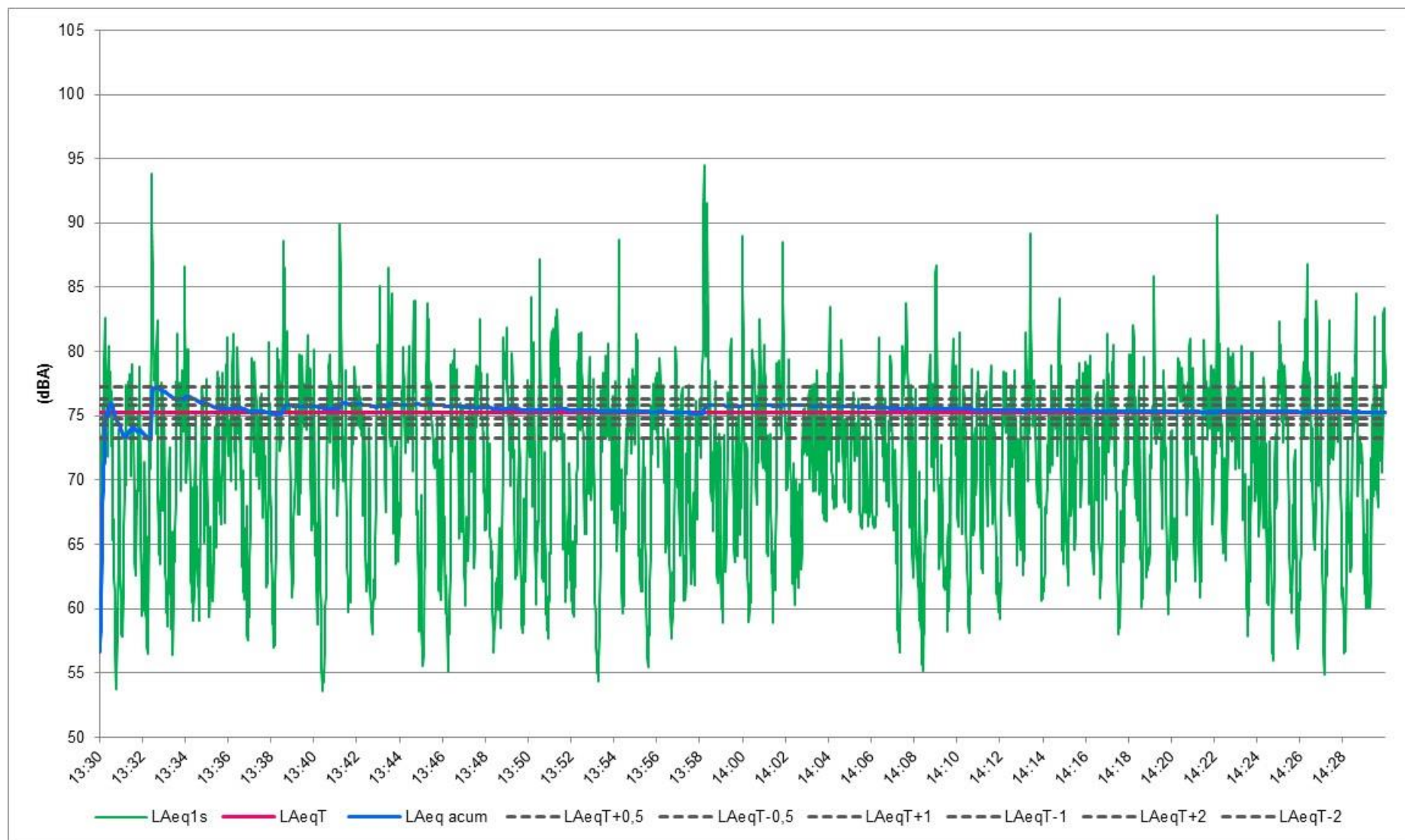


Figura 2-13 Tiempo de estabilización 1 hora, 14 h - P150507

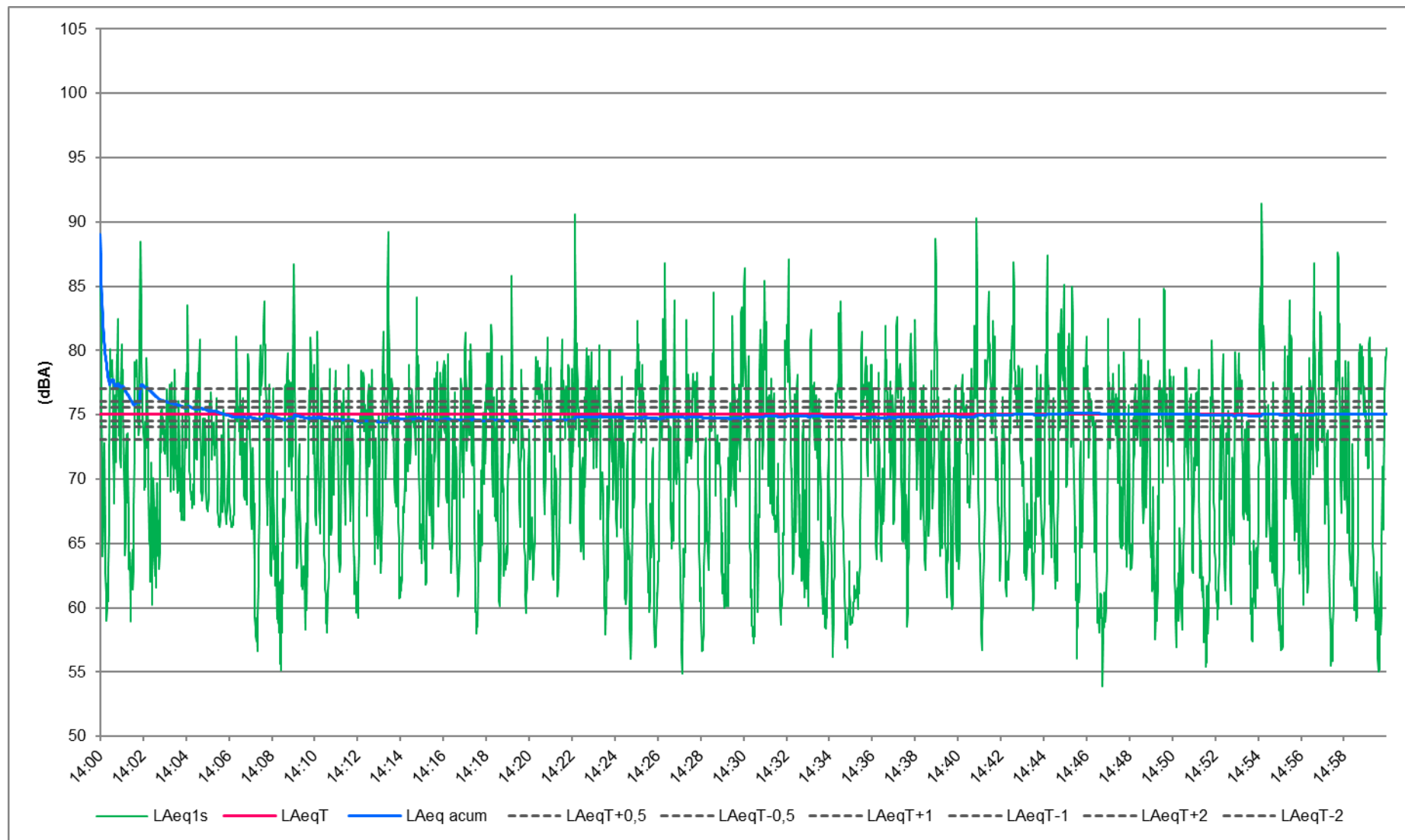


Figura 2-14 Tiempo de estabilización 1 hora, 14:30 h - P150507

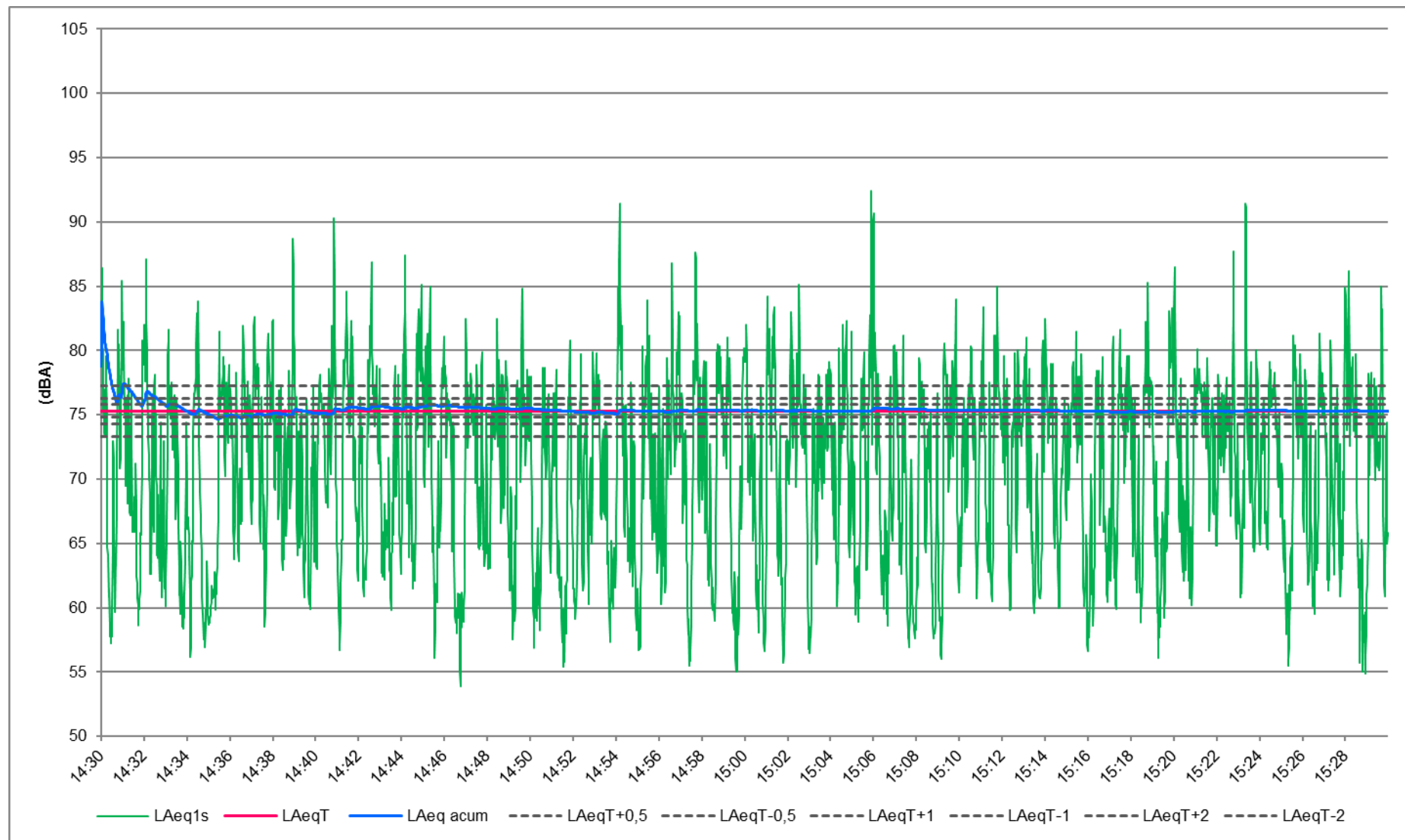


Figura 2-15 Tiempo de estabilización 1 hora, 15 h - P150507

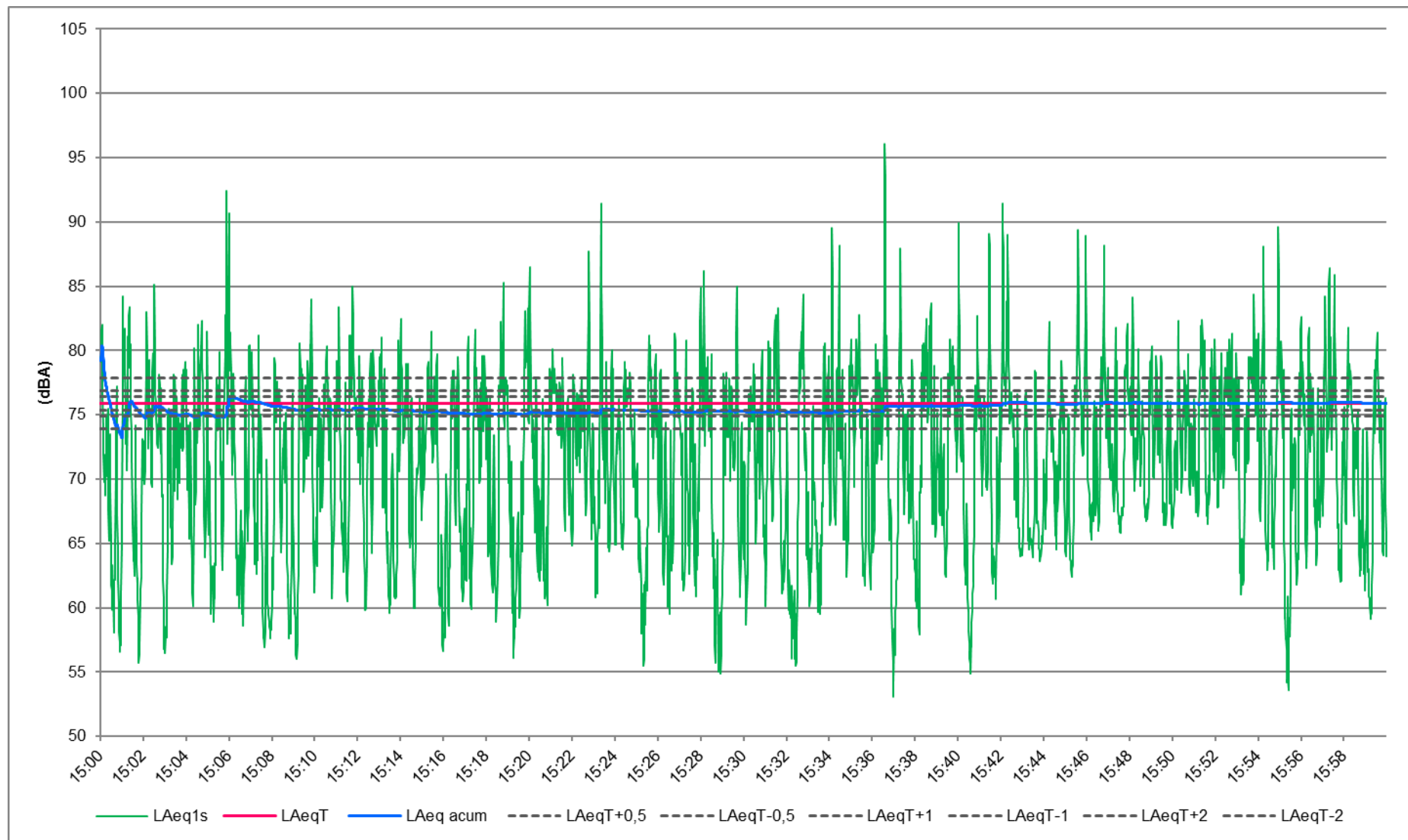


Figura 2-16 Tiempo de estabilización 1 hora, 15:30 h - P150507

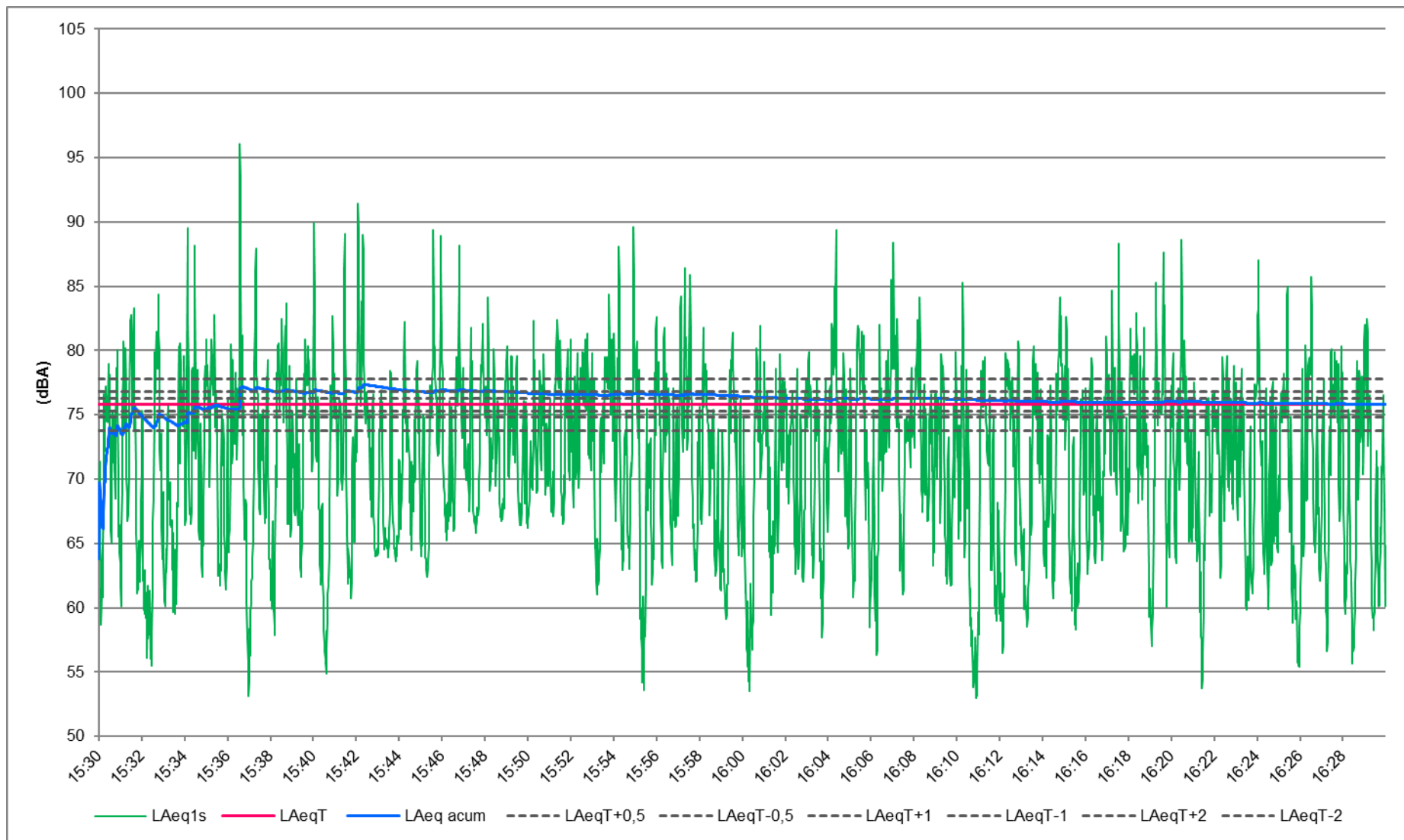


Figura 2-17 Tiempo de estabilización 1 hora, 16 h - P150507

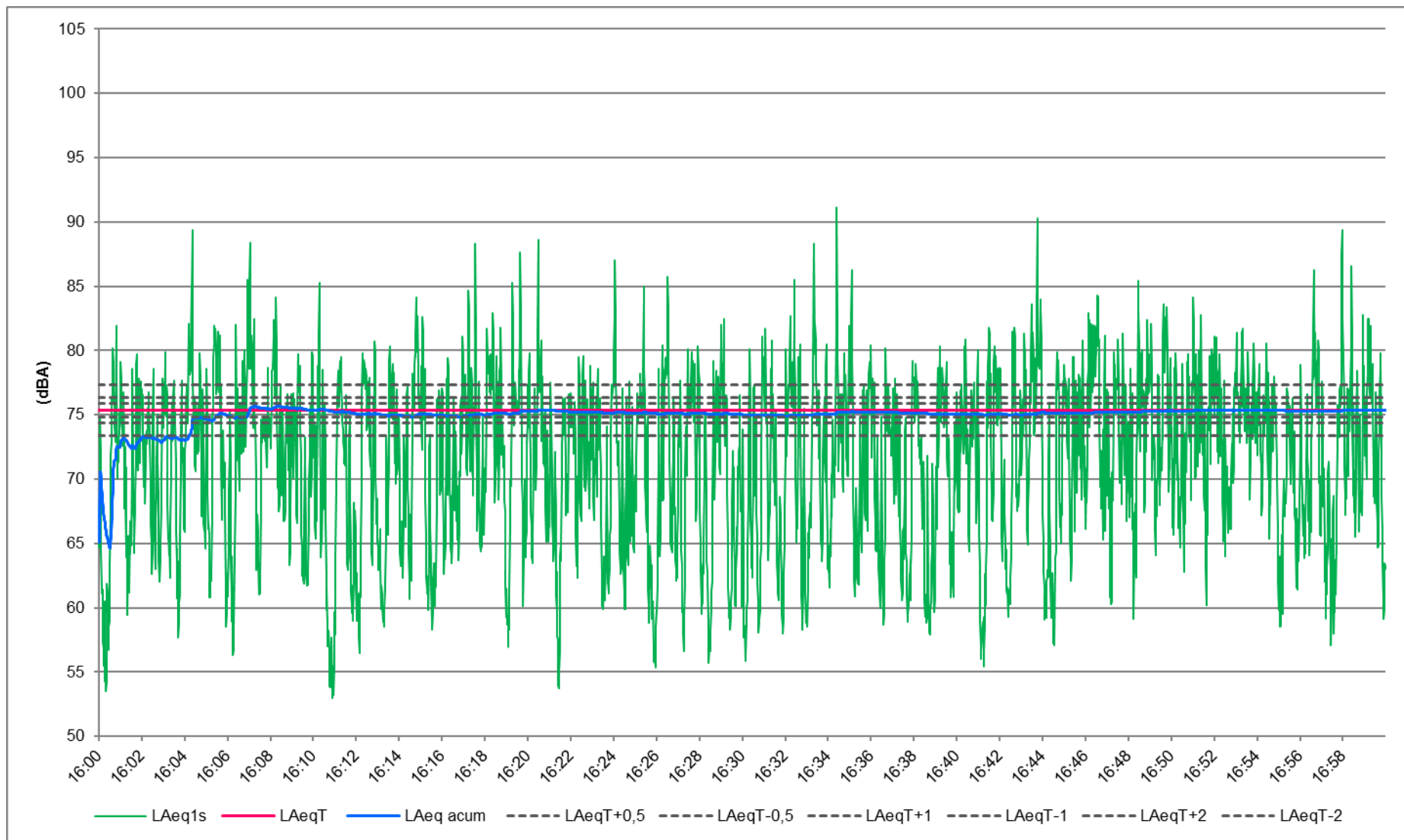


Figura 2-18 Tiempo de estabilización 1 hora, 16:30 h - P150507

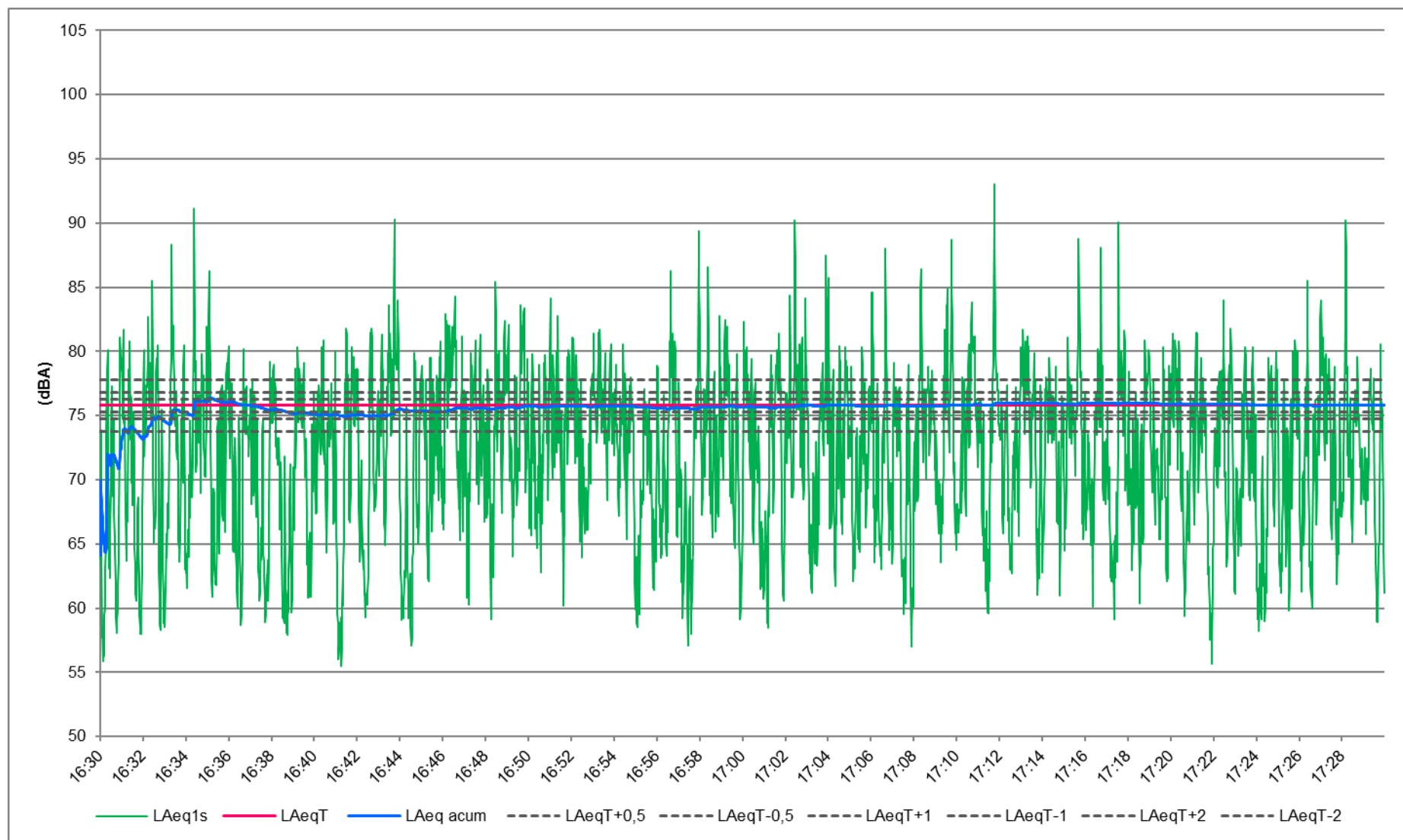


Figura 2-19 Tiempo de estabilización 1 hora, 17 h - P150507

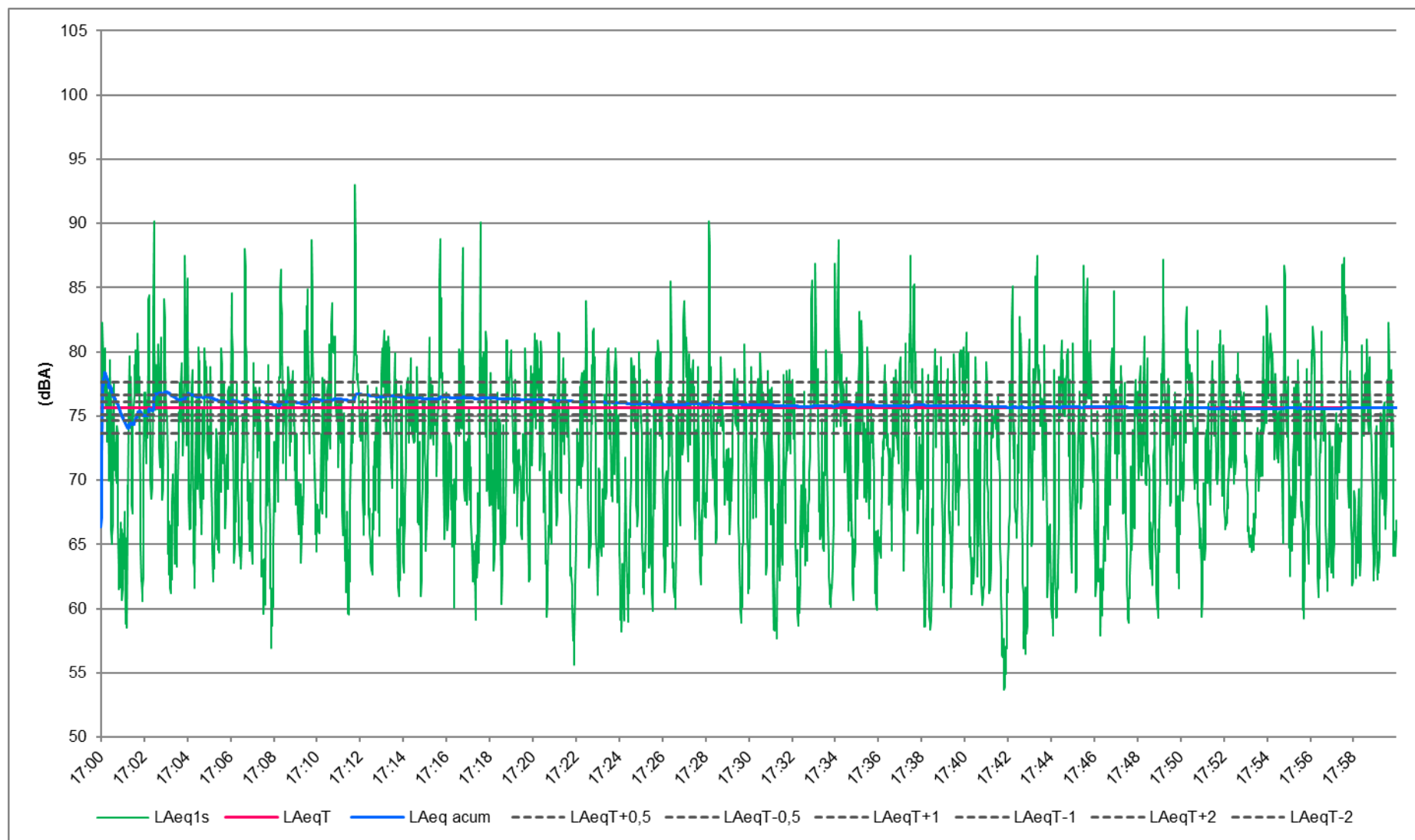


Figura 2-20 Tiempo de estabilización 1 hora, 17:30 h - P150507

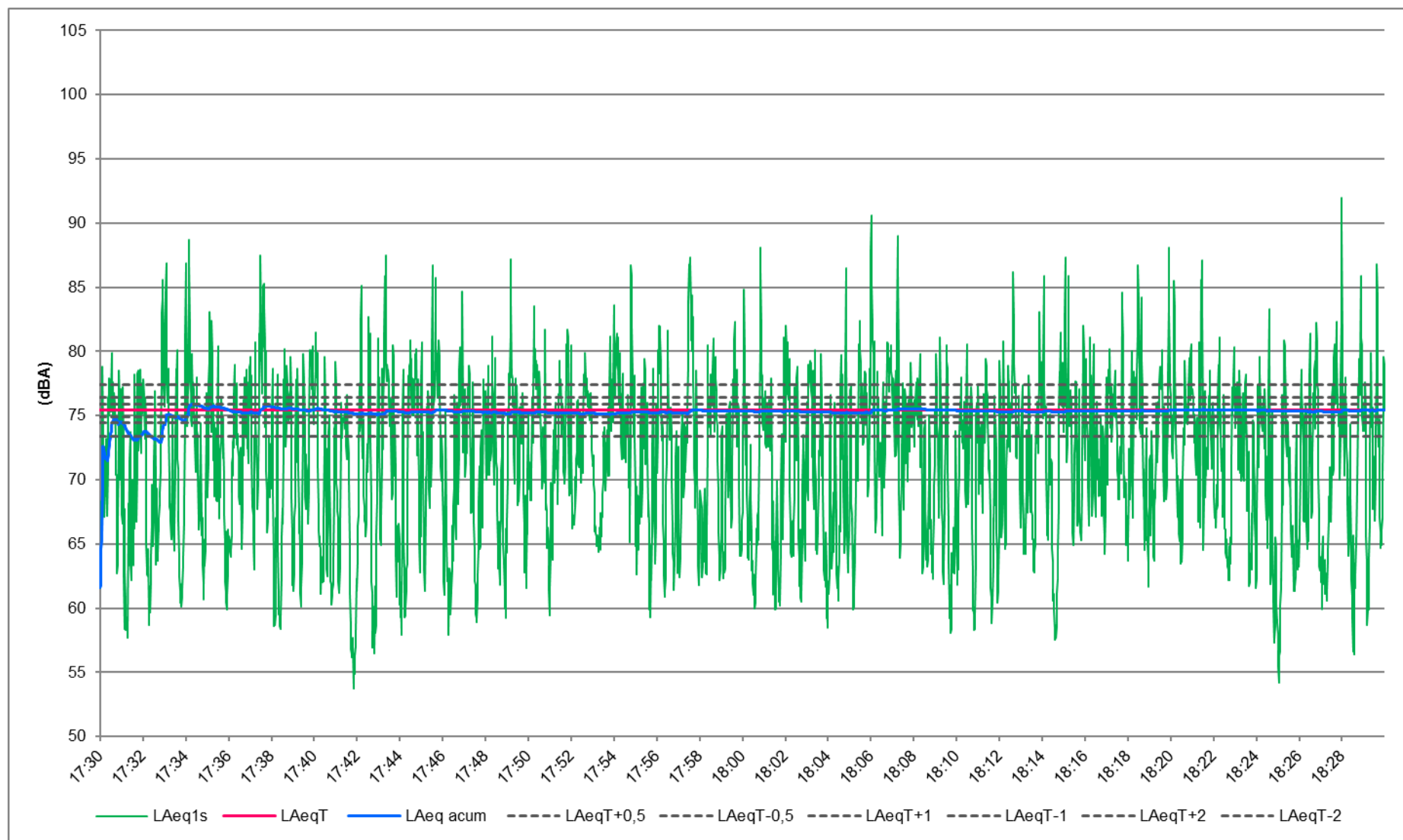


Figura 2-21 Tiempo de estabilización 1 hora, 18 h - P150507

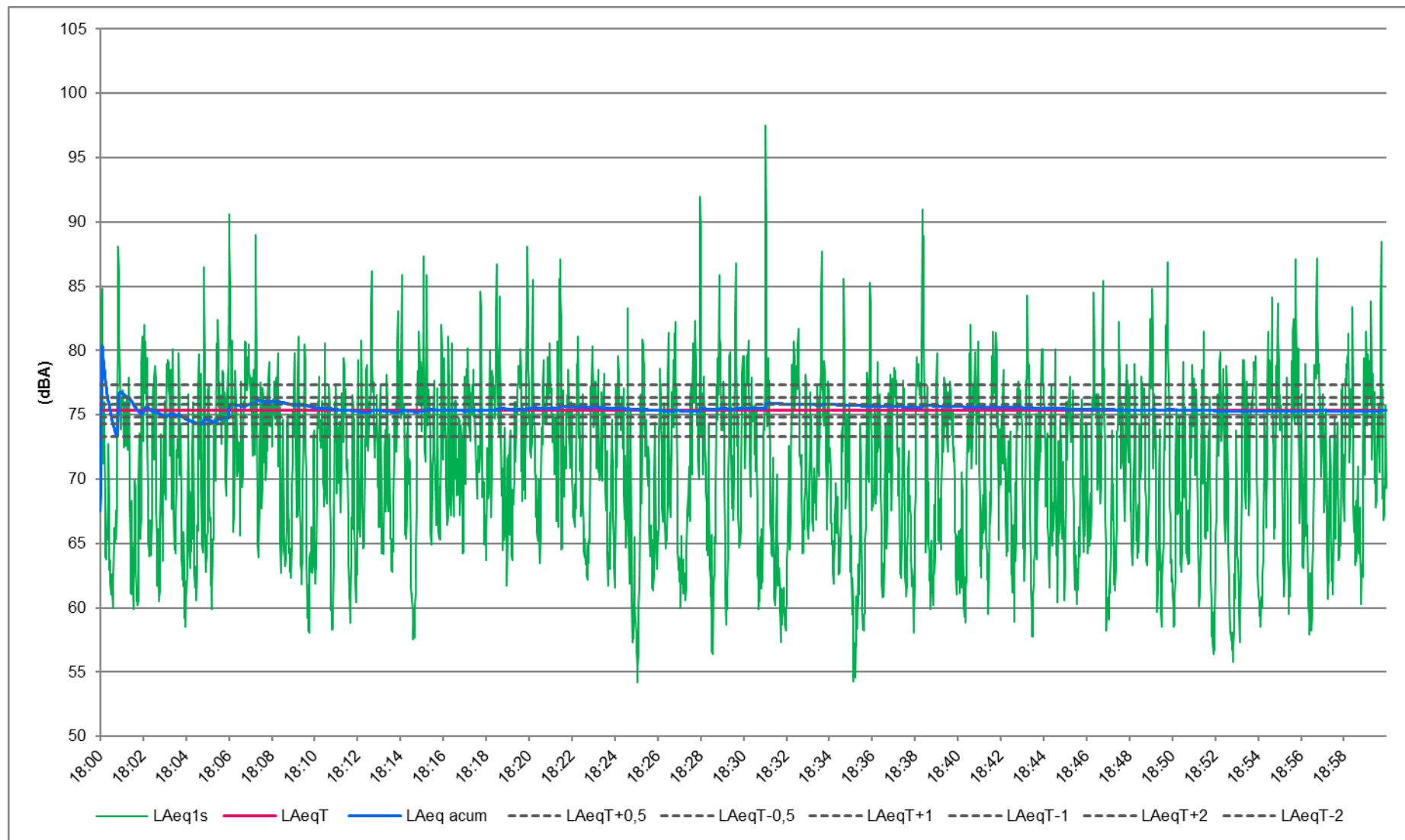


Figura 2-22 Tiempo de estabilización 1 hora, 18:30 h - P150507

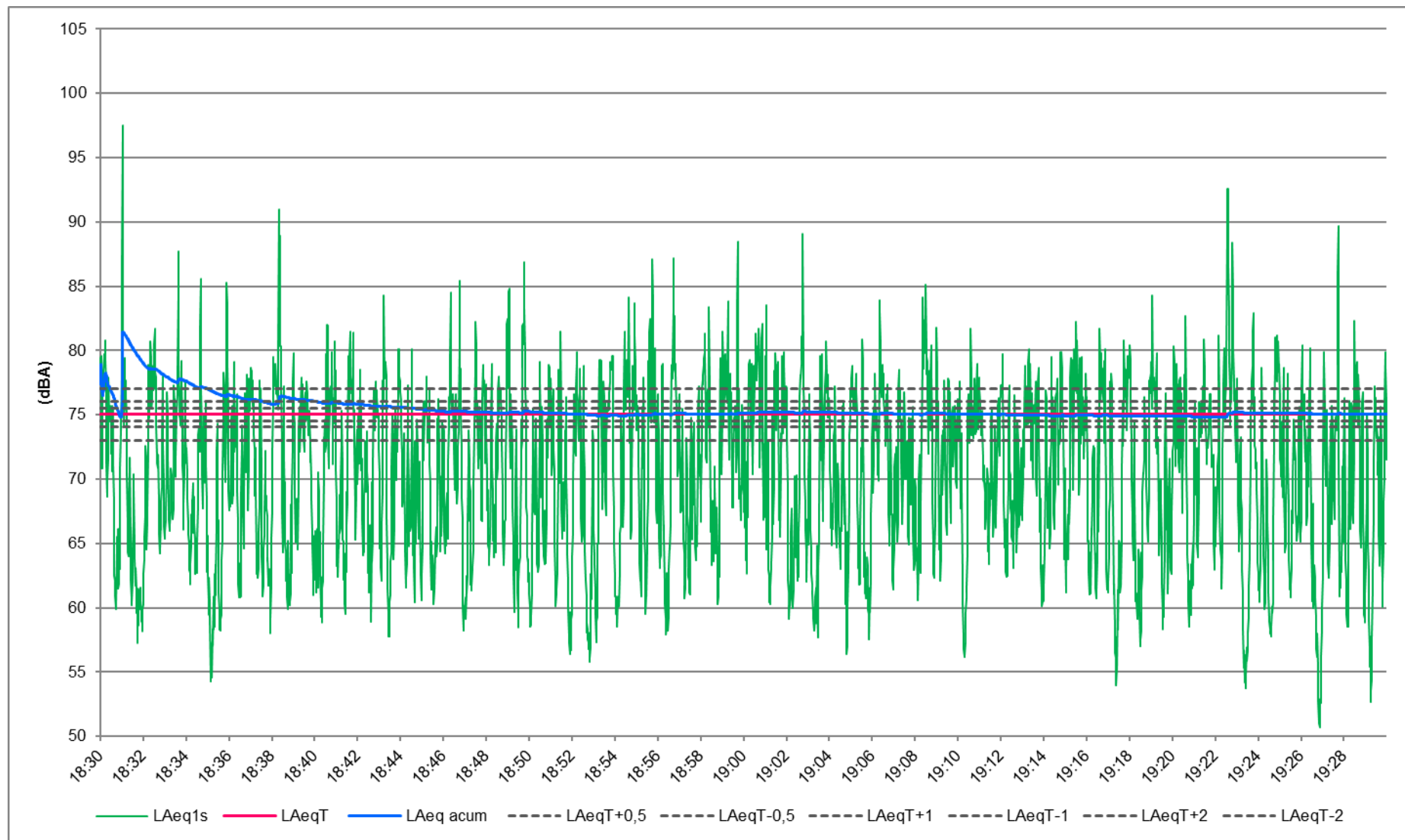


Figura 2-23 Tiempo de estabilización 1 hora, 19 h - P150507

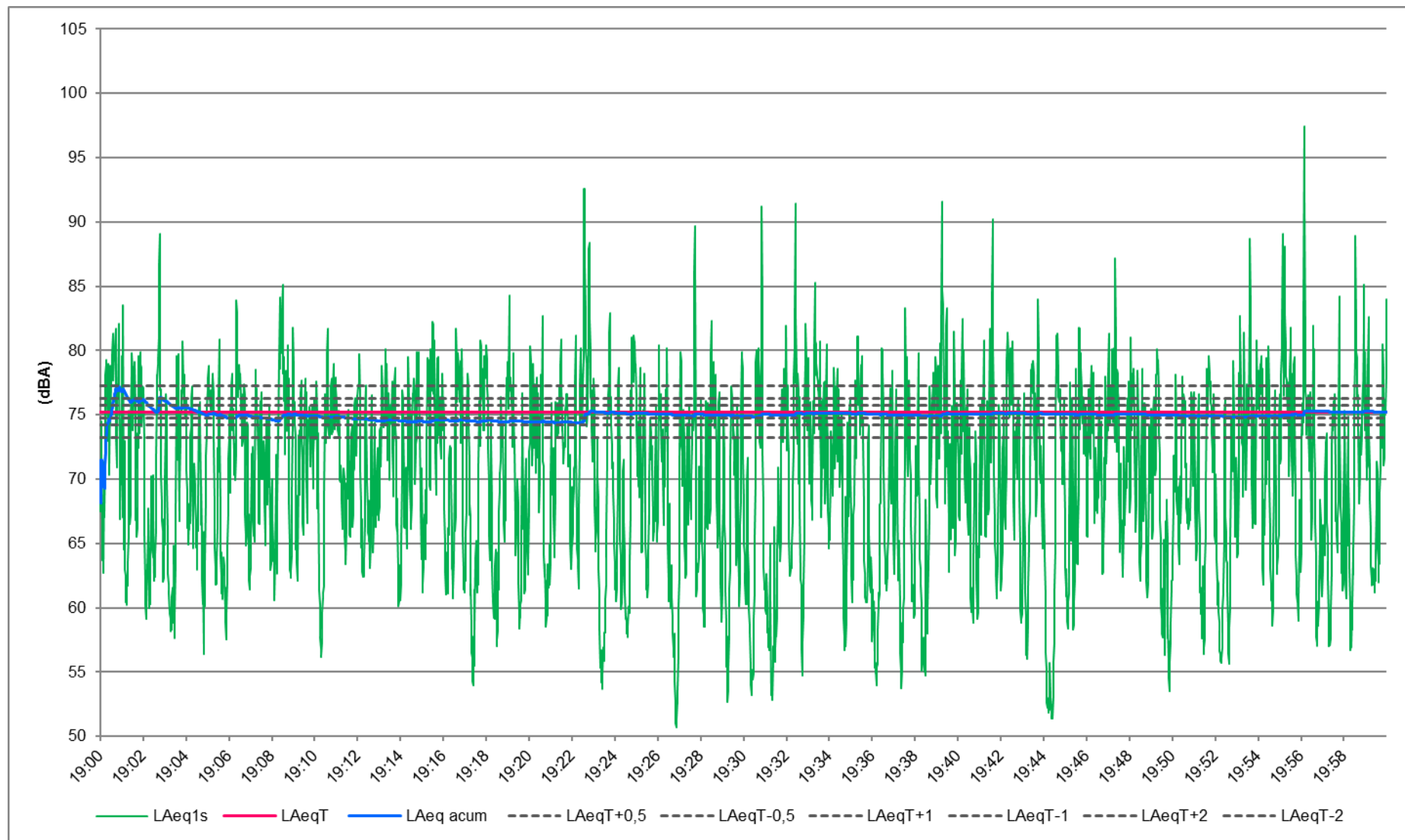


Figura 2-24 Tiempo de estabilización 1 hora, 8 h - P151111

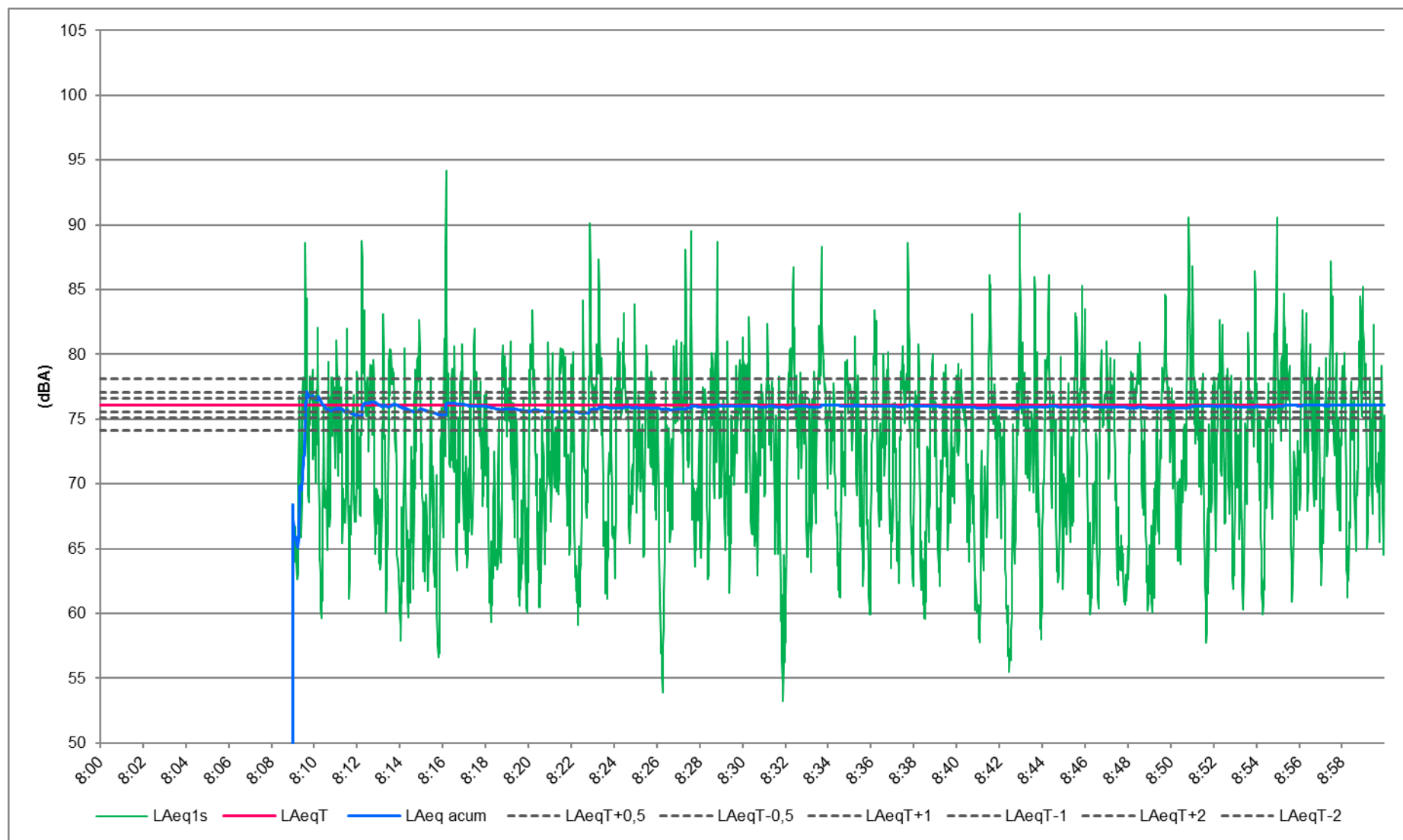


Figura 2-25 Tiempo de estabilización 1 hora, 8:30 h - P151111

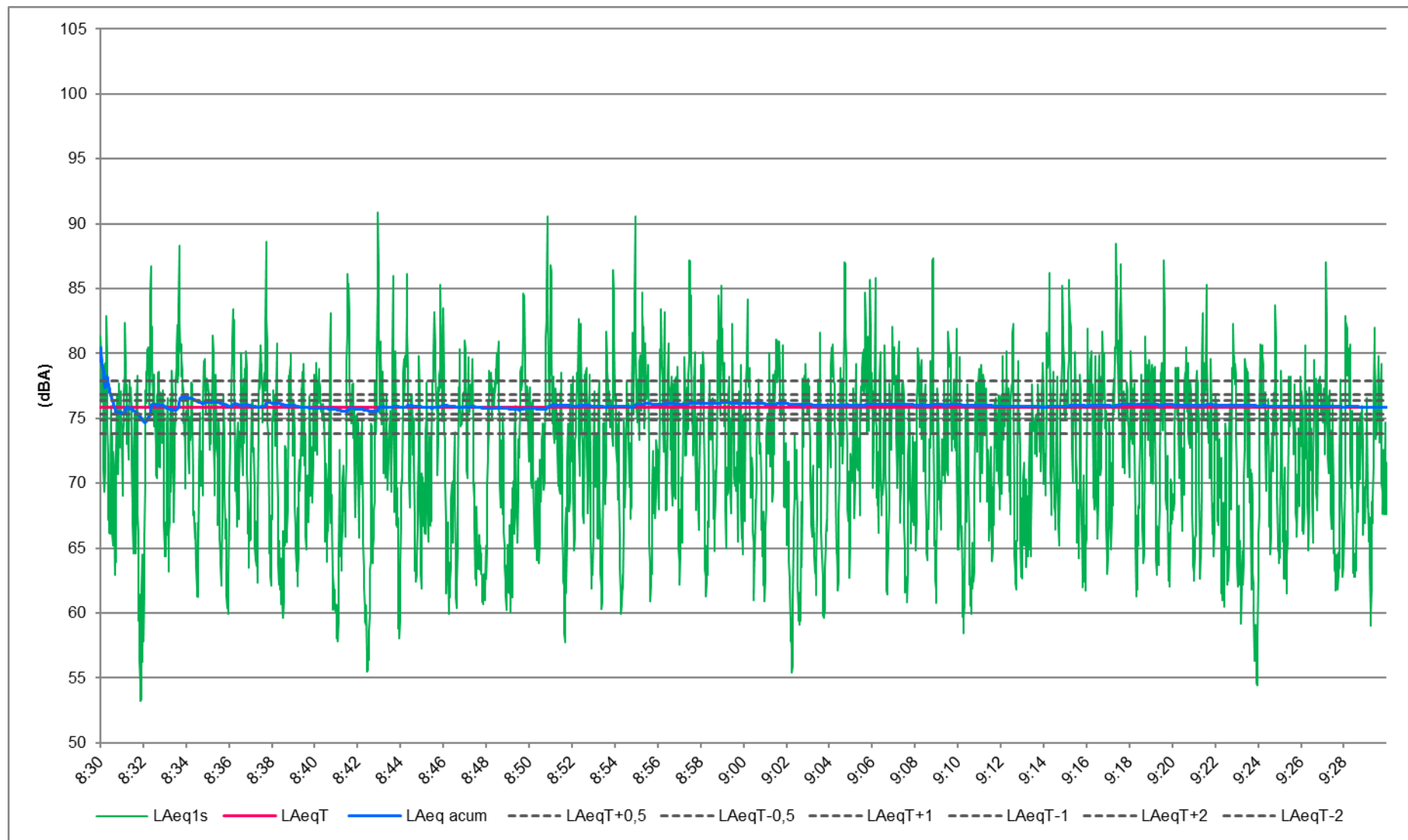


Figura 2-26 Tiempo de estabilización 1 hora, 9 h - P151111

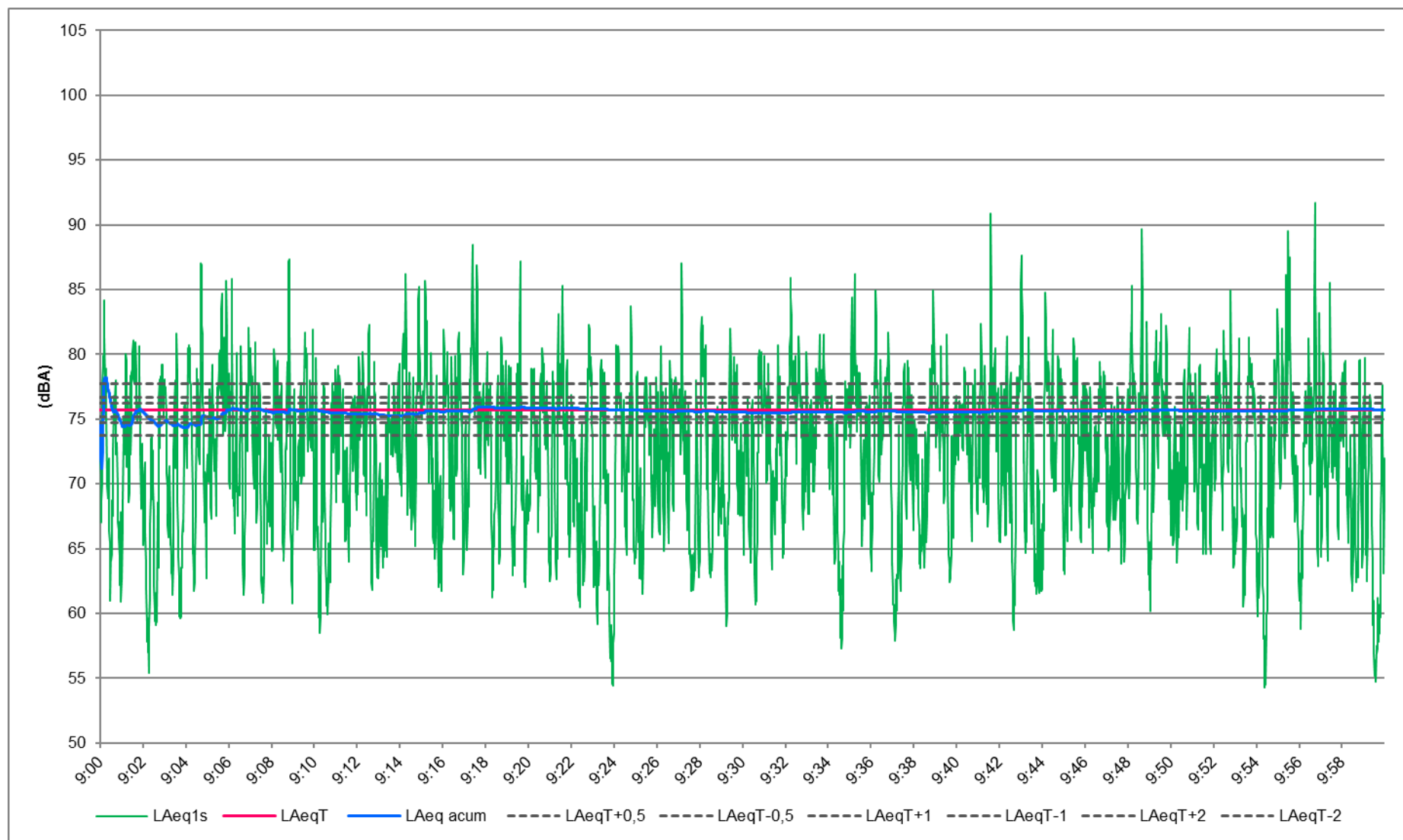


Figura 2-27 Tiempo de estabilización 1 hora, 9:30 h - P151111

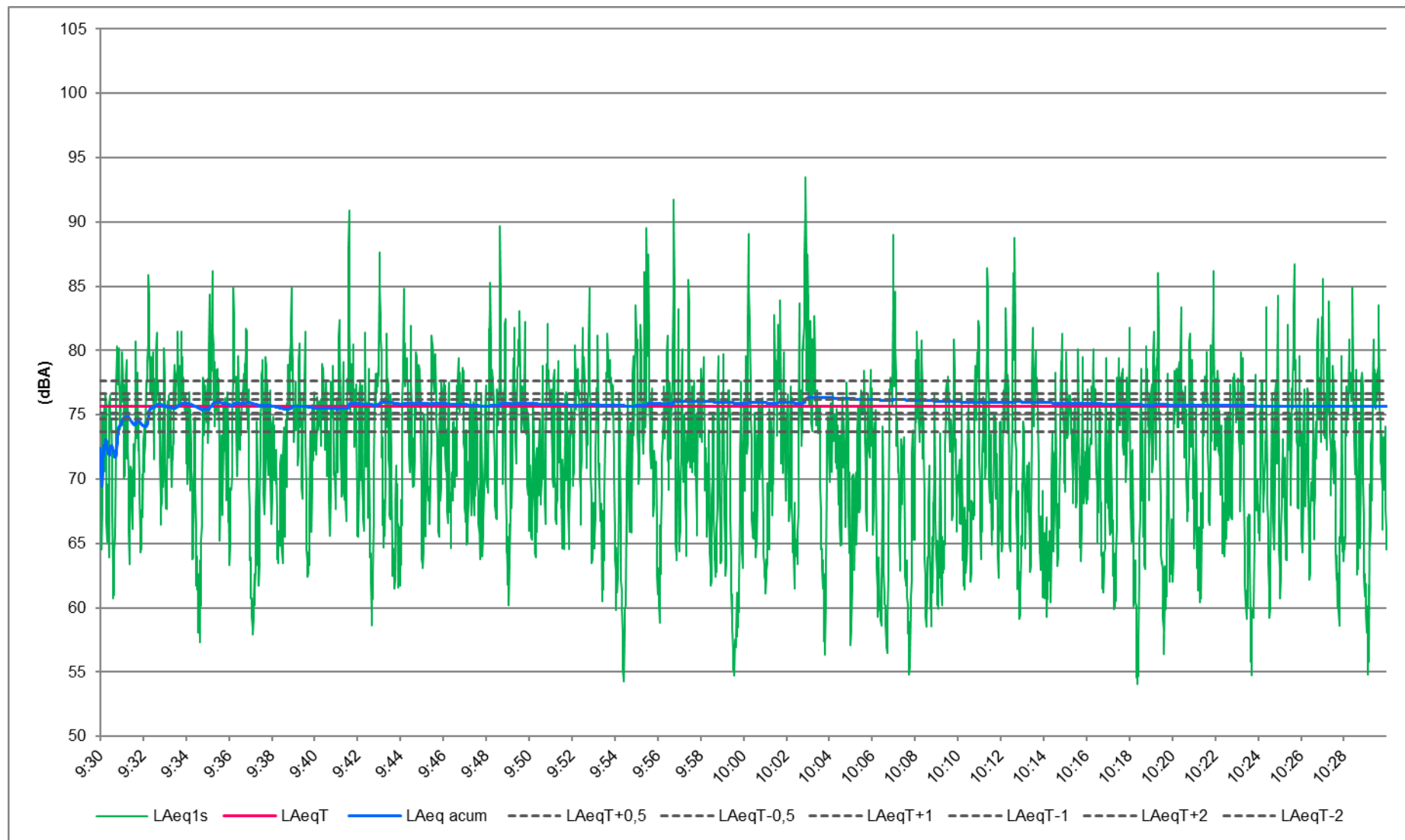


Figura 2-28 Tiempo de estabilización 1 hora, 10 h - P151111

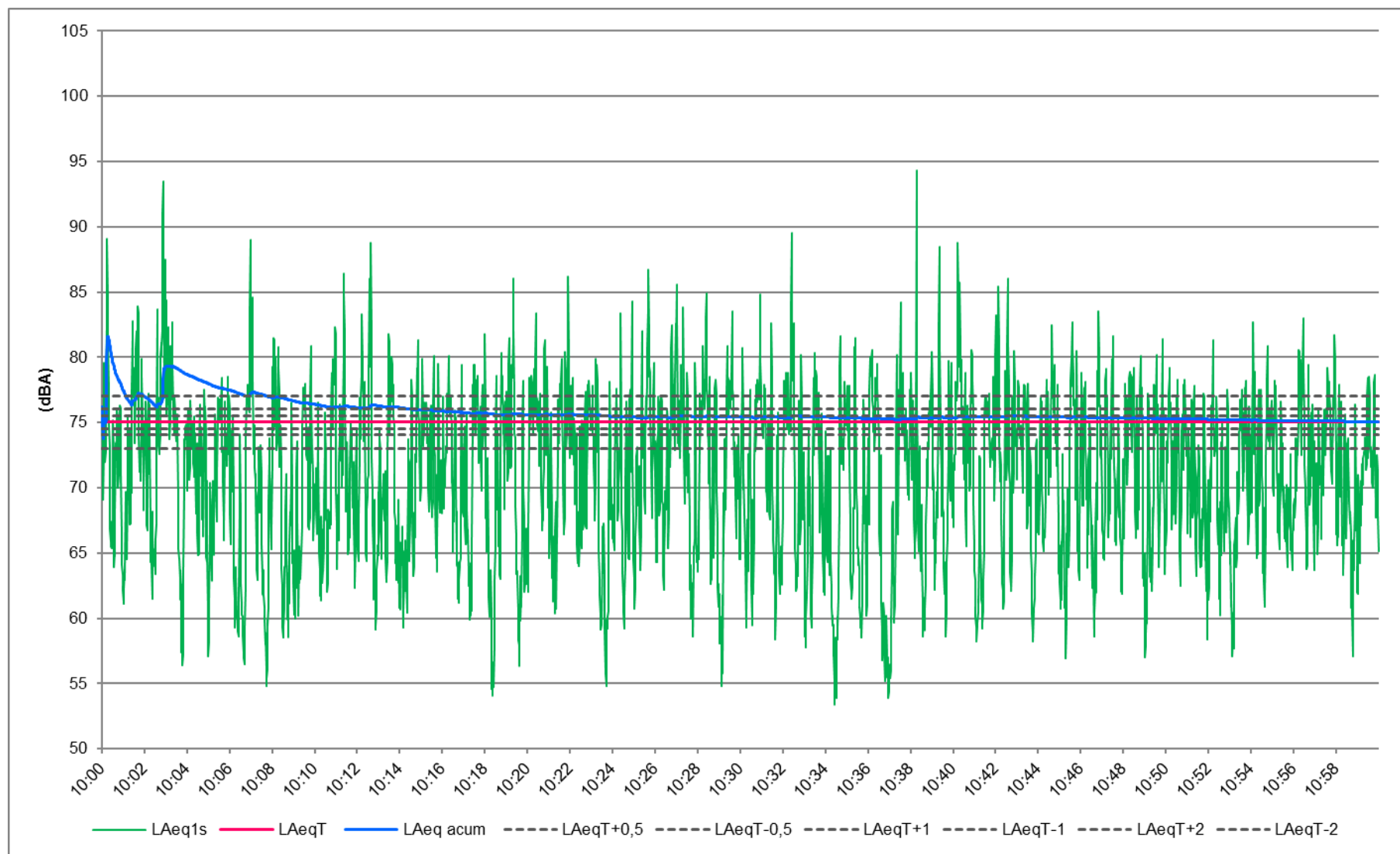


Figura 2-29 Tiempo de estabilización 1 hora, 10:30 h - P151111

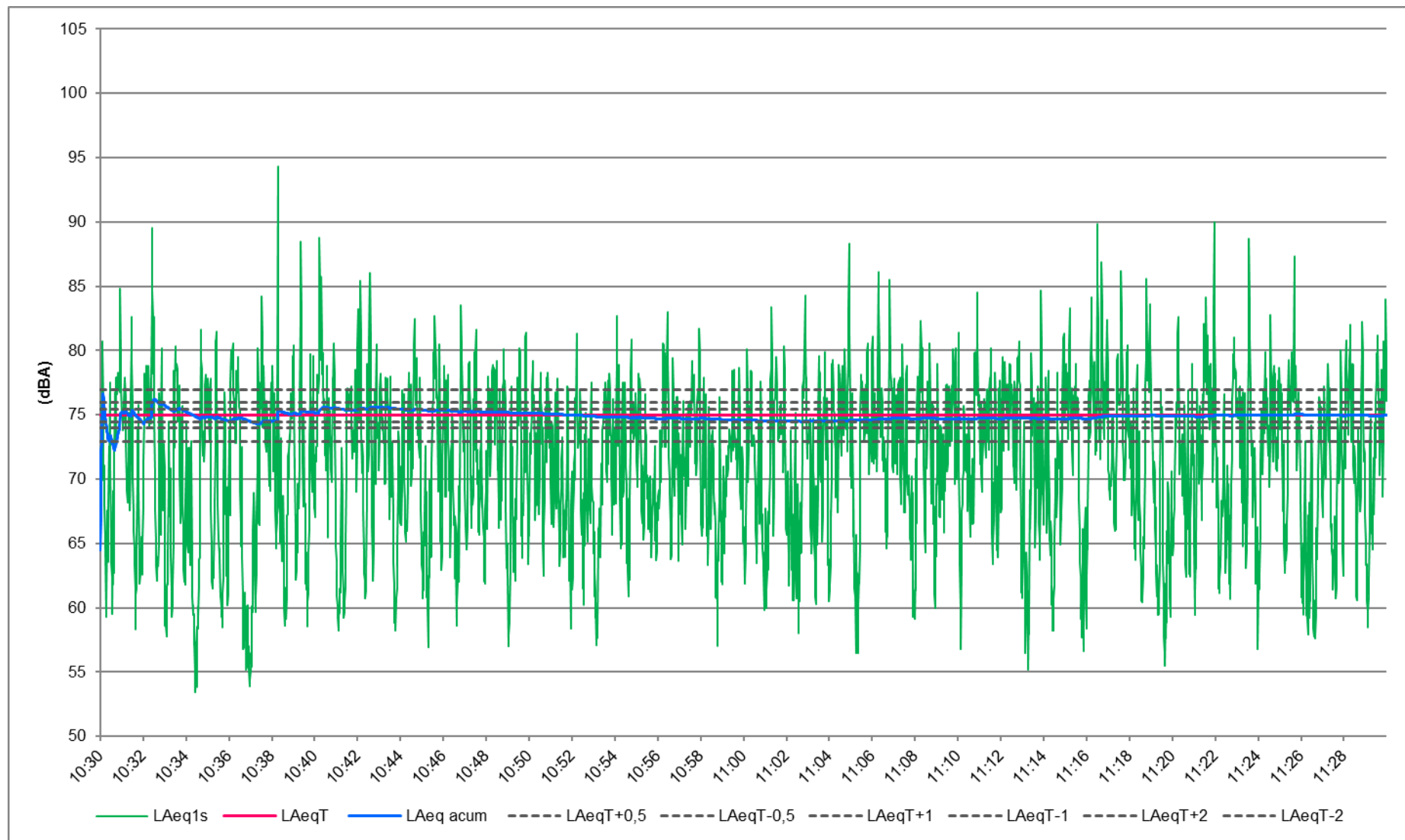


Figura 2-30 Tiempo de estabilización 1 hora, 11 h - P151111

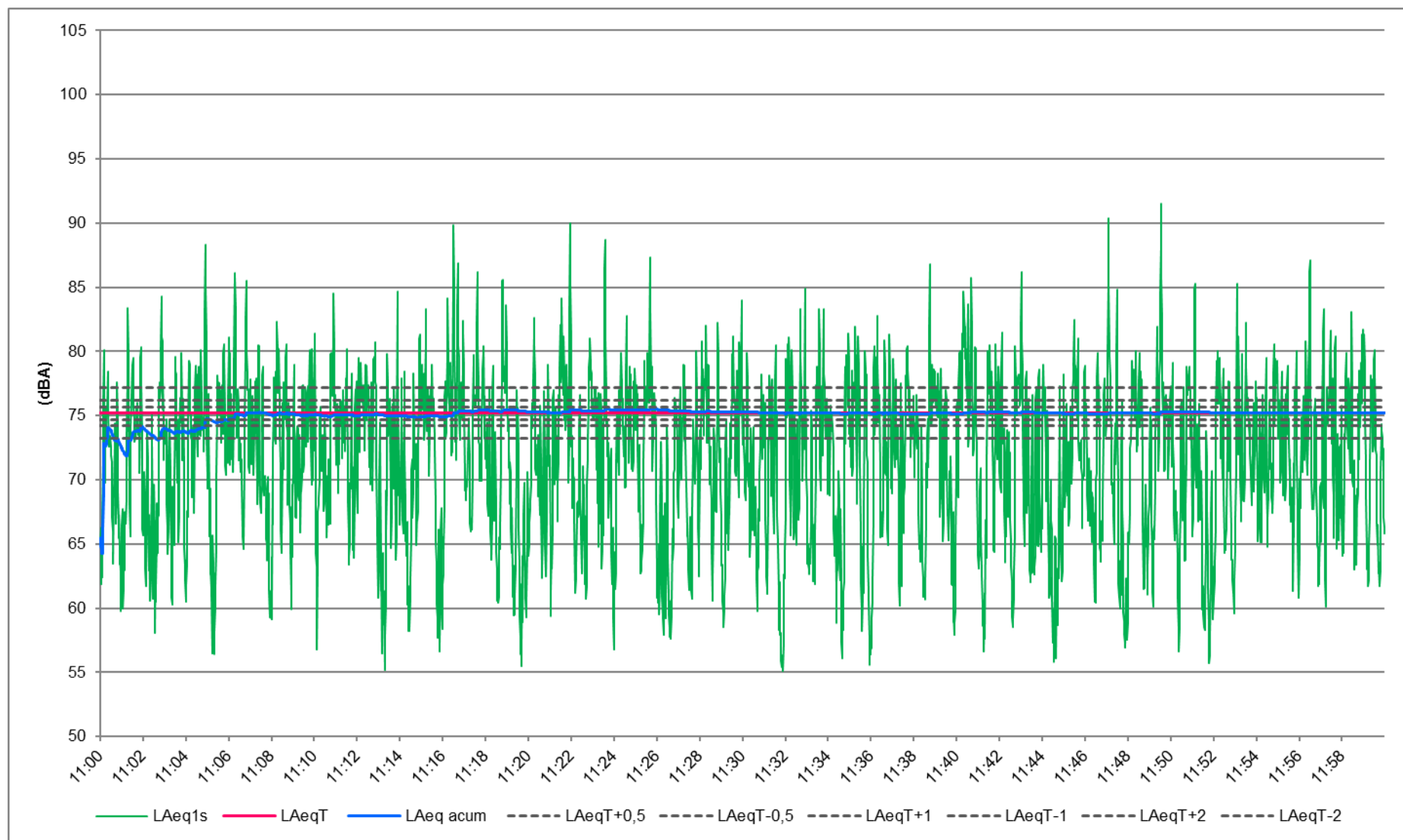


Figura 2-31 Tiempo de estabilización 1 hora, 11:30 h - P151111

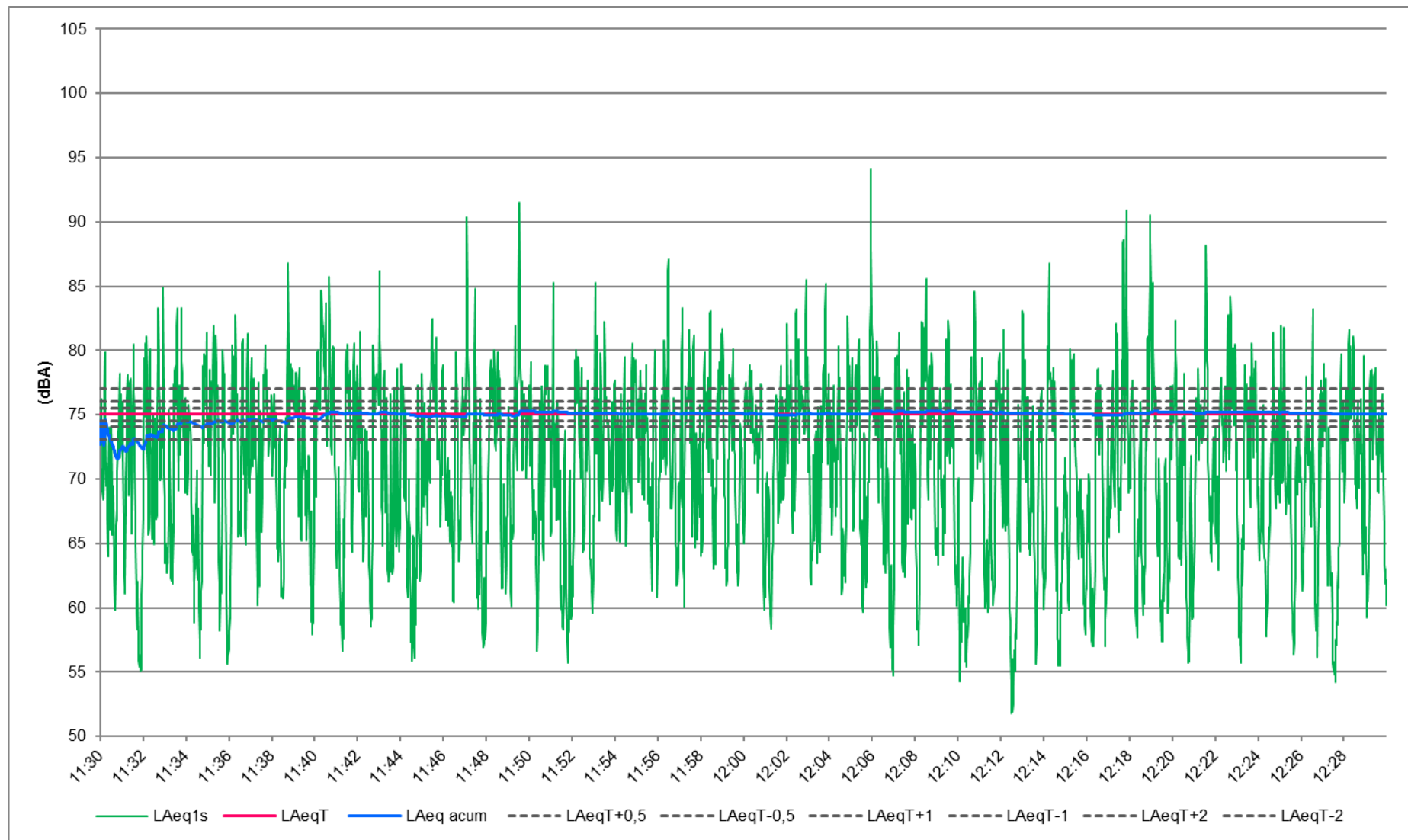


Figura 2-32 Tiempo de estabilización 1 hora, 12 h - P151111

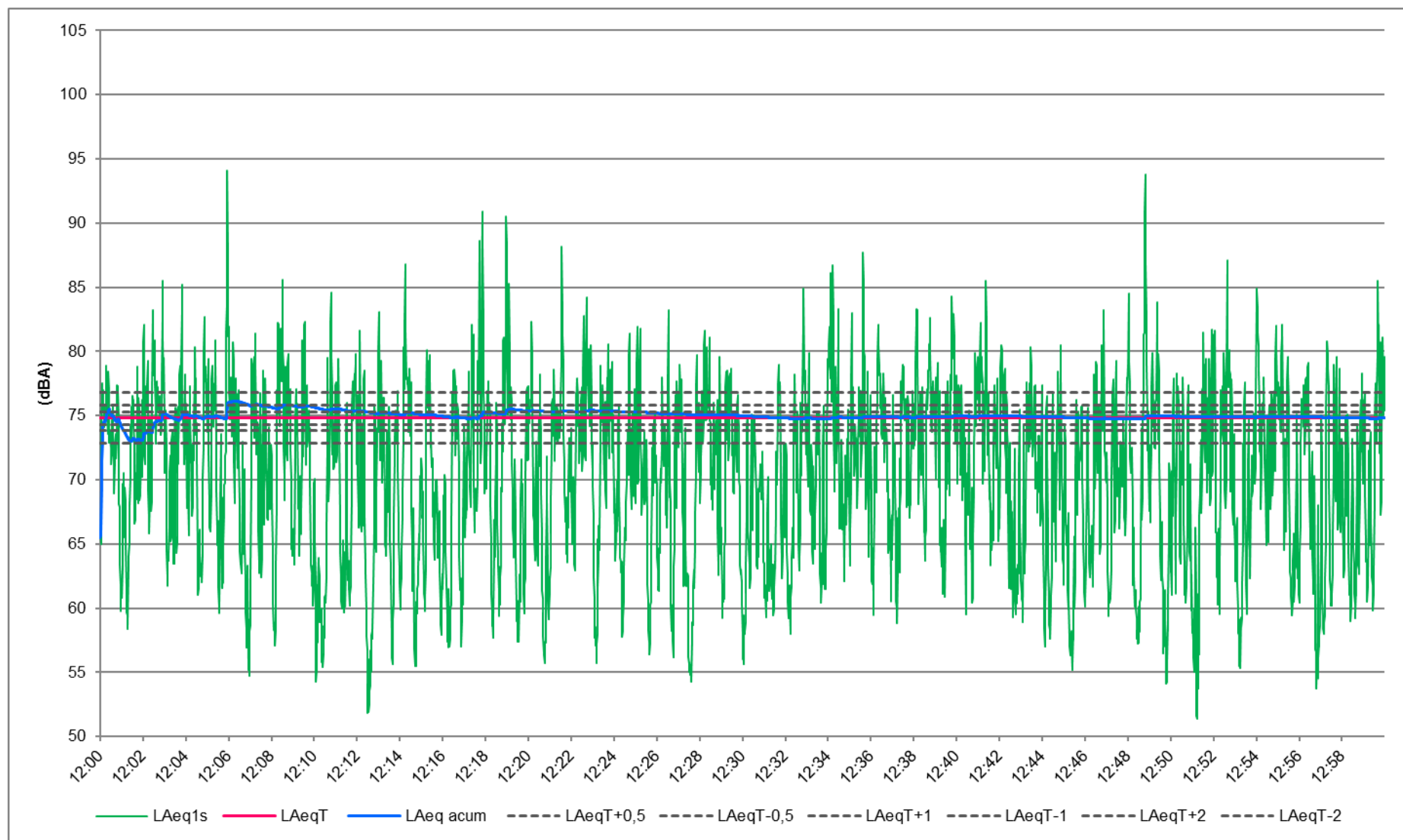


Figura 2-33 Tiempo de estabilización 1 hora, 12:30 h - P151111

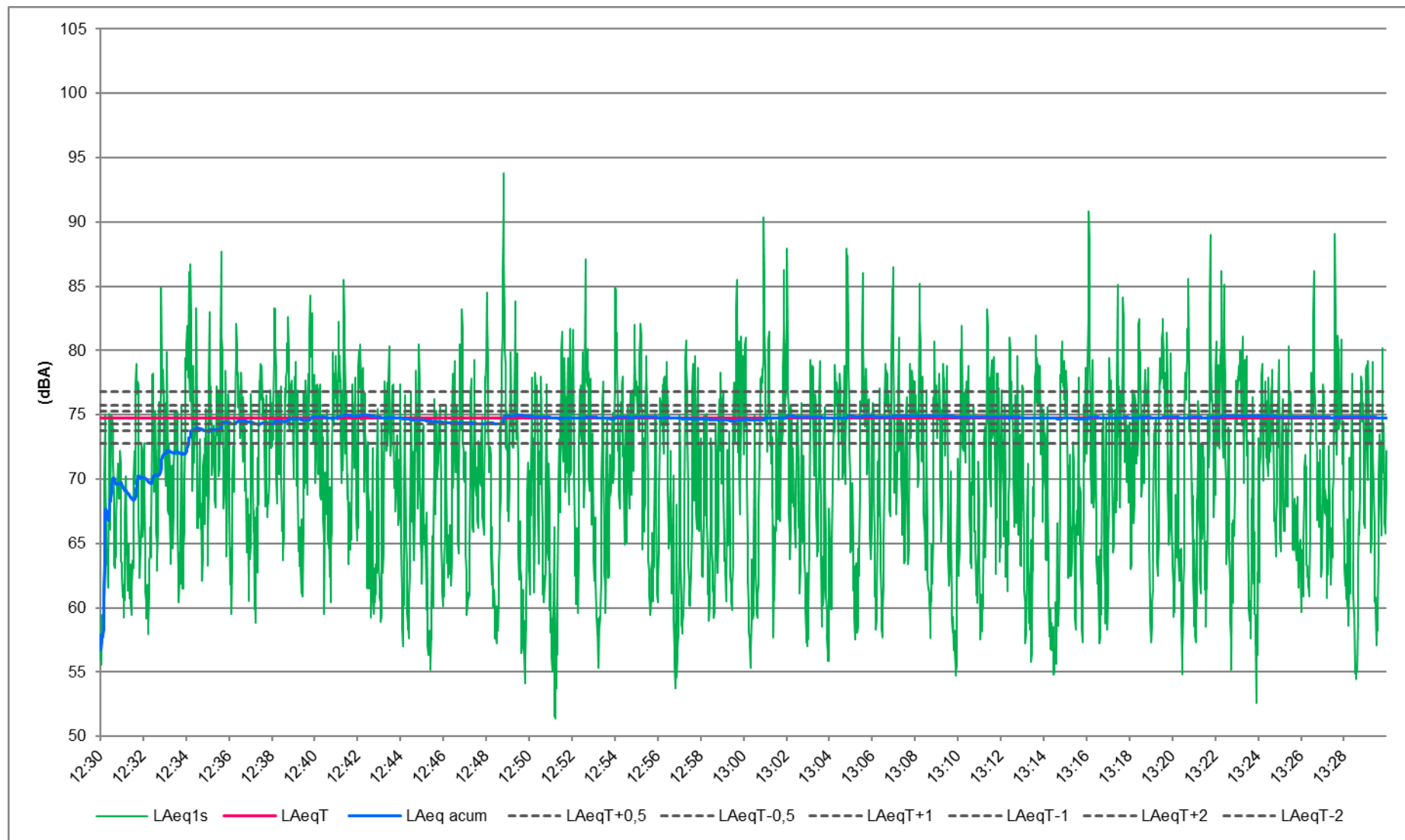


Figura 2-34 Tiempo de estabilización 1 hora, 13 h - P151111

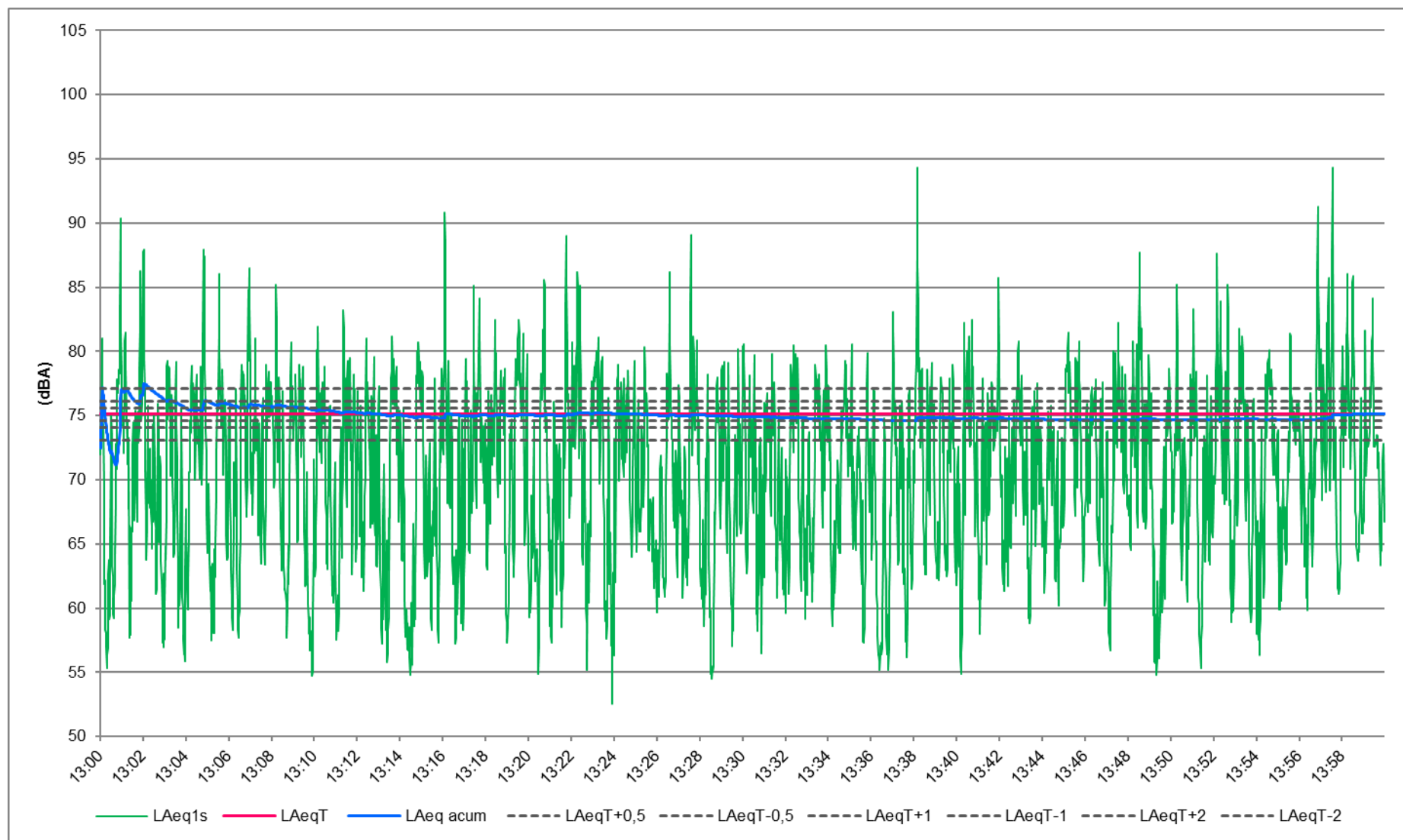


Figura 2-35 Tiempo de estabilización 1 hora, 13:30 h - P151111

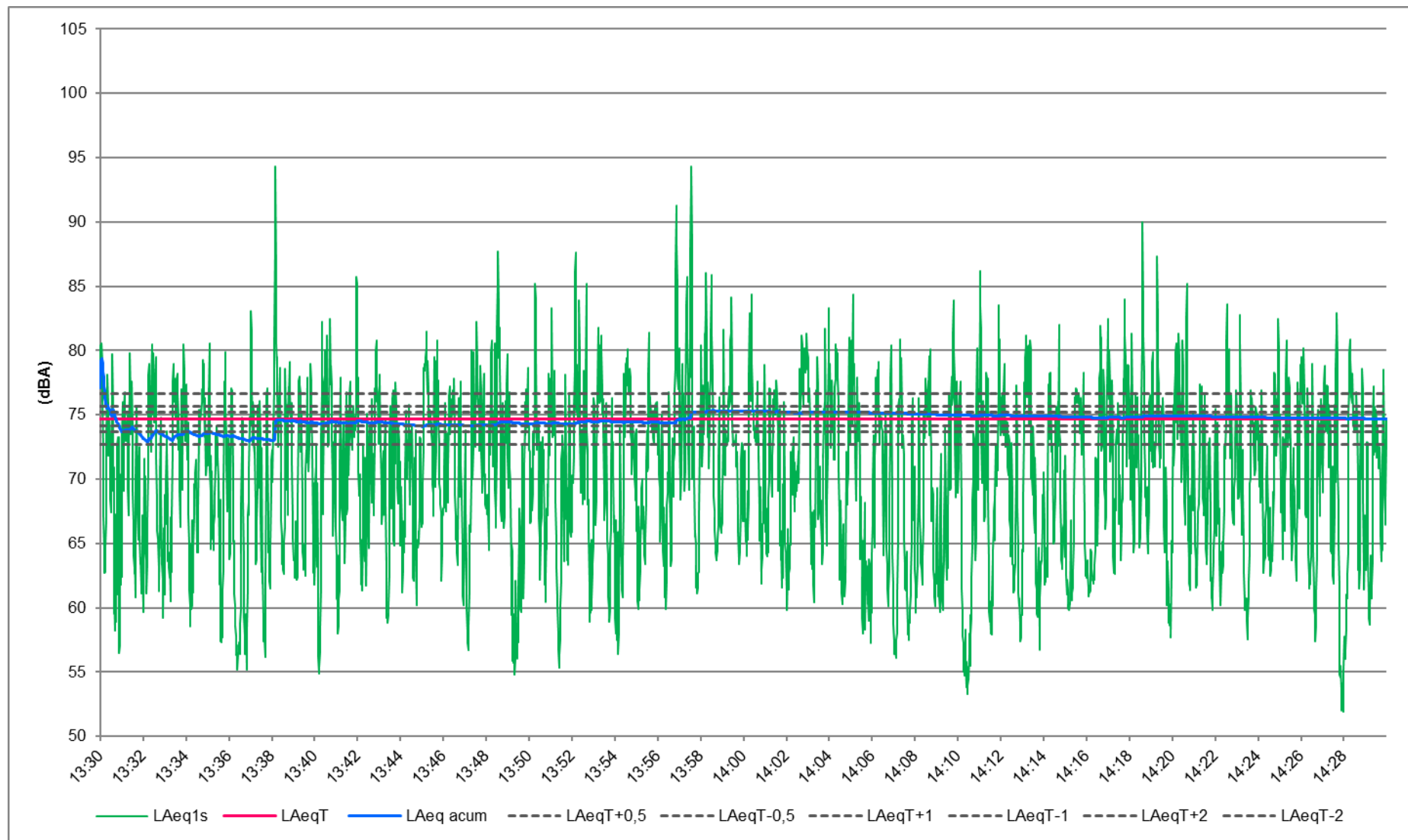


Figura 2-36 Tiempo de estabilización 1 hora, 14 h - P151111

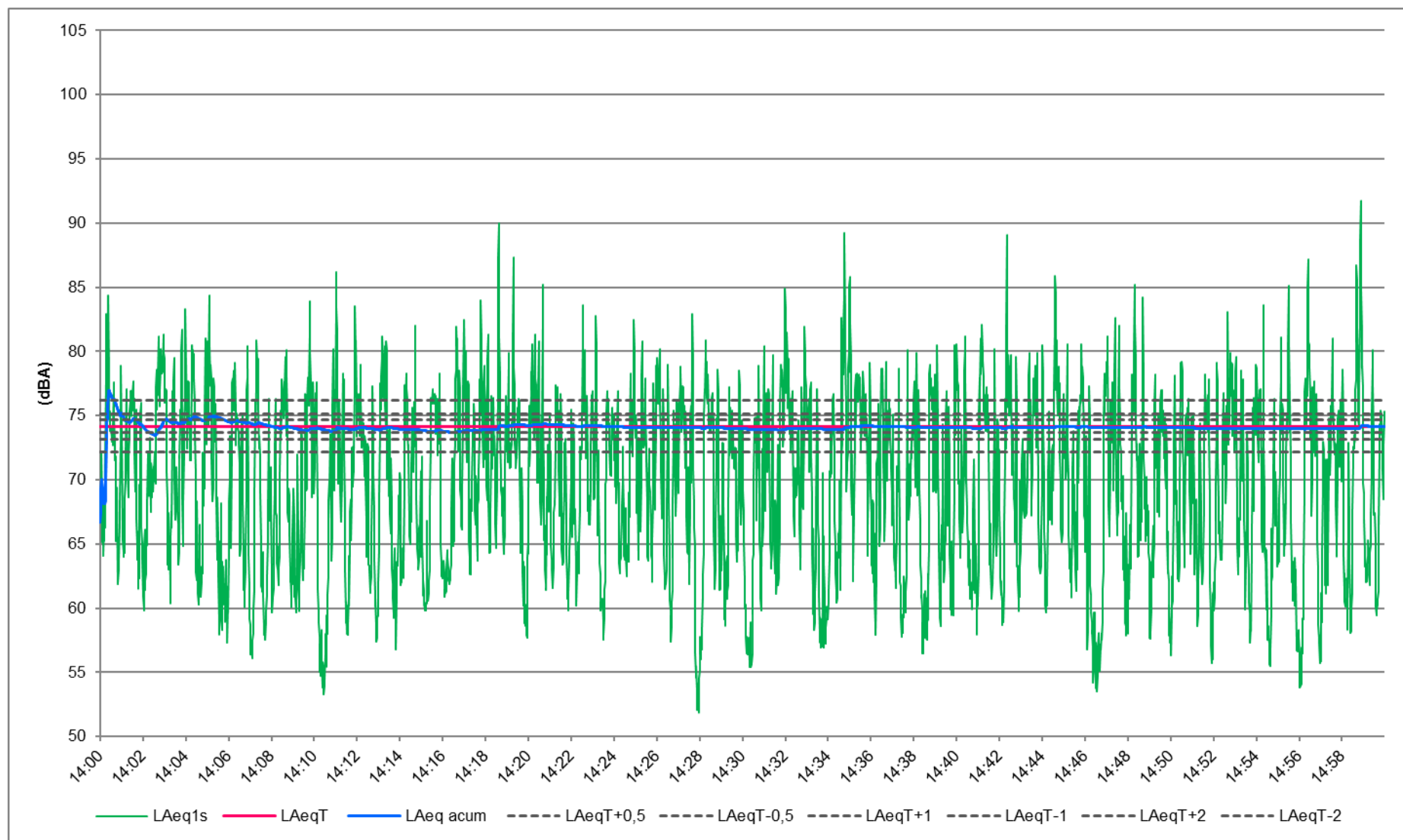


Figura 2-37 Tiempo de estabilización 1 hora, 14:30 h - P151111

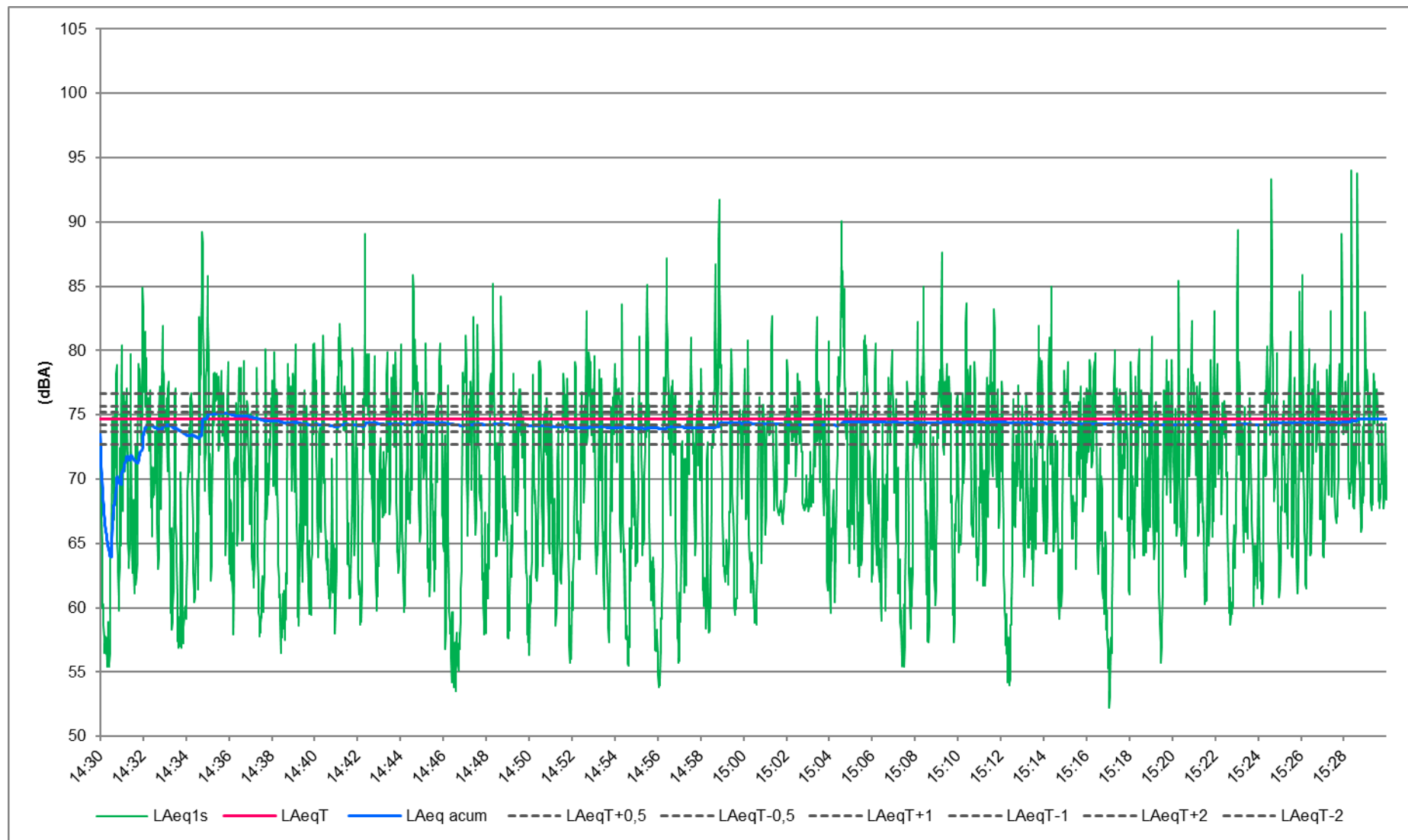


Figura 2-38 Tiempo de estabilización 1 hora, 15 h - P151111

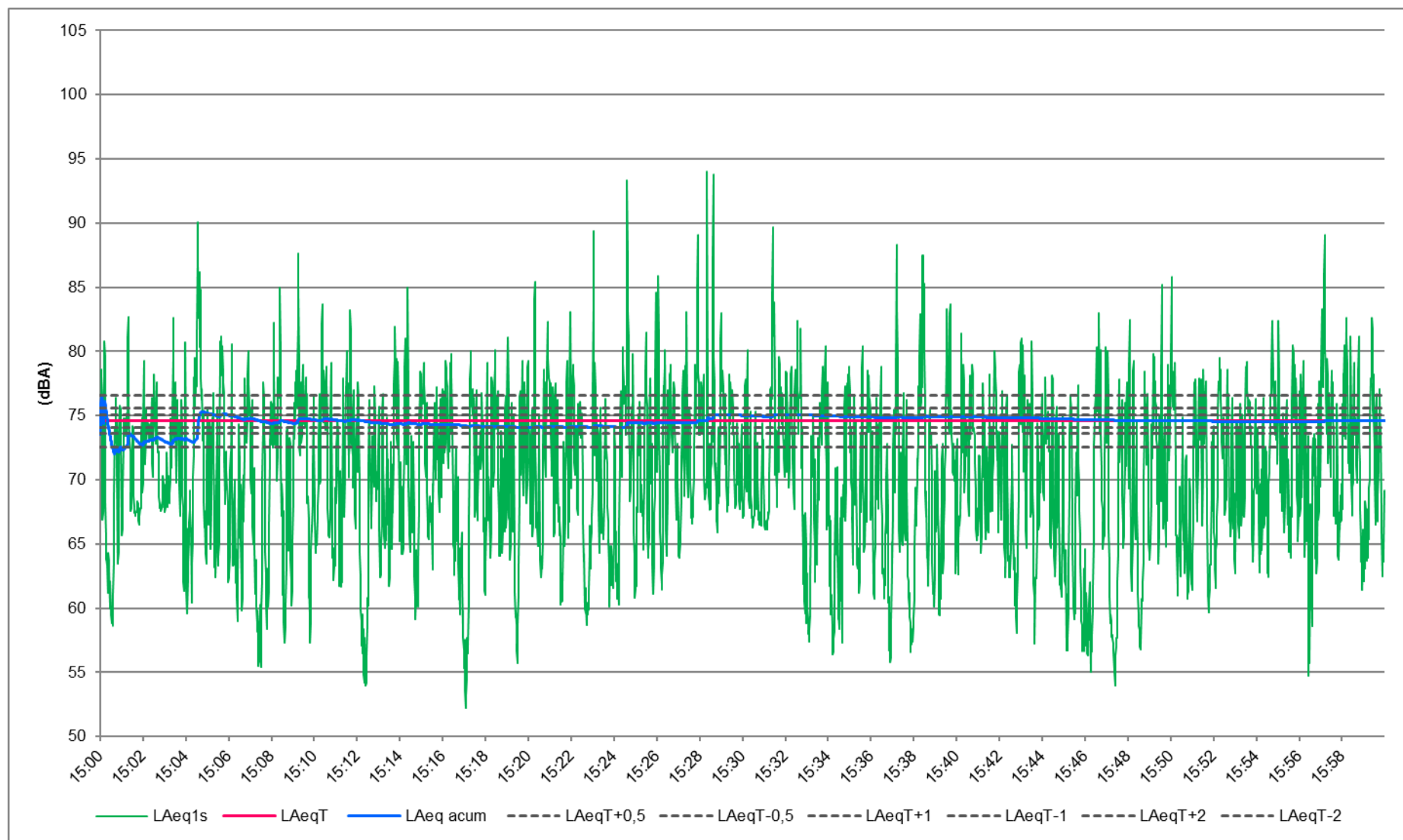


Figura 2-39 Tiempo de estabilización 1 hora, 15:30 h - P151111

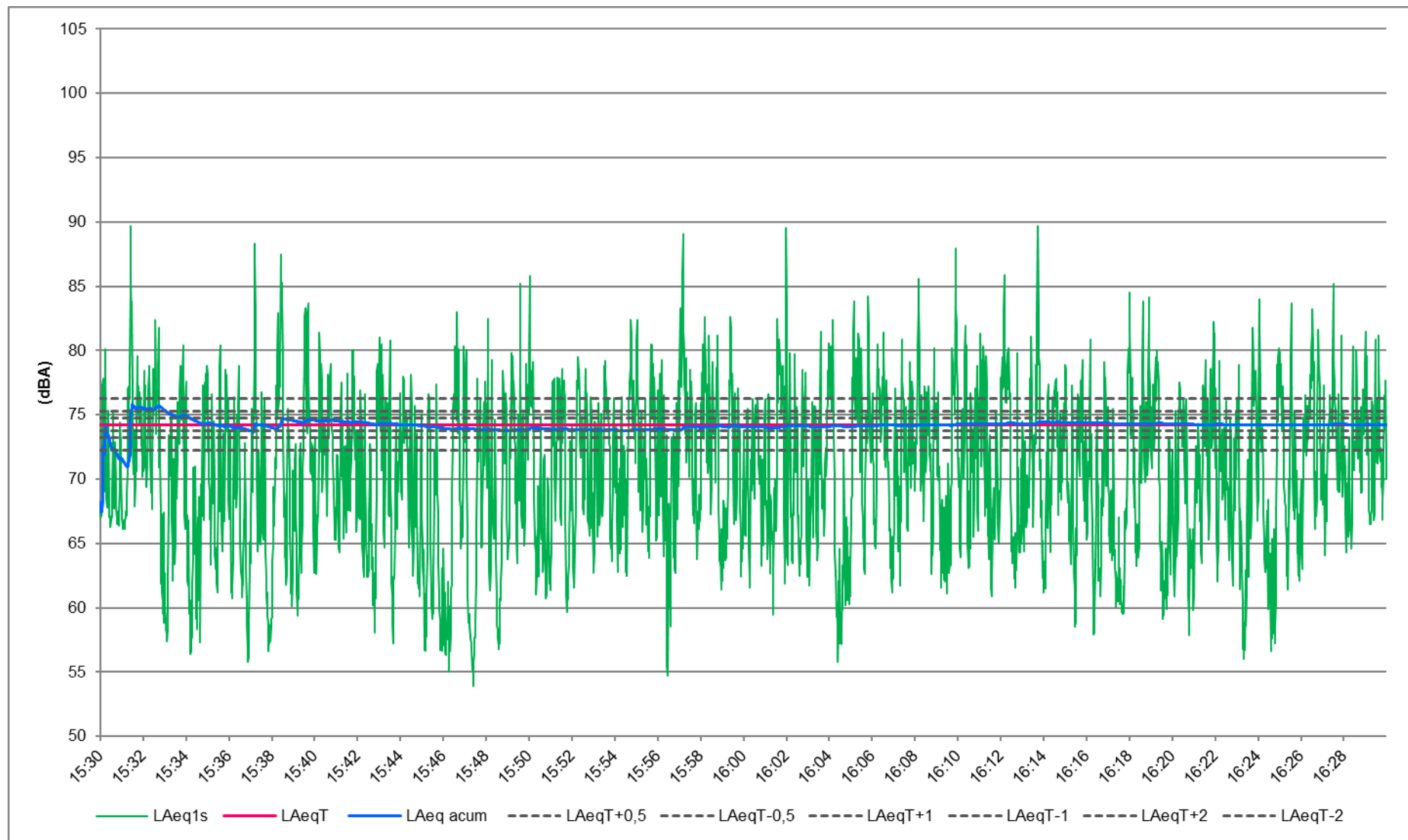


Figura 2-40 Tiempo de estabilización 1 hora, 16 h - P151111

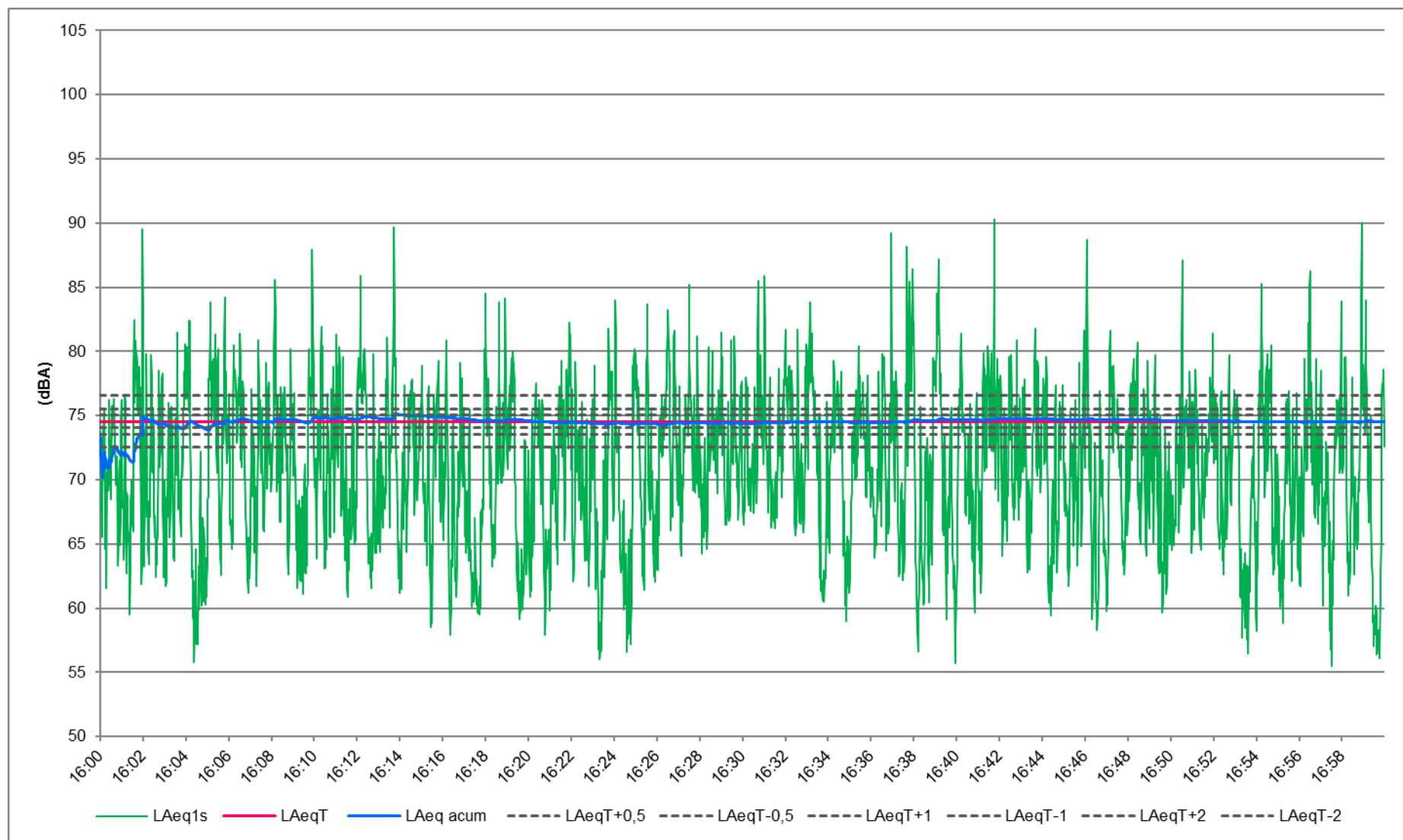


Figura 2-41 Tiempo de estabilización 1 hora, 16:30 h - P151111

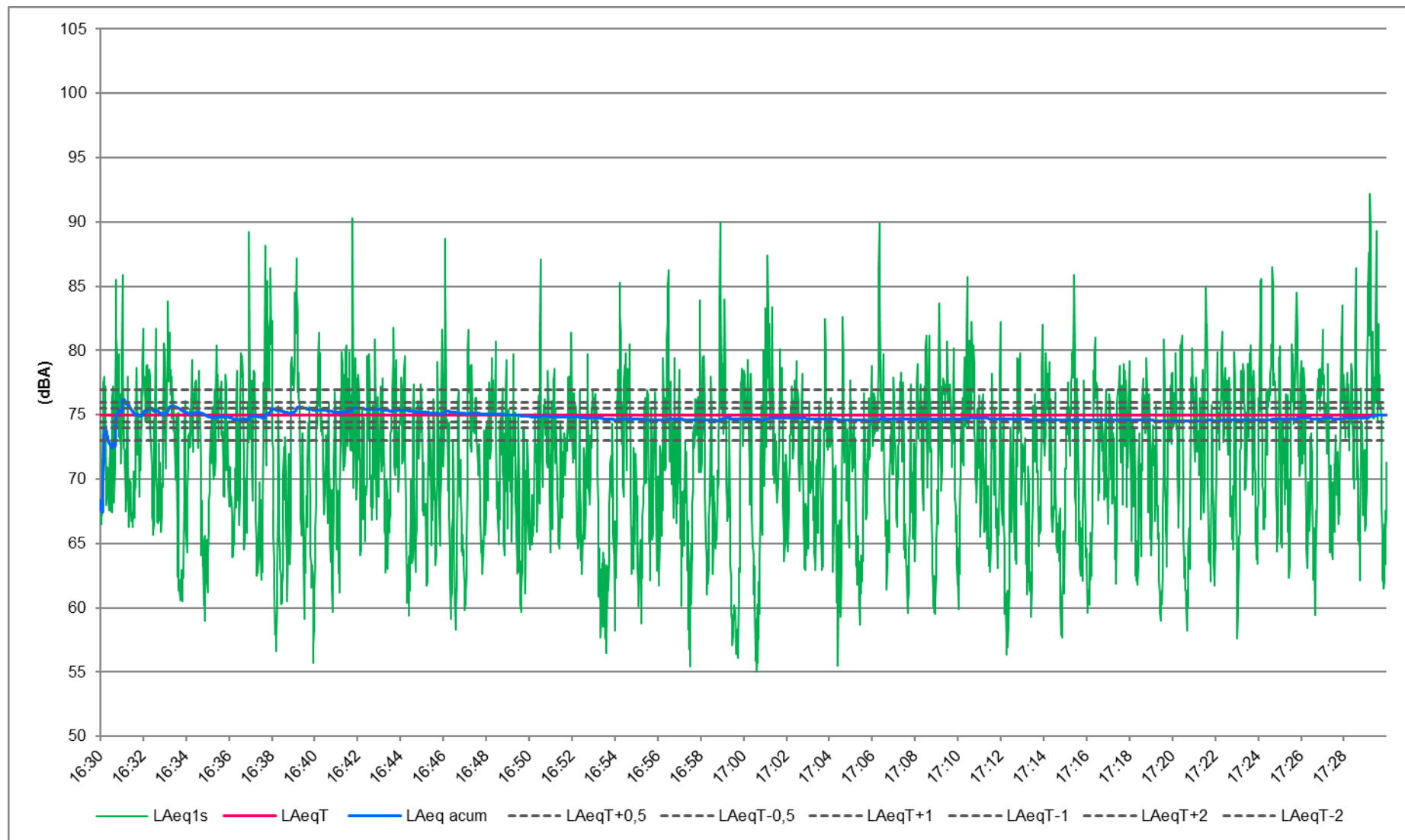


Figura 2-42 Tiempo de estabilización 1 hora, 17 h - P151111

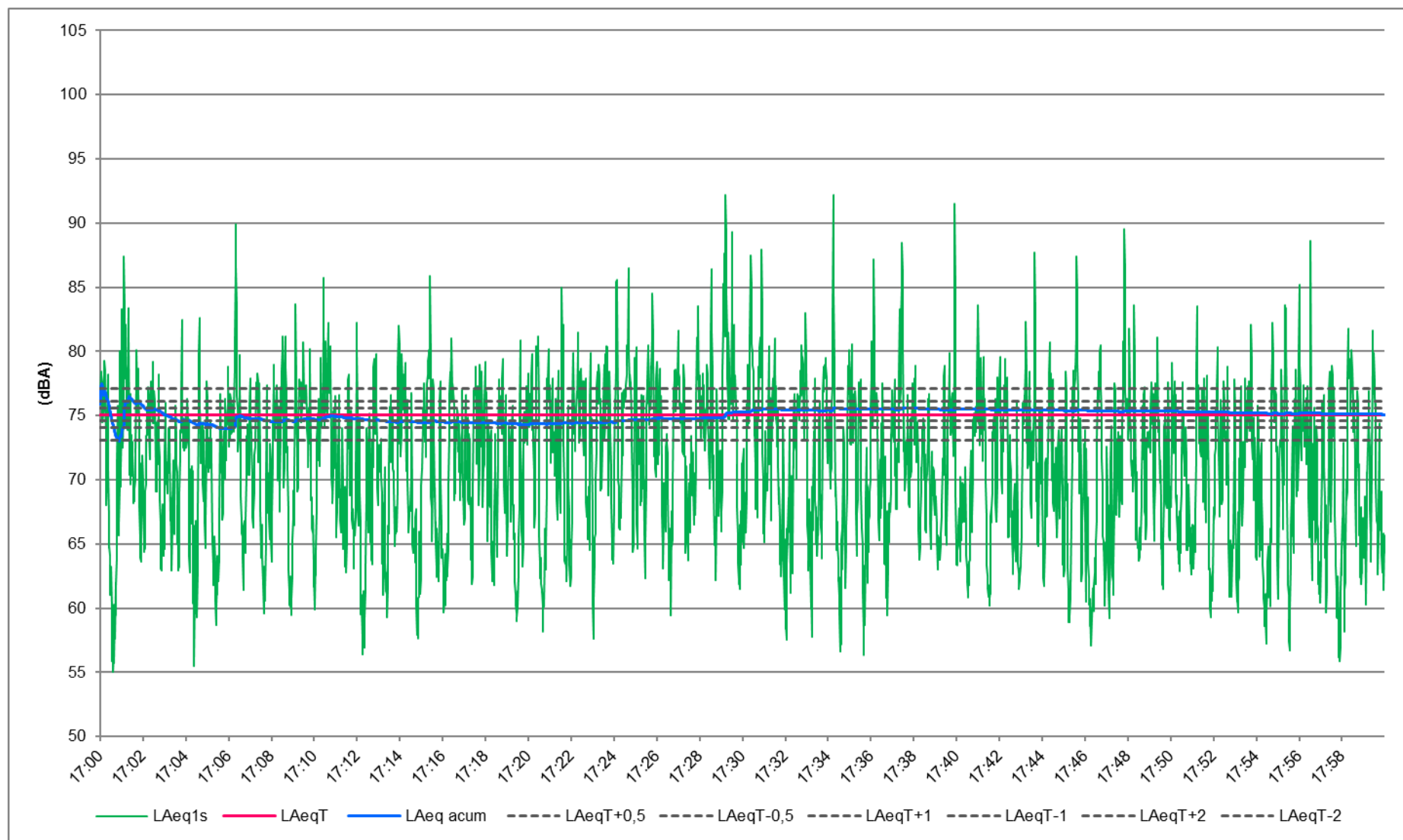


Figura 2-43 Tiempo de estabilización 1 hora, 17:30 h - P151111

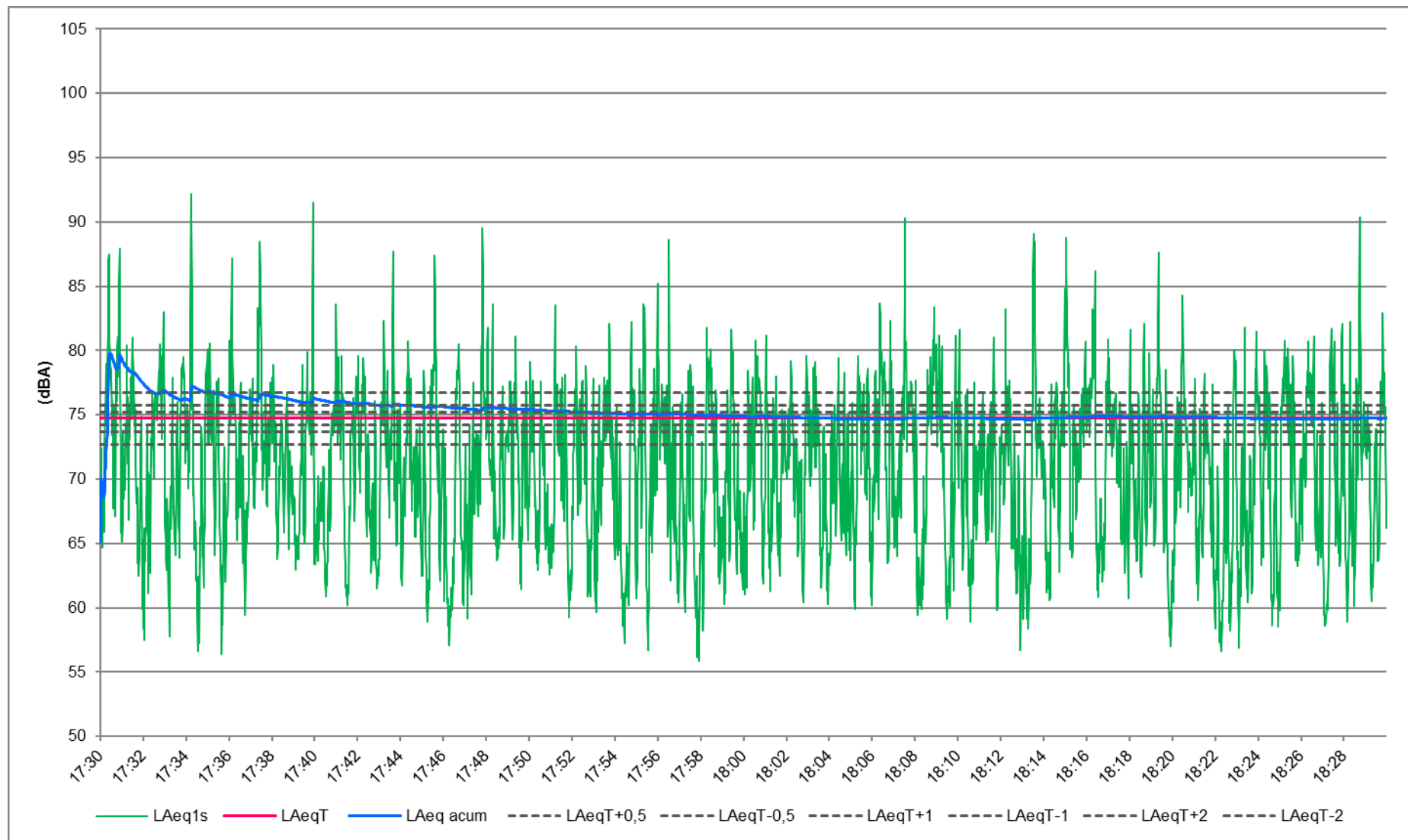


Figura 2-44 Tiempo de estabilización 1 hora, 18 h - P151111

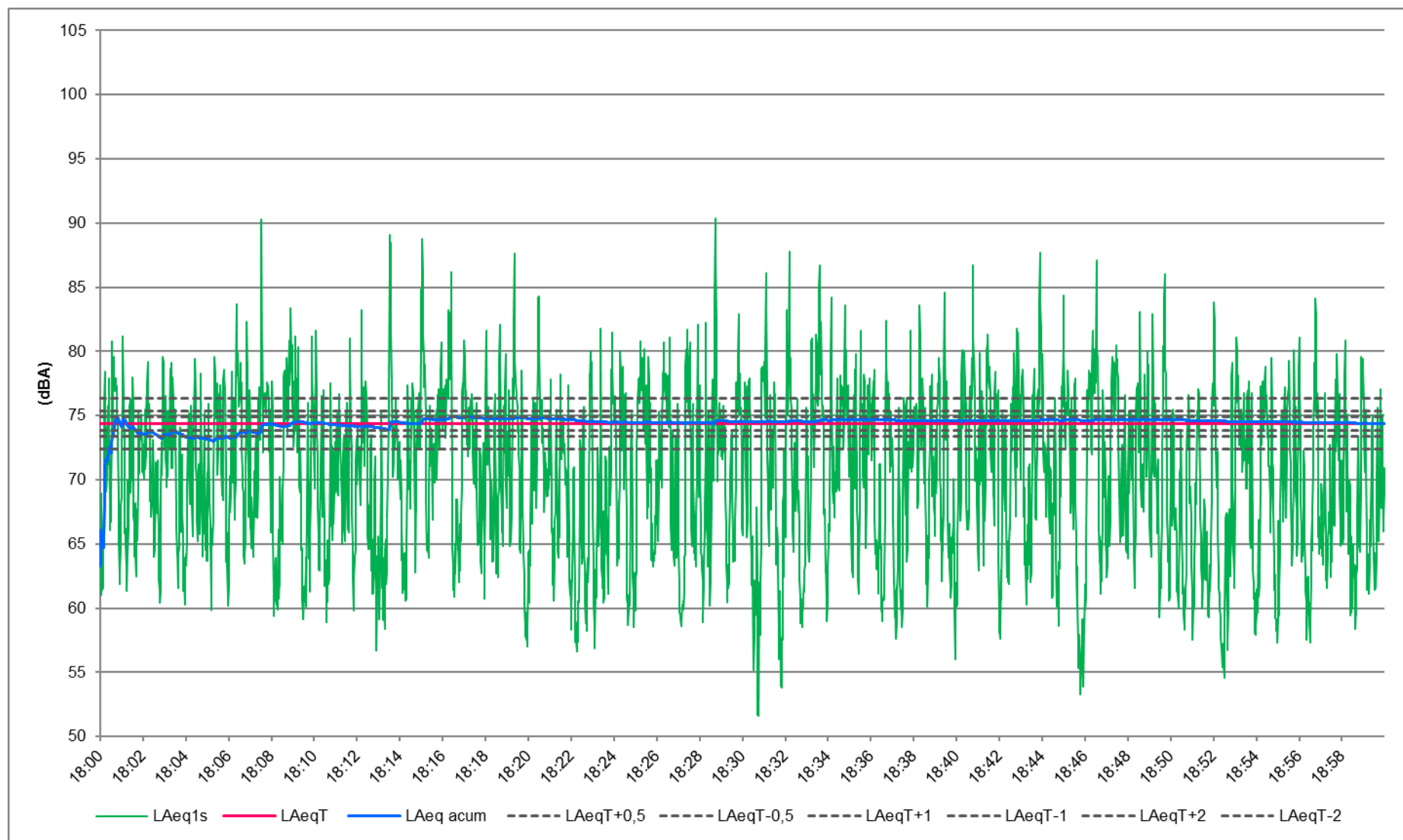


Figura 2-45 Tiempo de estabilización 1 hora, 18:30 h - P151111

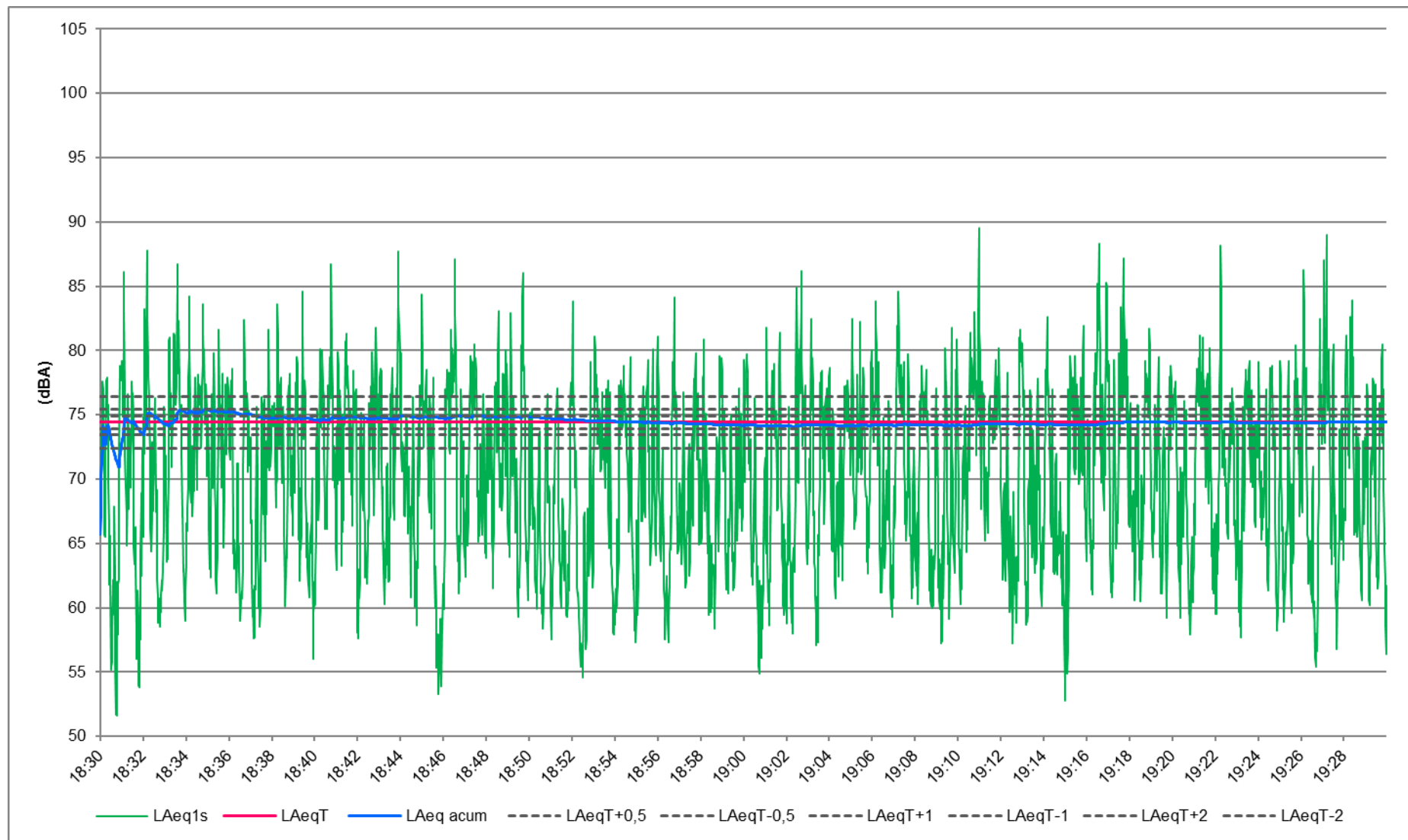


Figura 2-46 Tiempo de estabilización 1 hora, 19 h - P151111

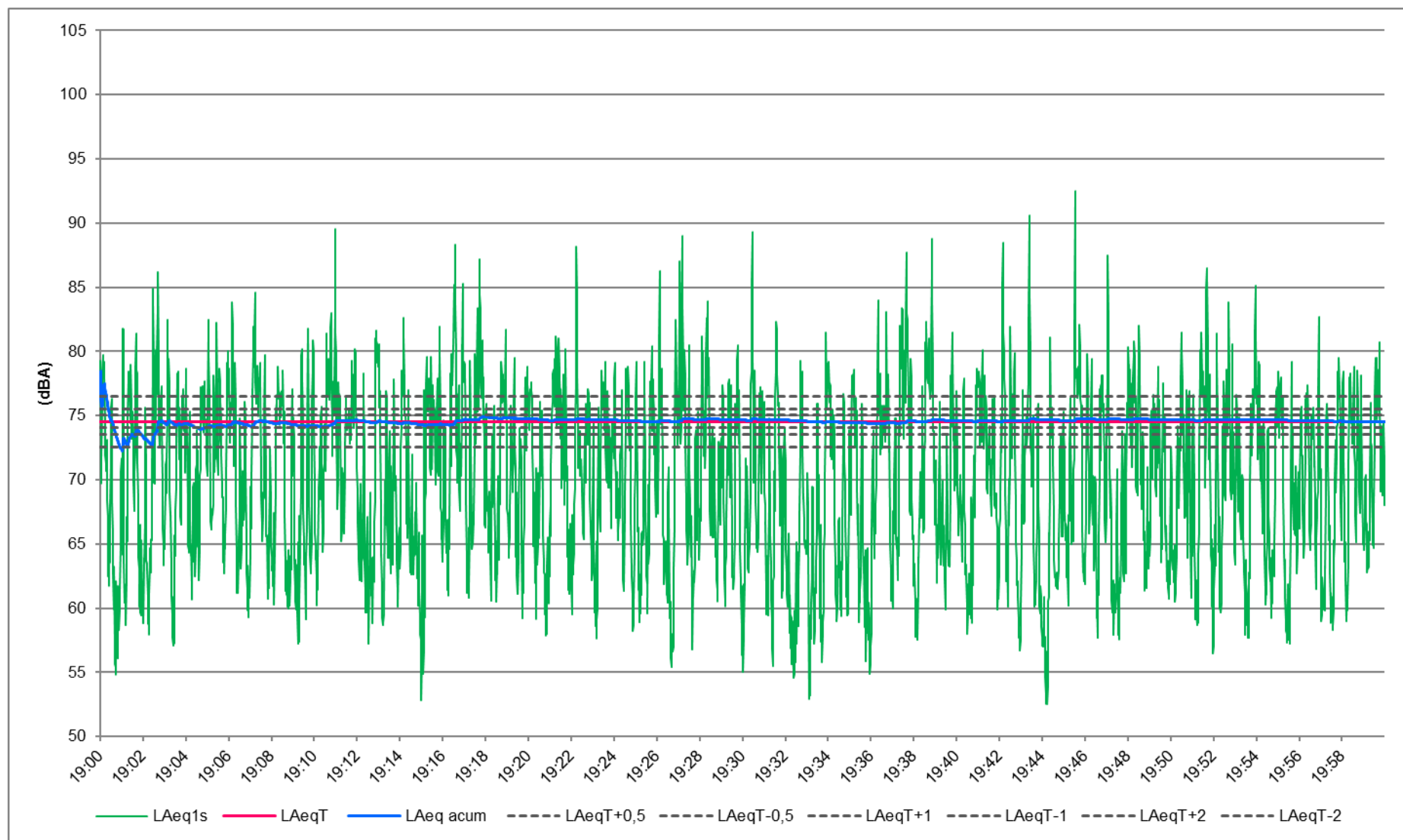


Figura 2-47 Tiempo de estabilización 1 hora, 8 h - P151116

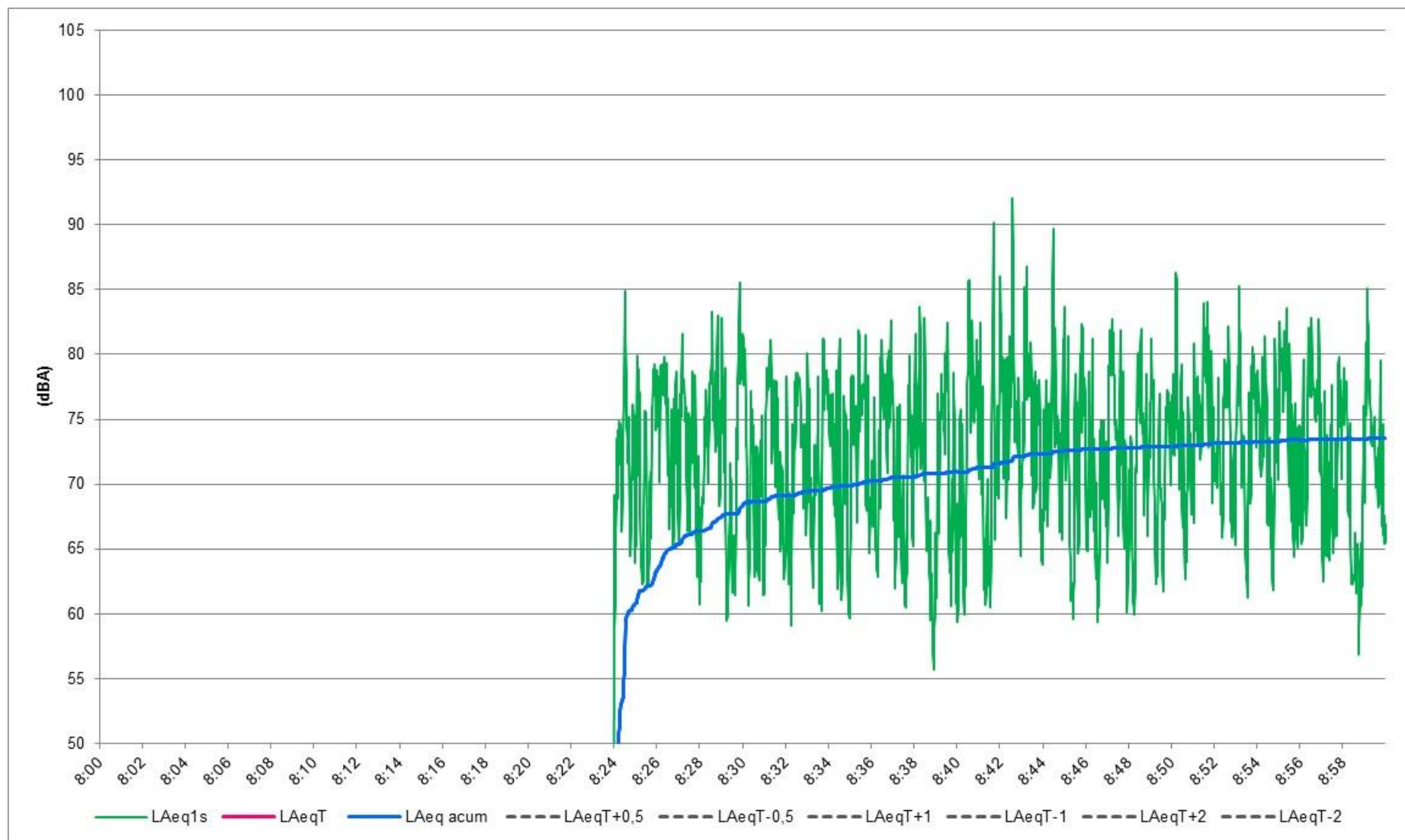


Figura 2-48 Tiempo de estabilización 1 hora, 8:30 h - P151116

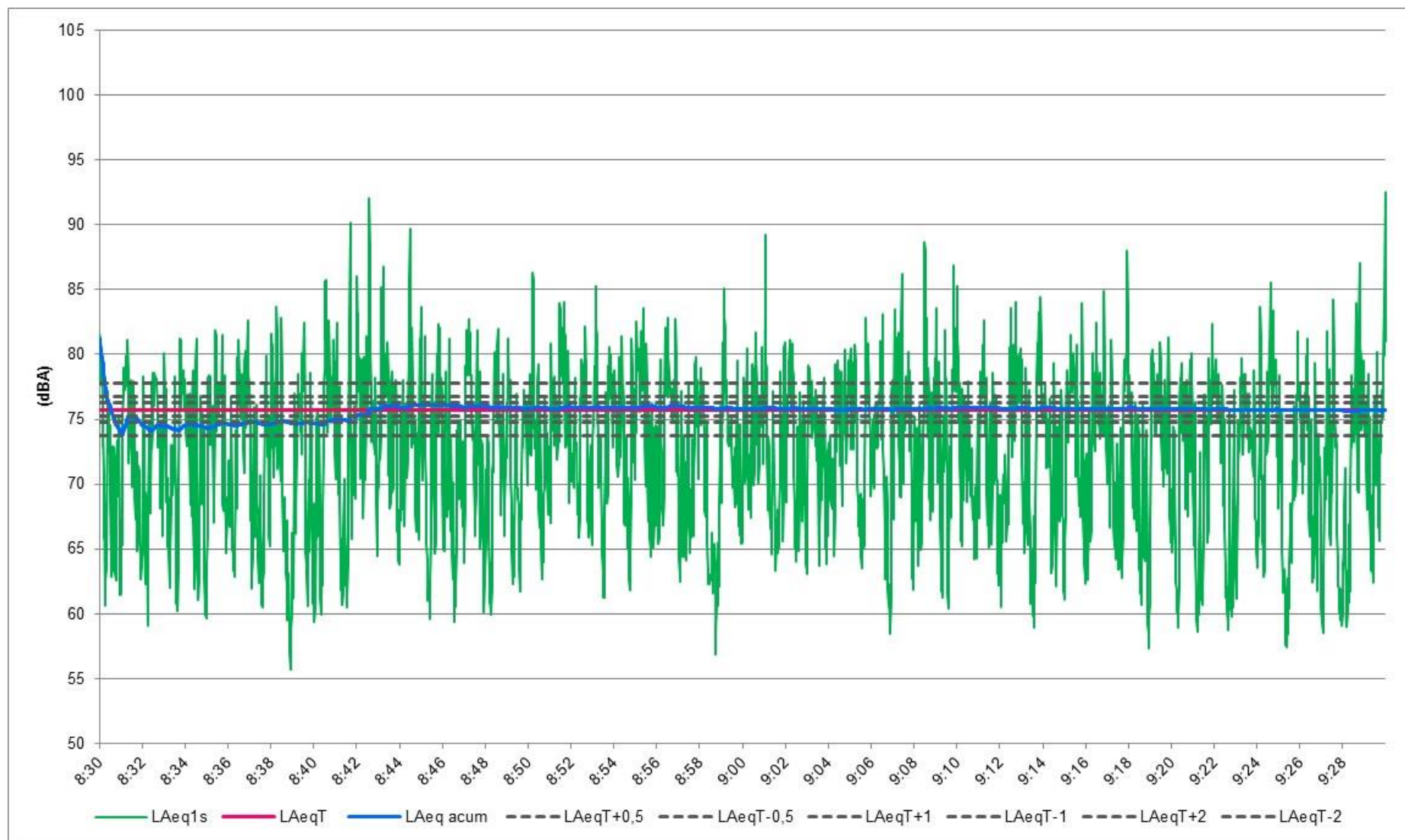


Figura 2-49 Tiempo de estabilización 1 hora, 9 h - P151116

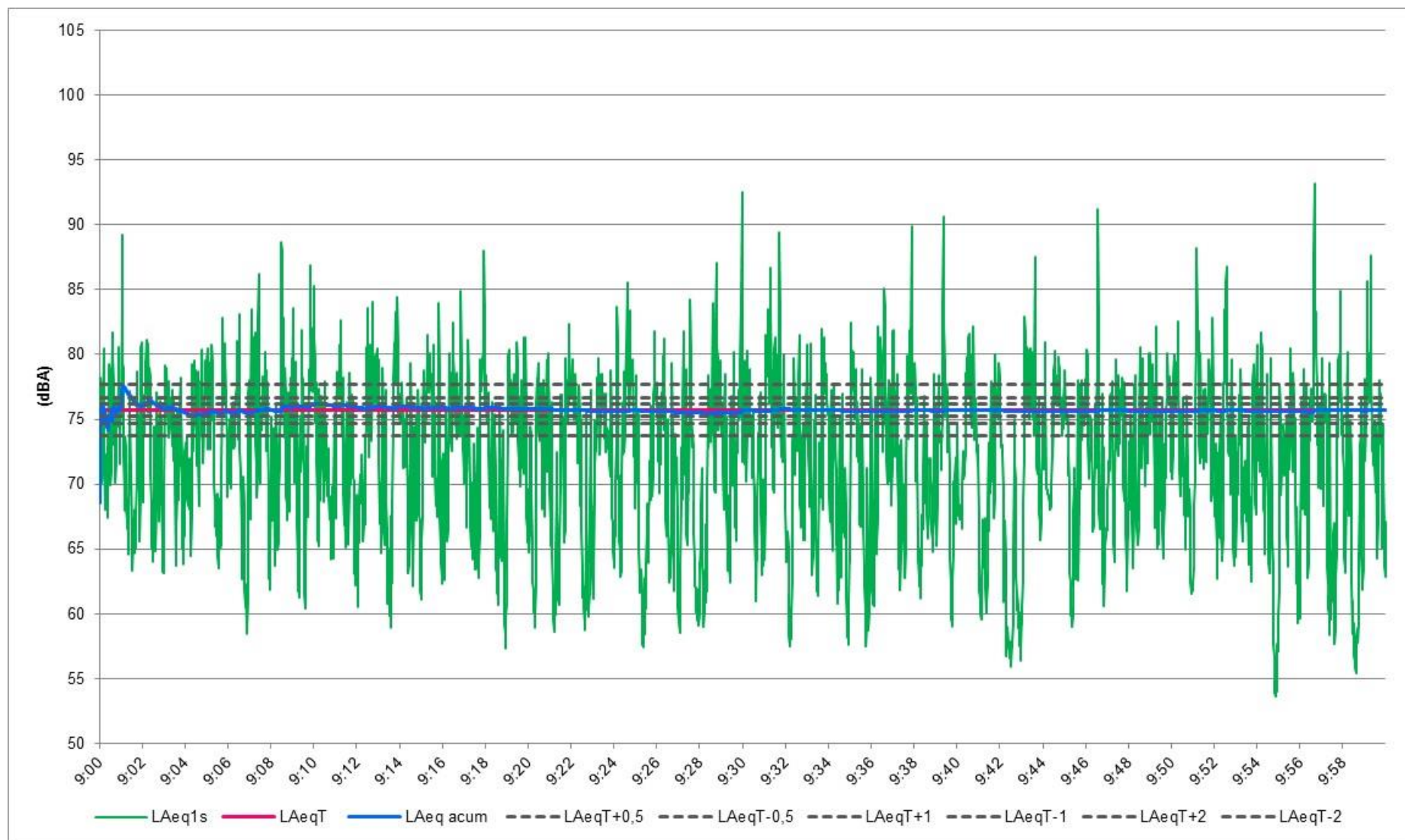


Figura 2-50 Tiempo de estabilización 1 hora, 9:30 h - P151116

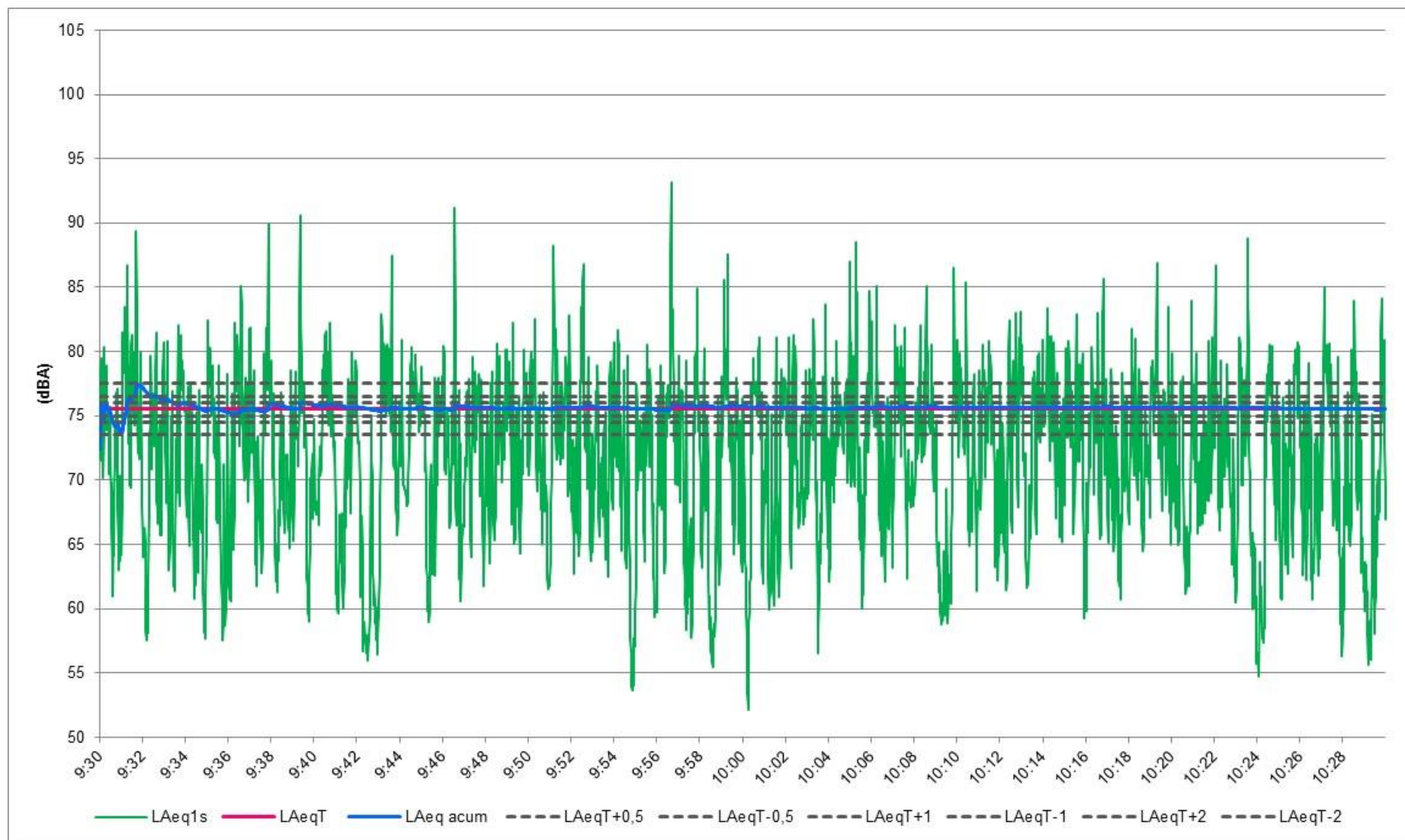


Figura 2-51 Tiempo de estabilización 1 hora, 10 h - P151116

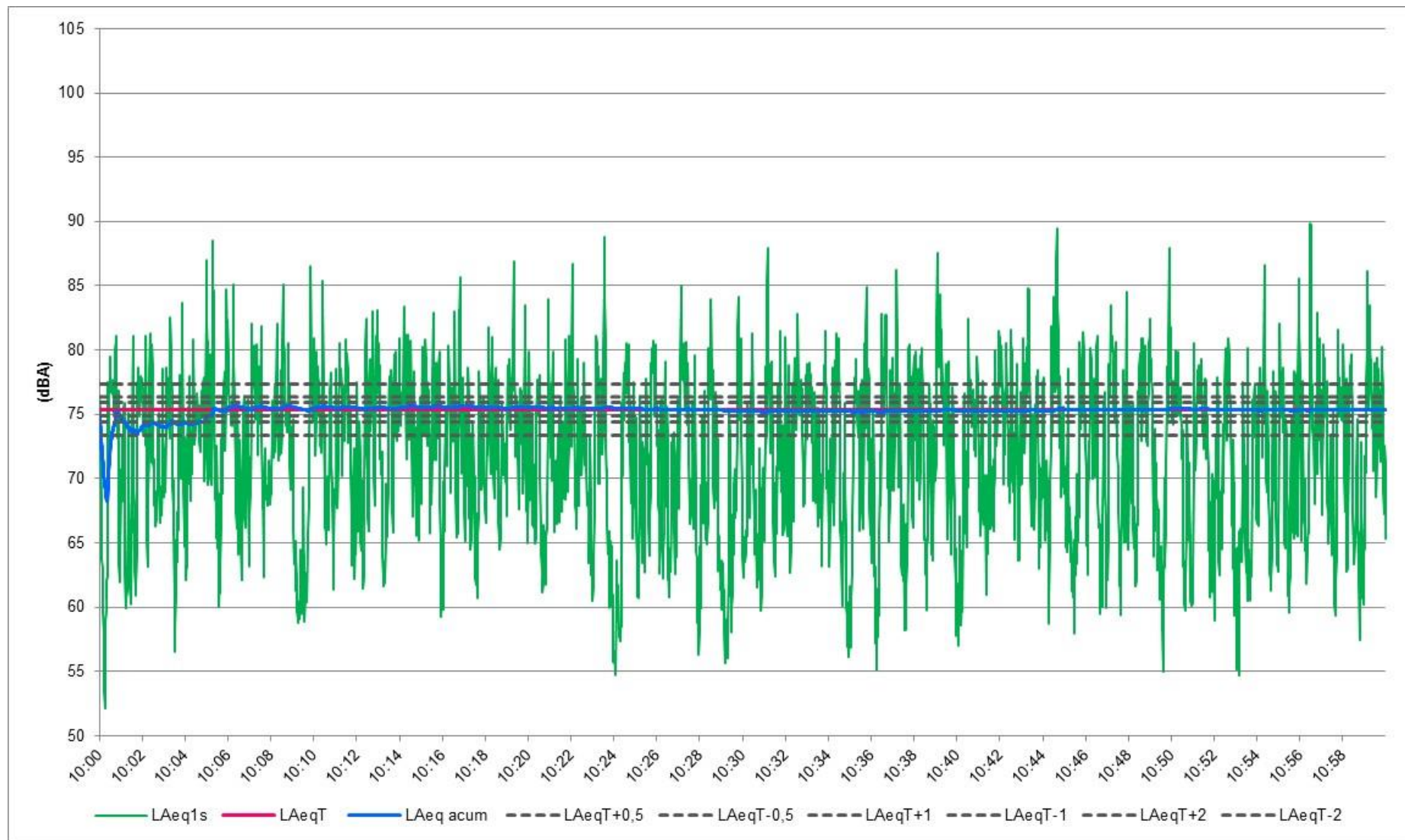


Figura 2-52 Tiempo de estabilización 1 hora, 10:30 h - P151116

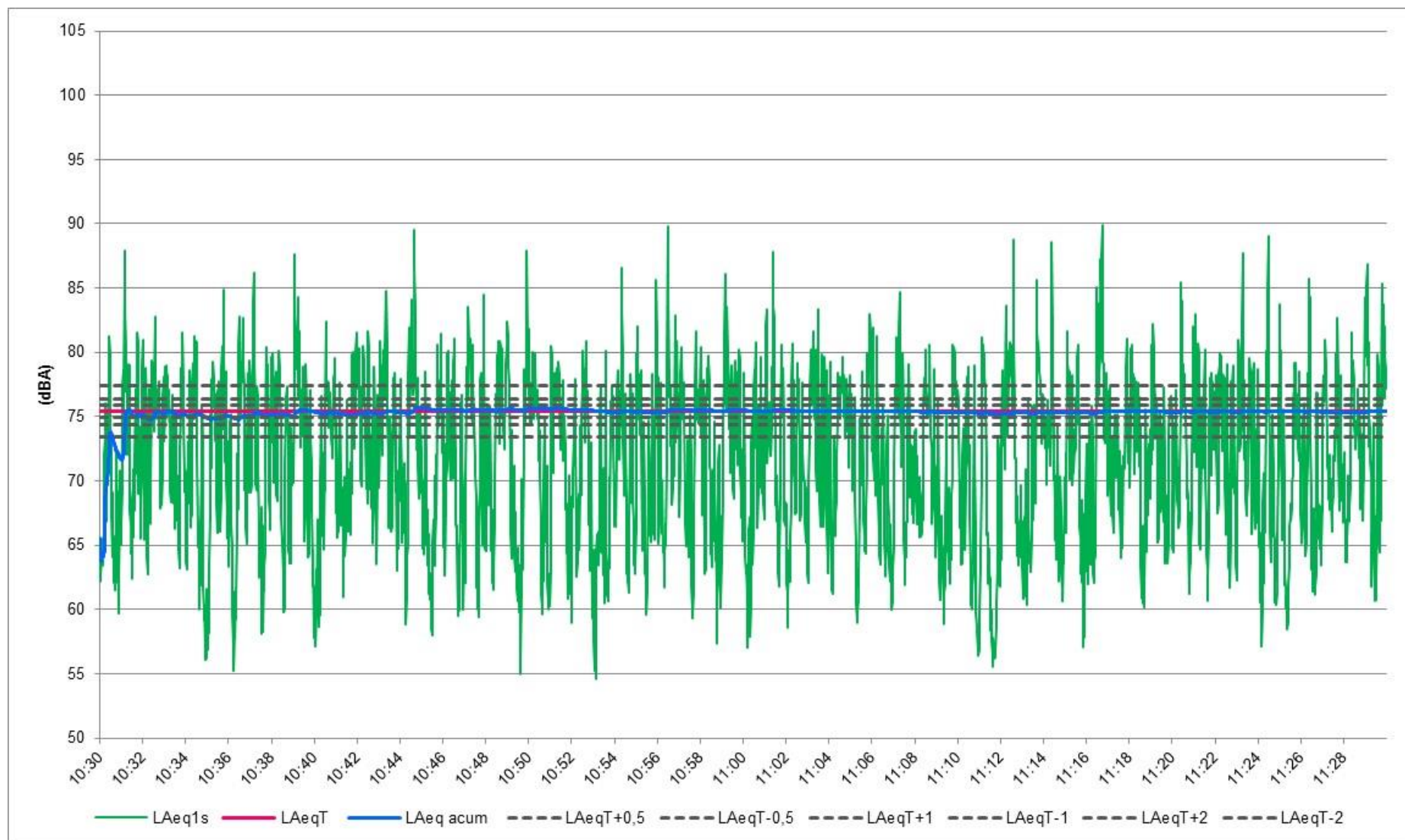


Figura 2-53 Tiempo de estabilización 1 hora, 11 h - P151116

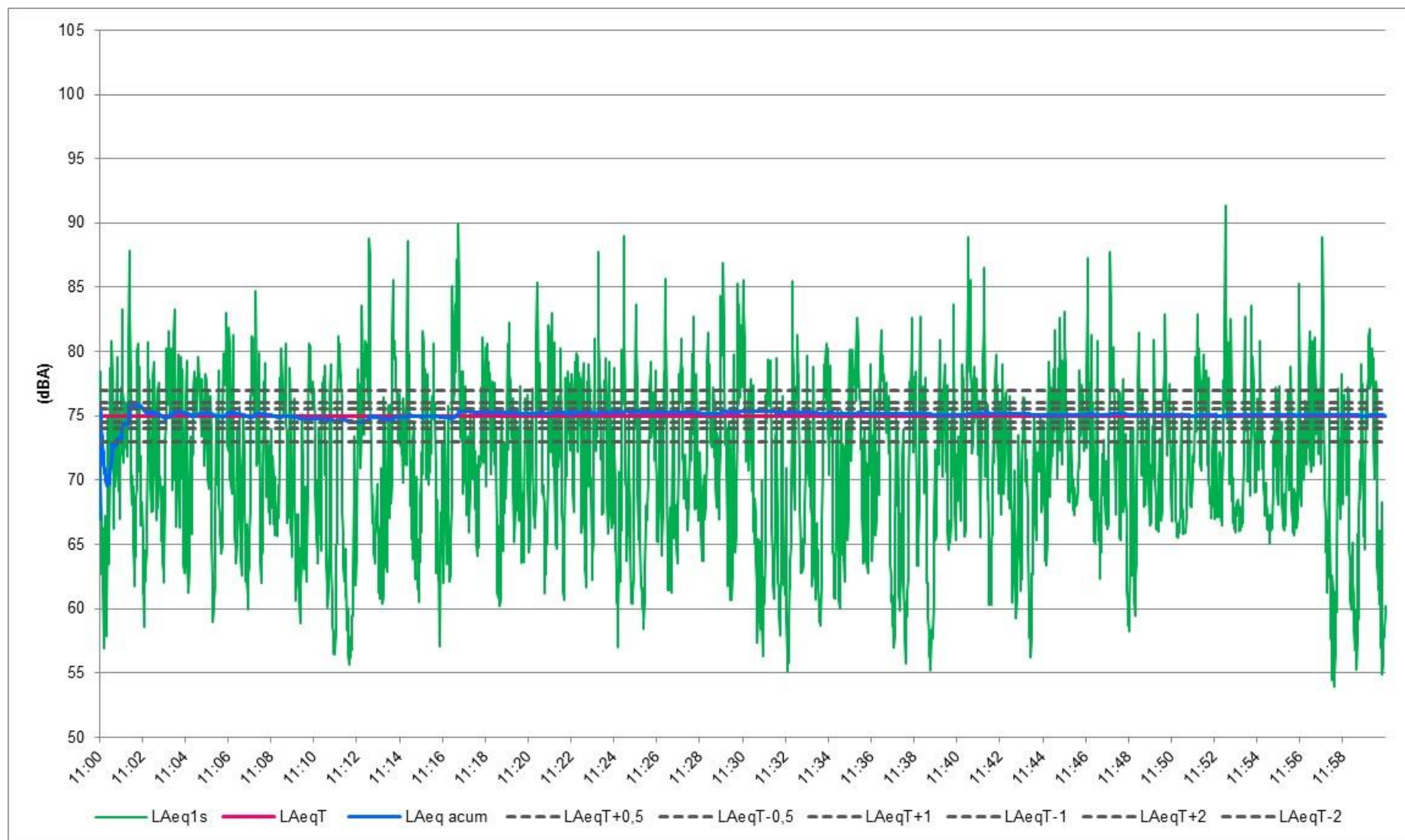


Figura 2-54 Tiempo de estabilización 1 hora, 11:30 h - P151116

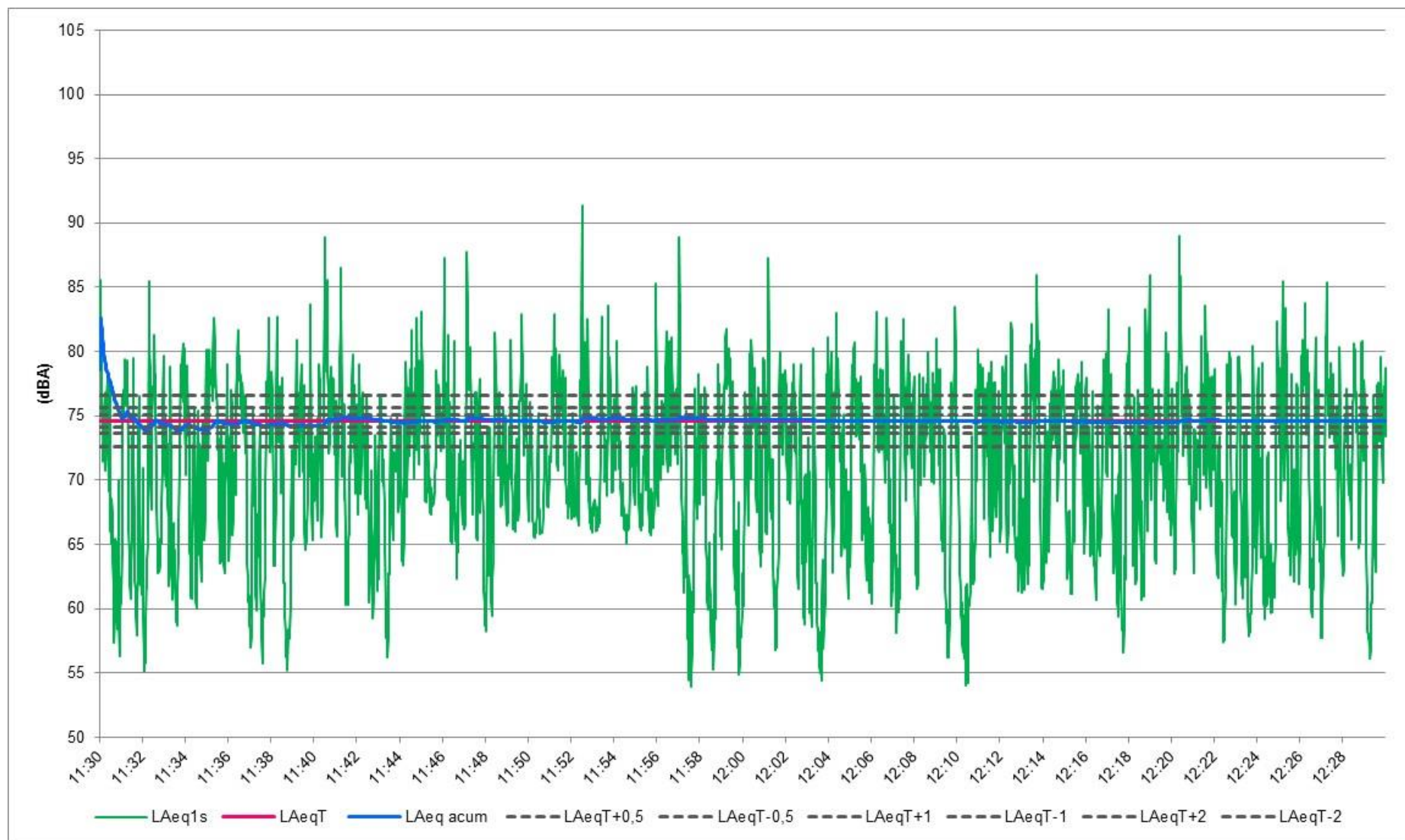


Figura 2-55 Tiempo de estabilización 1 hora, 12 h - P151116

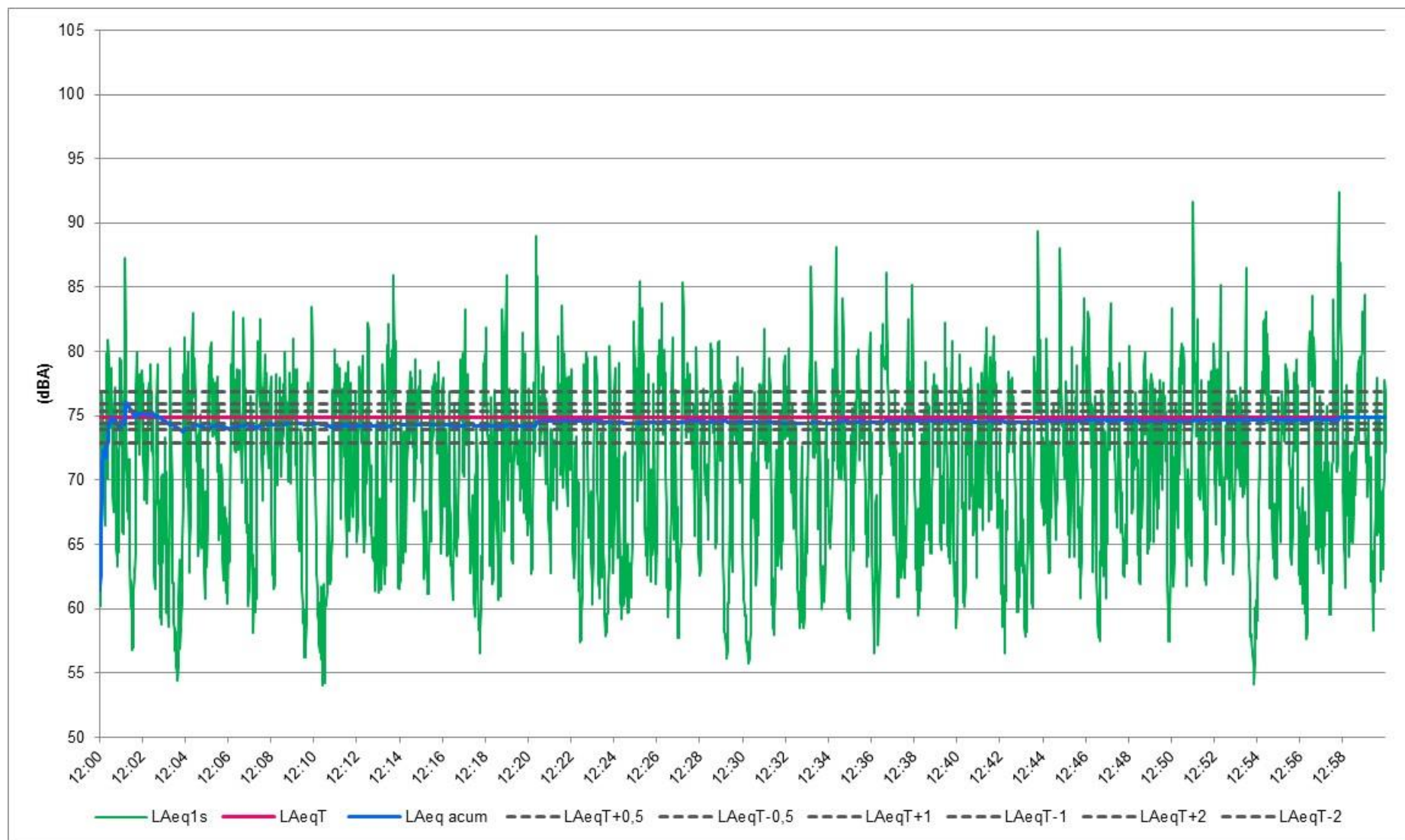


Figura 2-56 Tiempo de estabilización 1 hora, 12:30 h - P151116

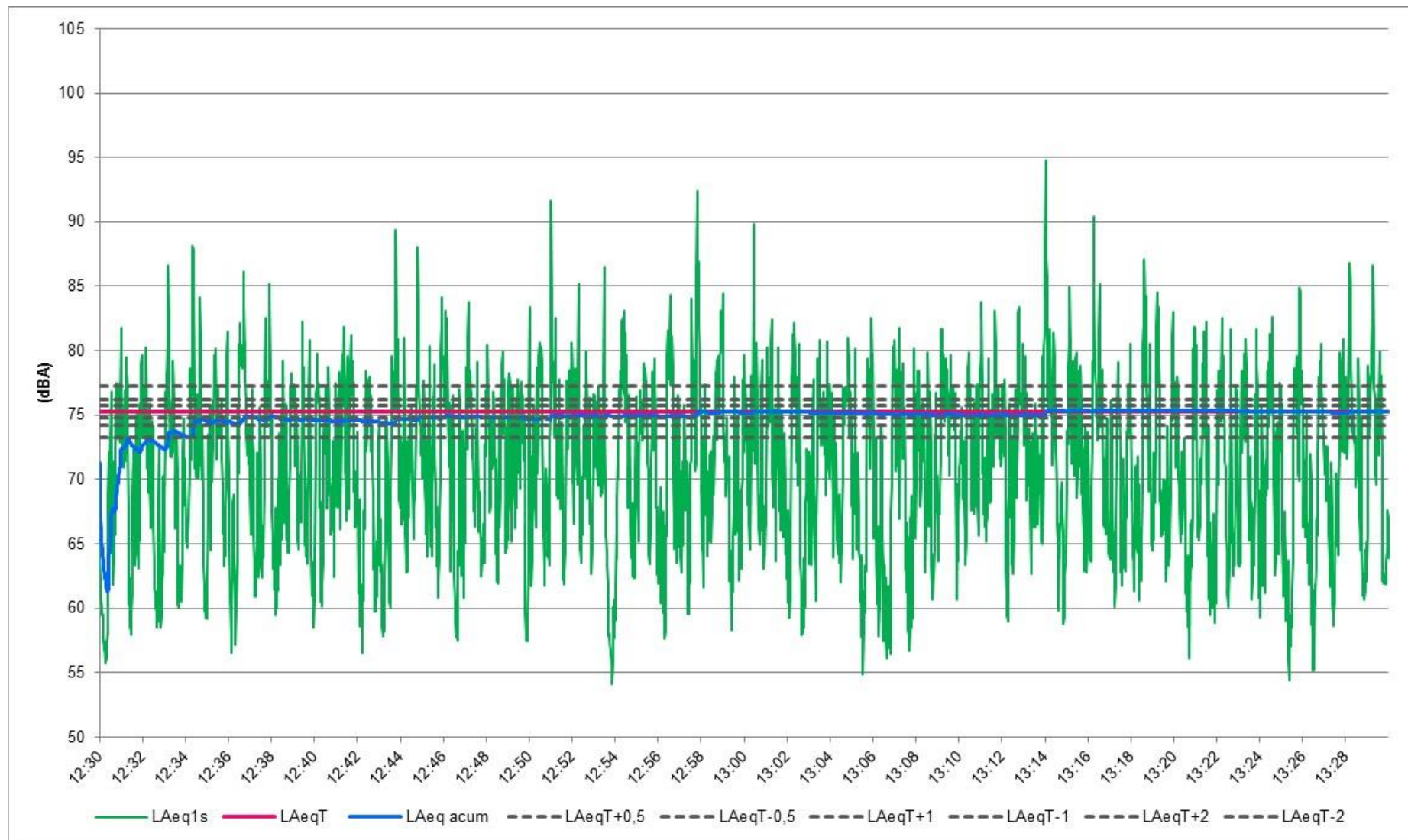


Figura 2-57 Tiempo de estabilización 1 hora, 13 h - P151116

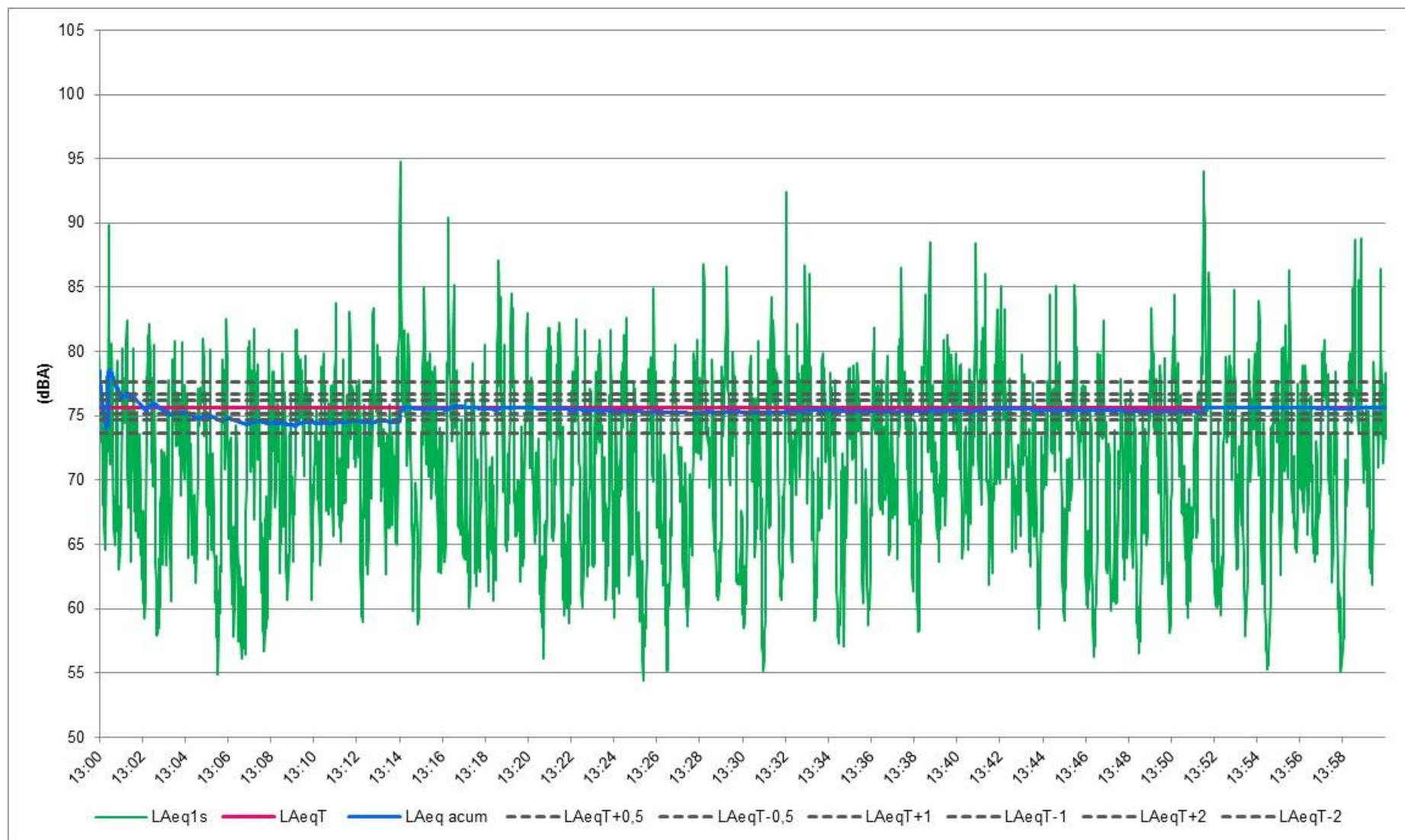


Figura 2-58 Tiempo de estabilización 1 hora, 13:30 h - P151116

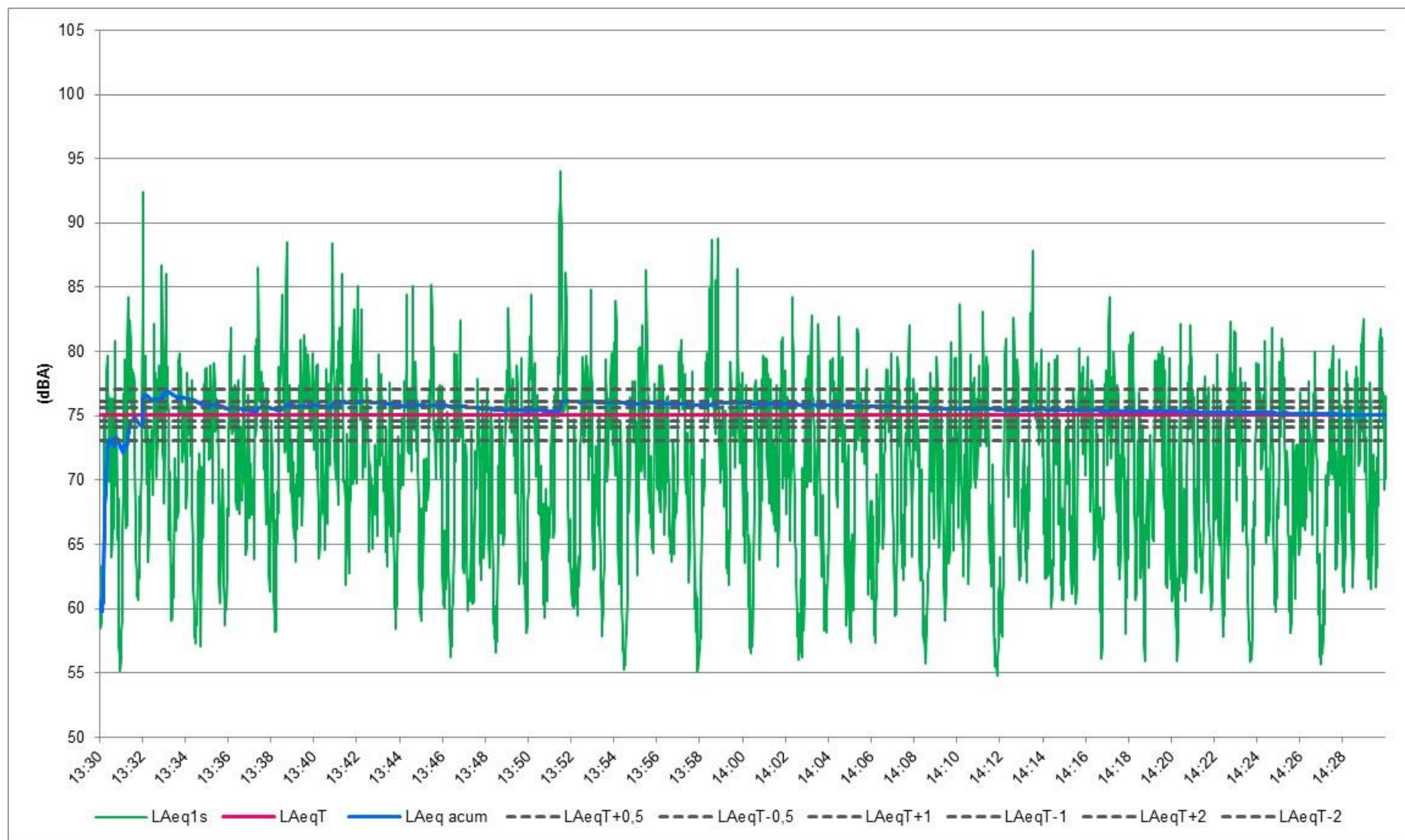


Figura 2-59 Tiempo de estabilización 1 hora, 14 h - P151116

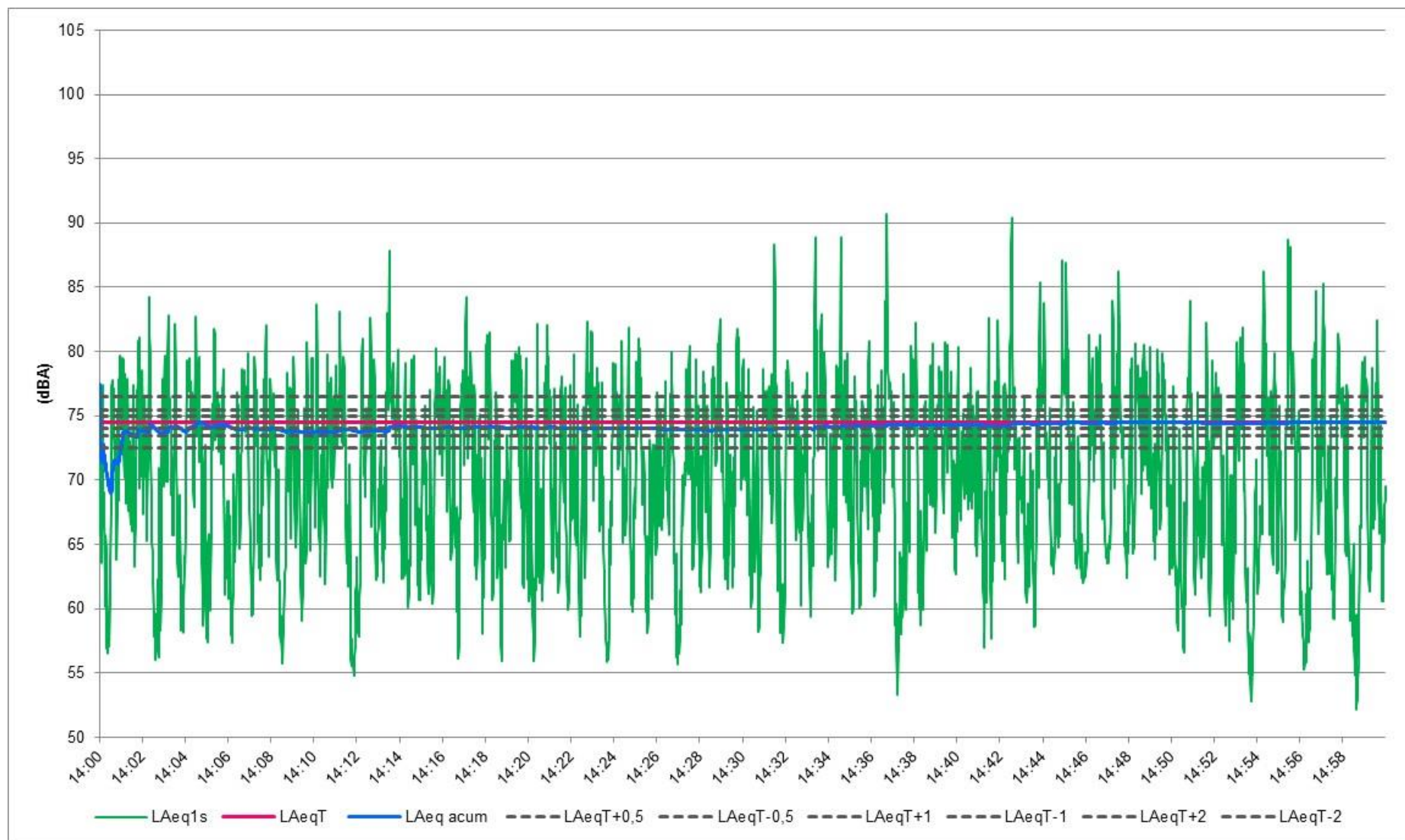


Figura 2-60 Tiempo de estabilización 1 hora, 14:30 h - P151116

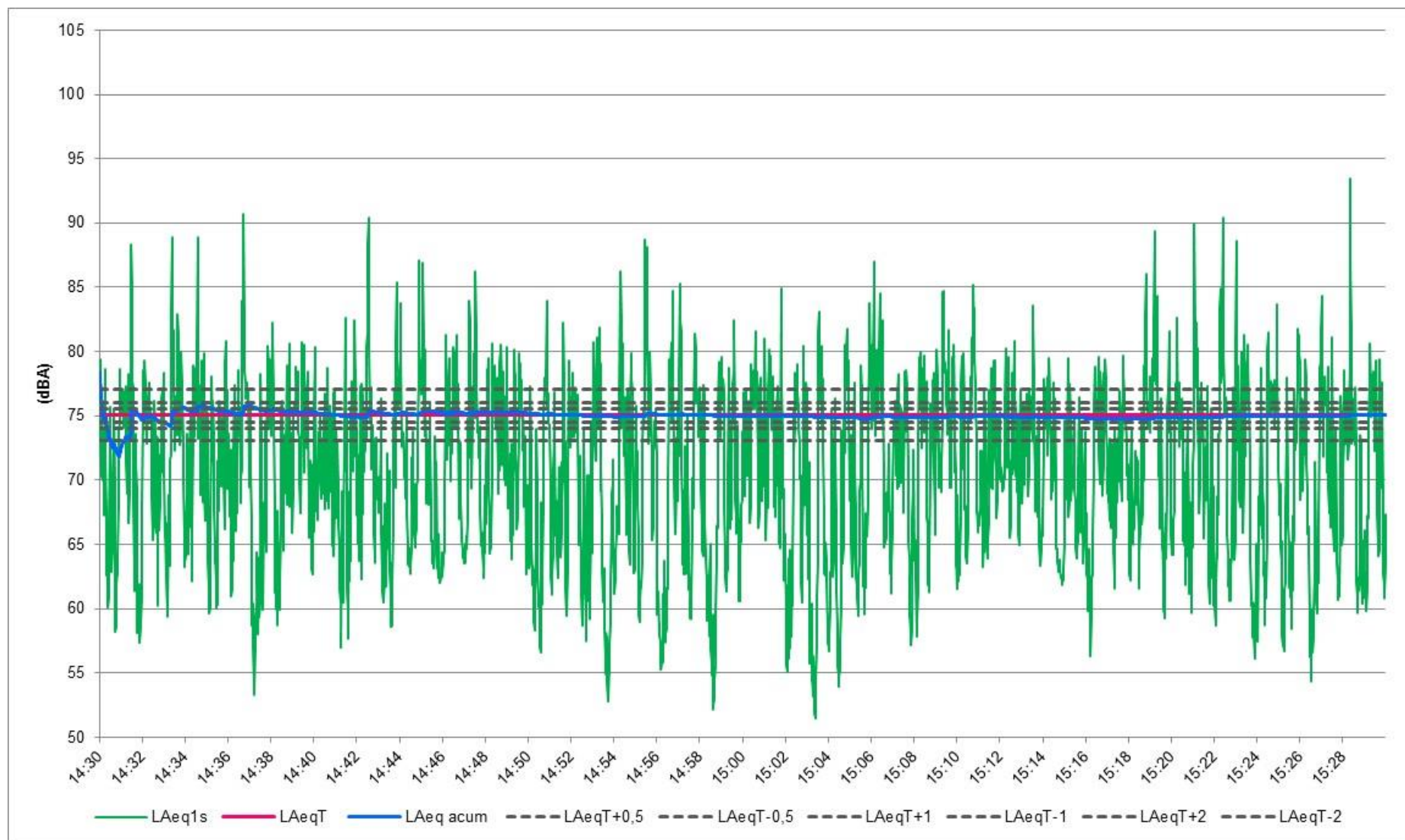


Figura 2-61 Tiempo de estabilización 1 hora, 15 h - P151116

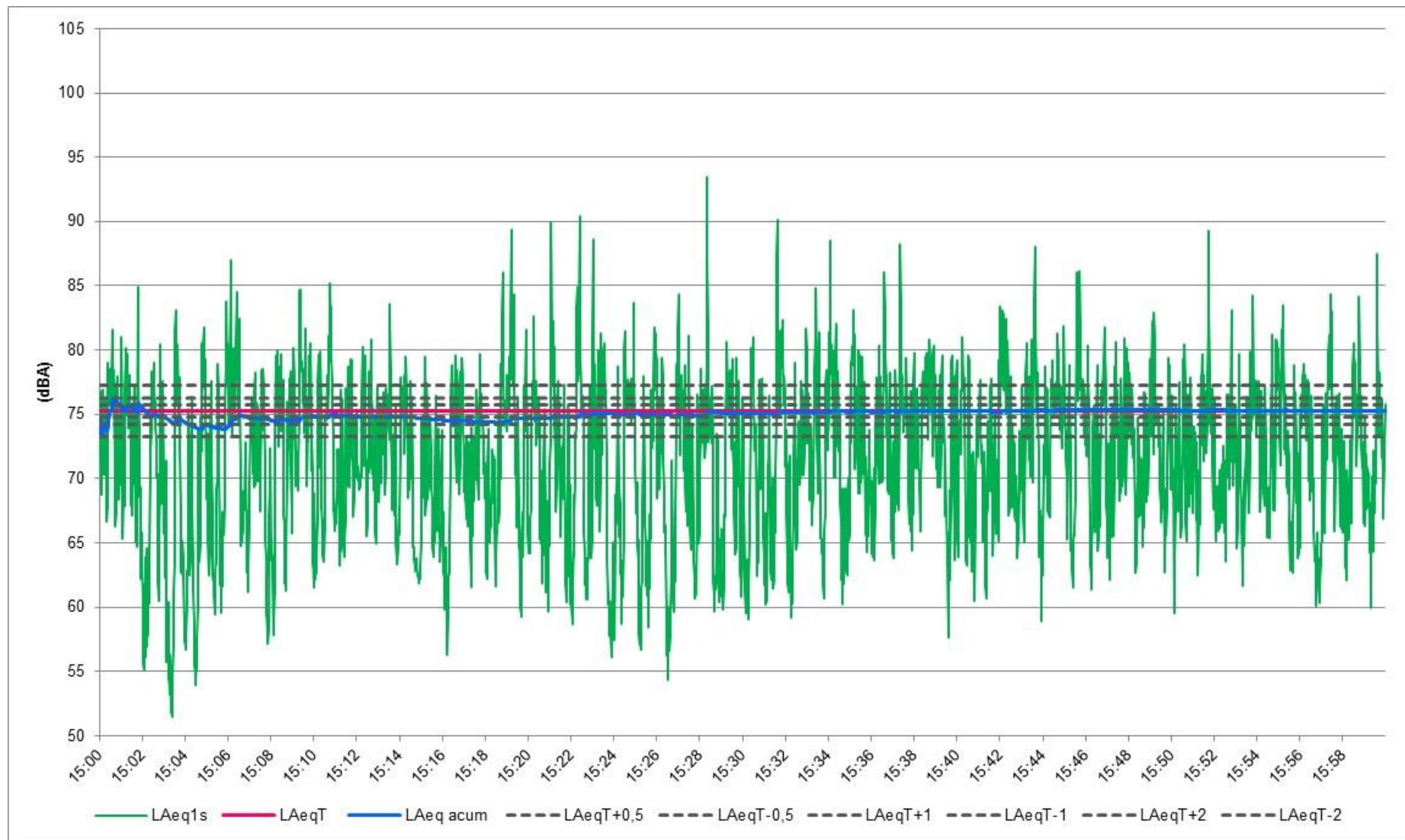


Figura 2-62 Tiempo de estabilización 1 hora, 15:30 h - P151116

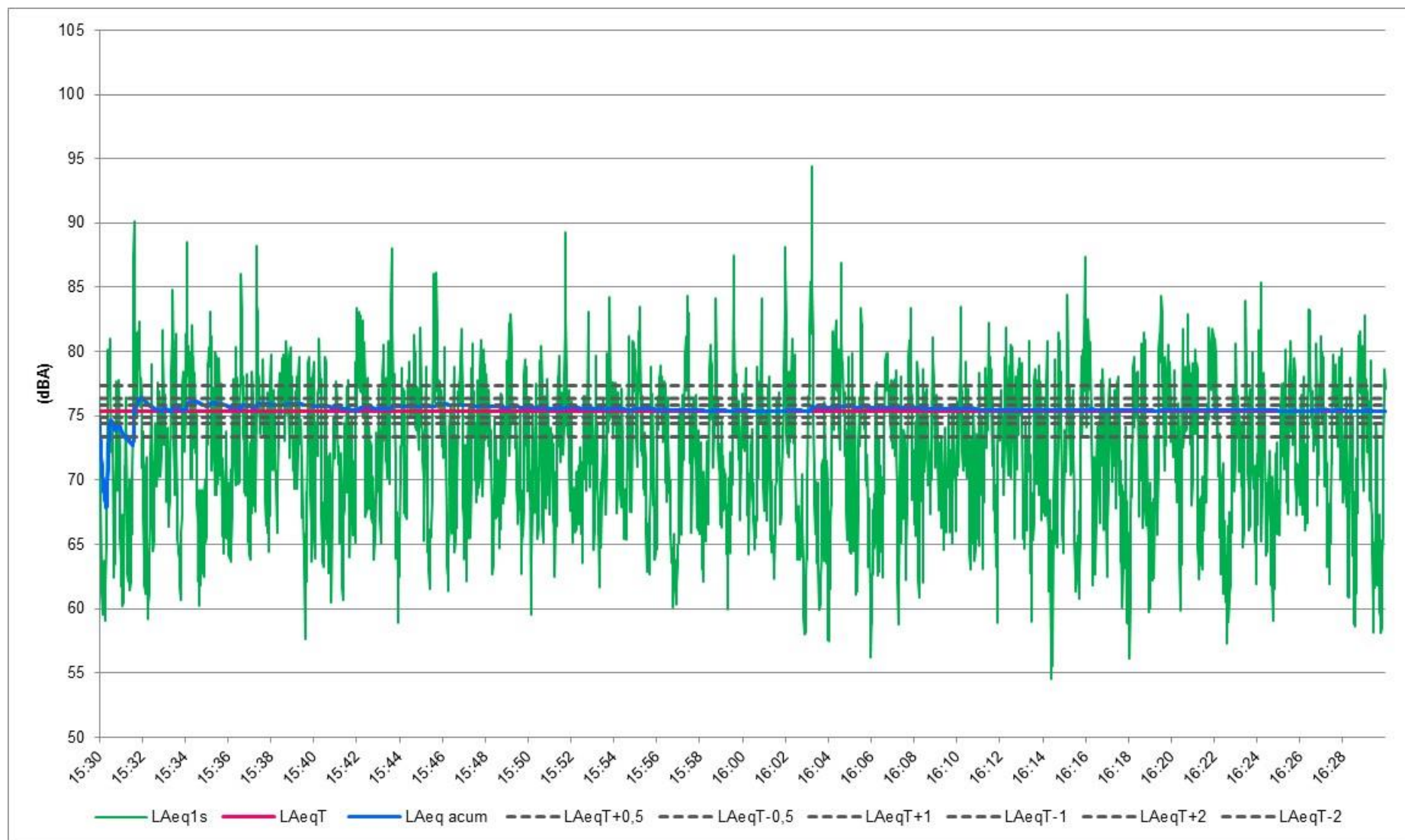


Figura 2-63 Tiempo de estabilización 1 hora, 16 h - P151116

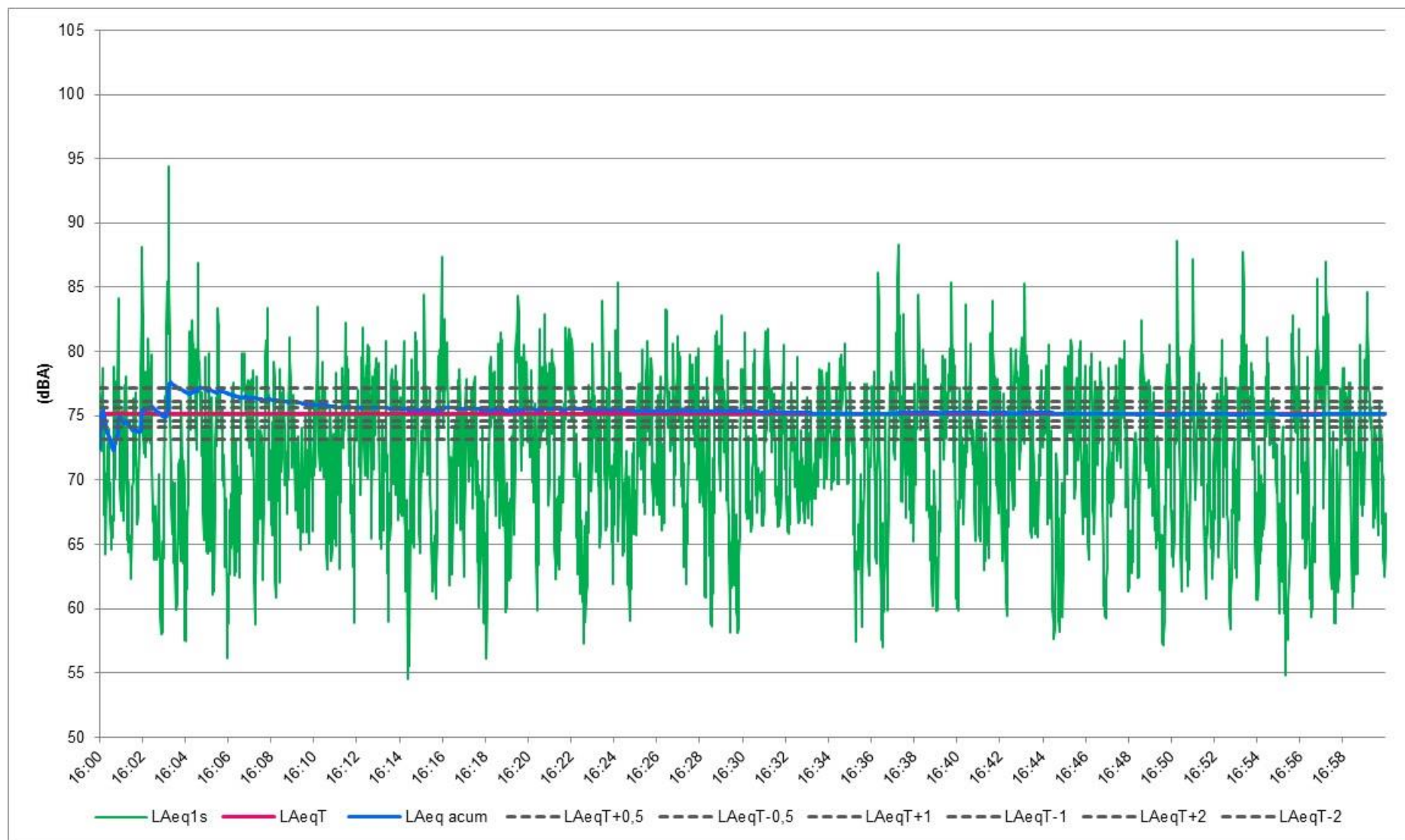


Figura 2-64 Tiempo de estabilización 1 hora, 16:30 h - P151116

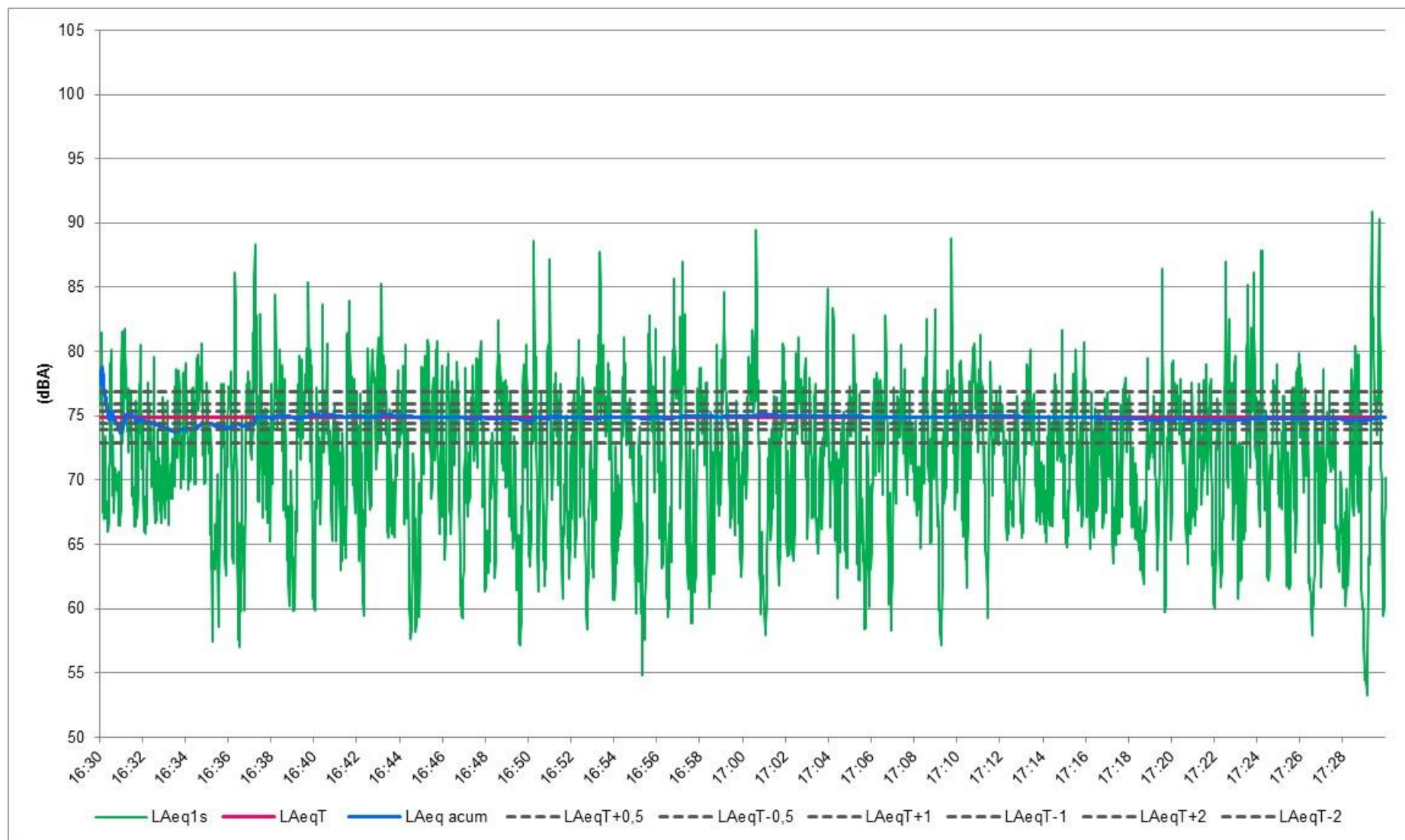


Figura 2-65 Tiempo de estabilización 1 hora, 17 h - P151116

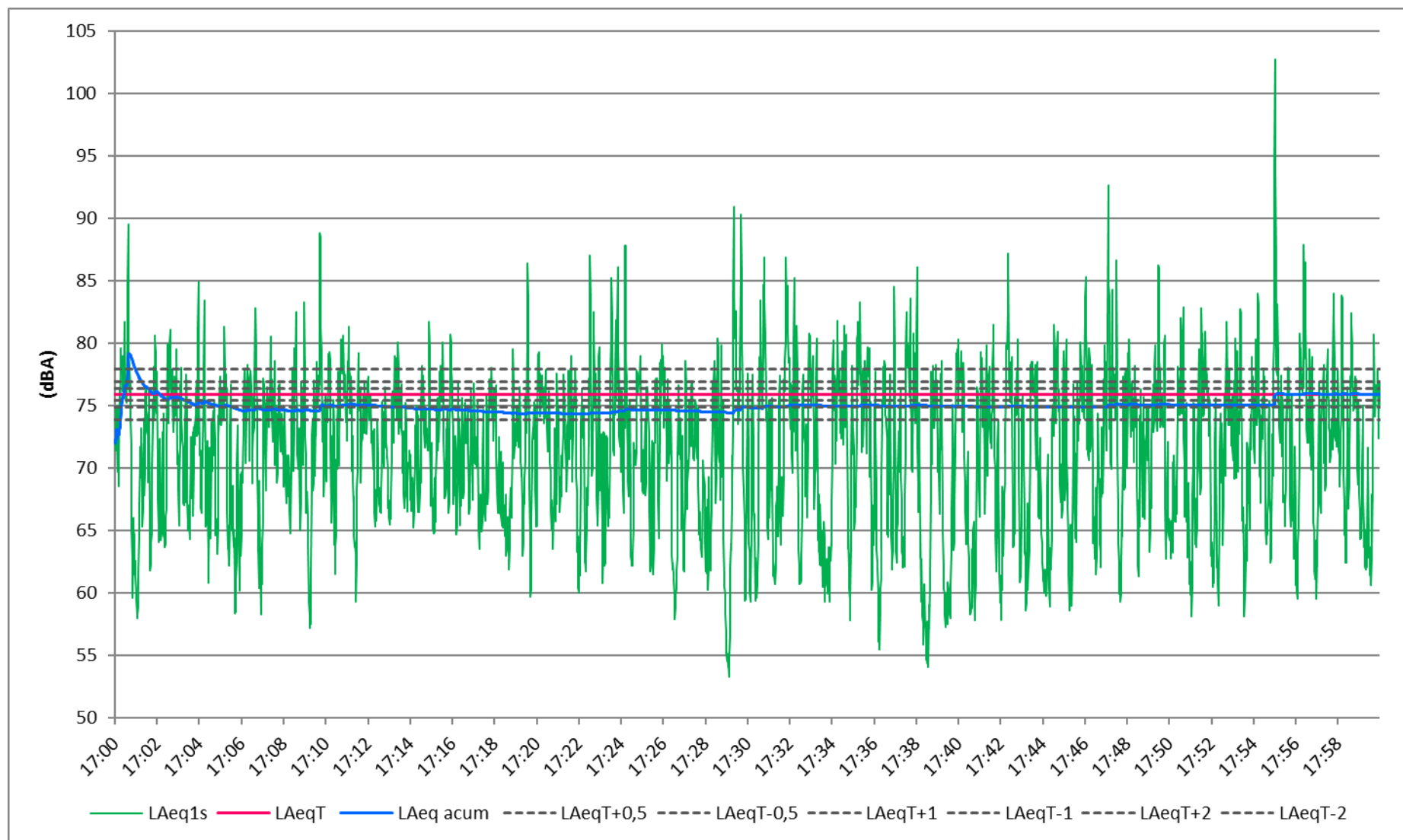


Figura 2-66 Tiempo de estabilización 1 hora, 17:30 h - P151116

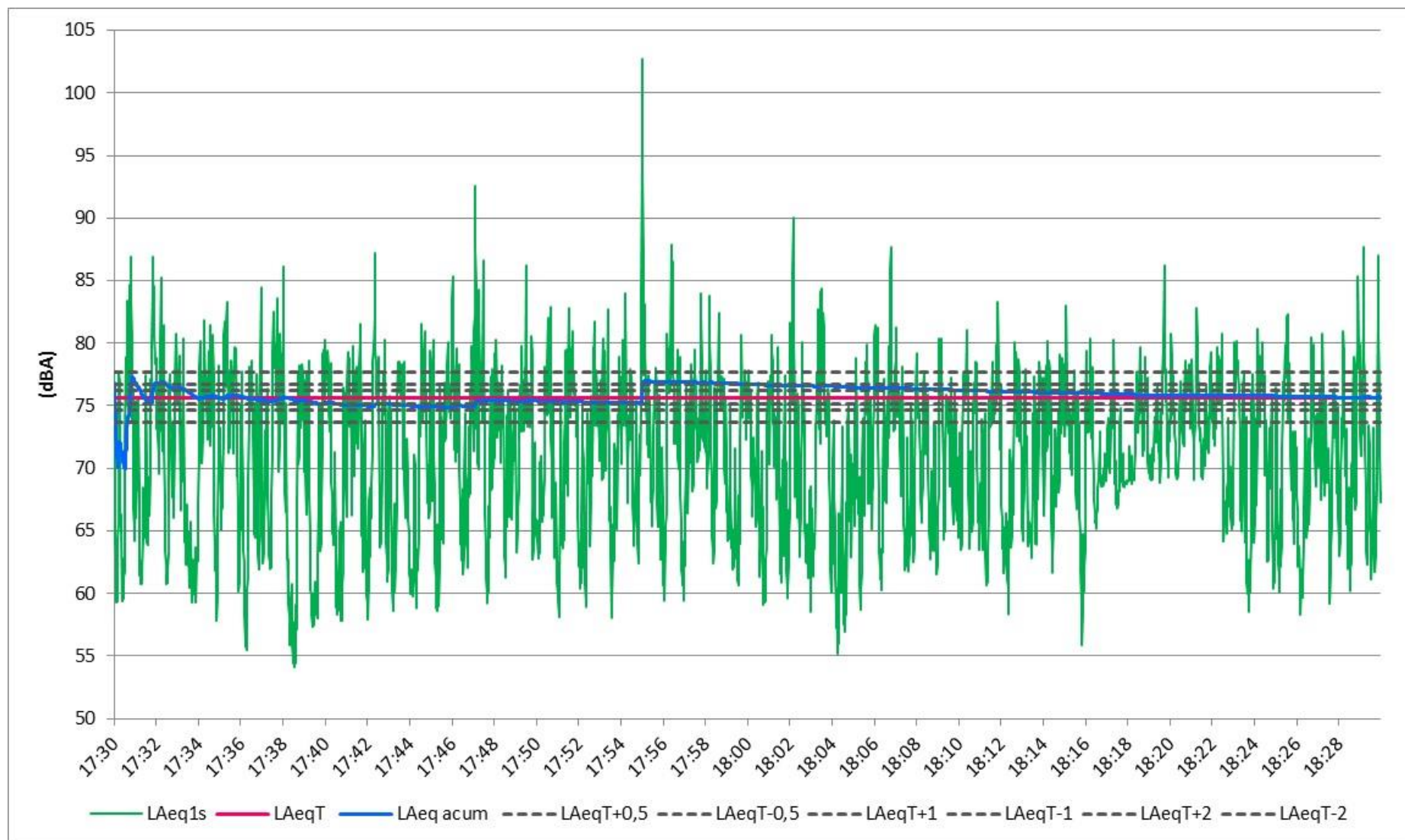


Figura 2-67 Tiempo de estabilización 1 hora, 18 h - P151116

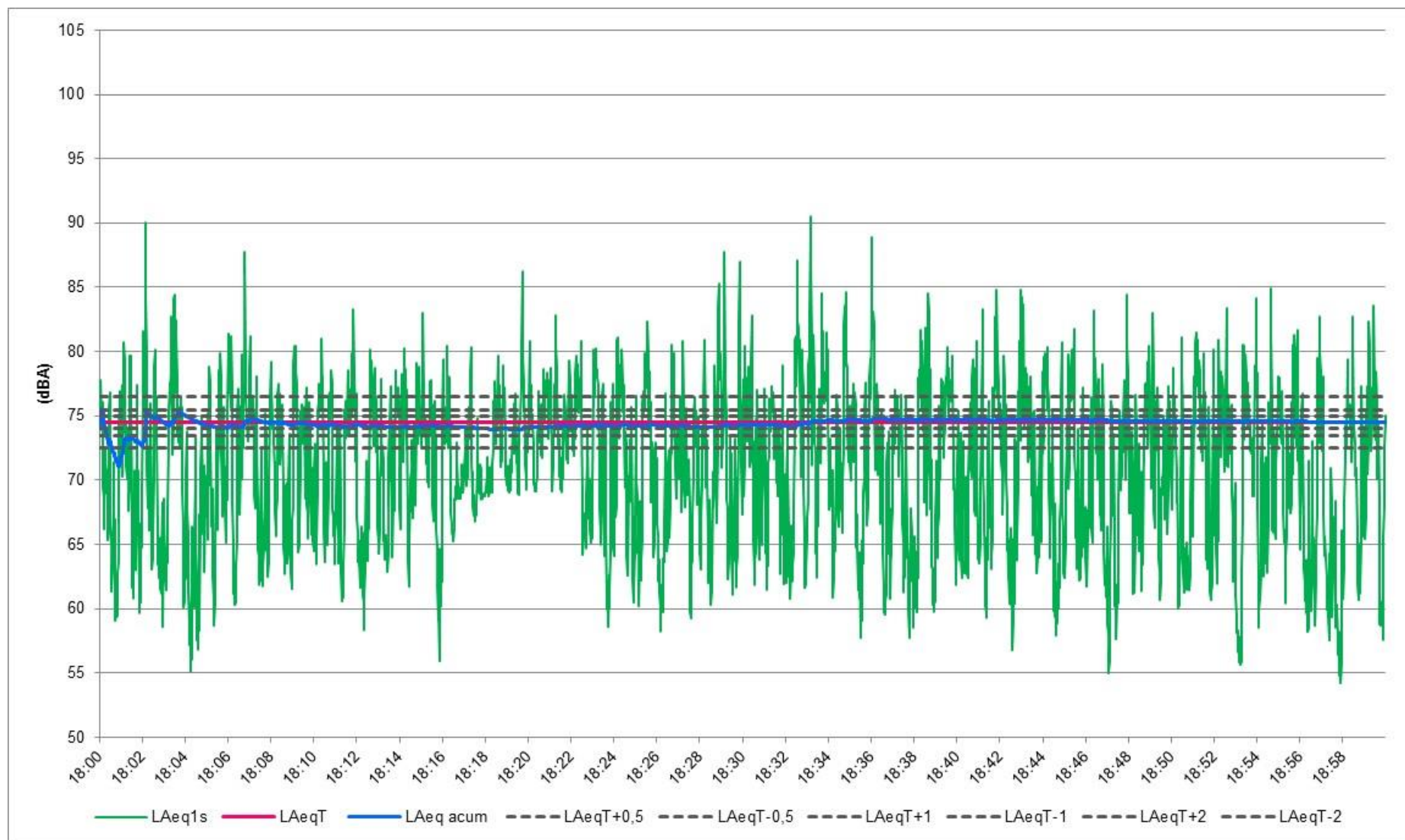


Figura 2-68 Tiempo de estabilización 1 hora, 18:30 h - P151116

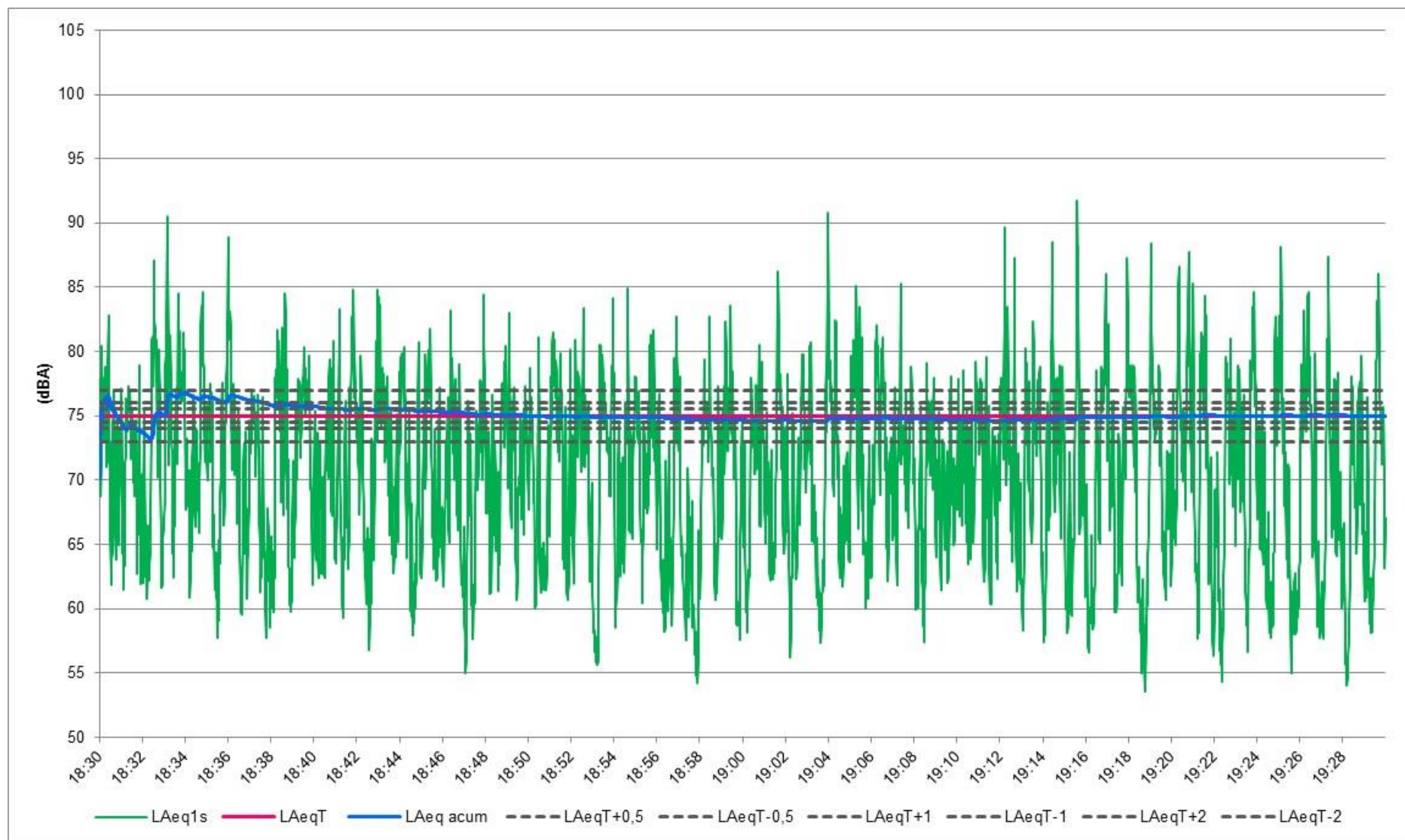
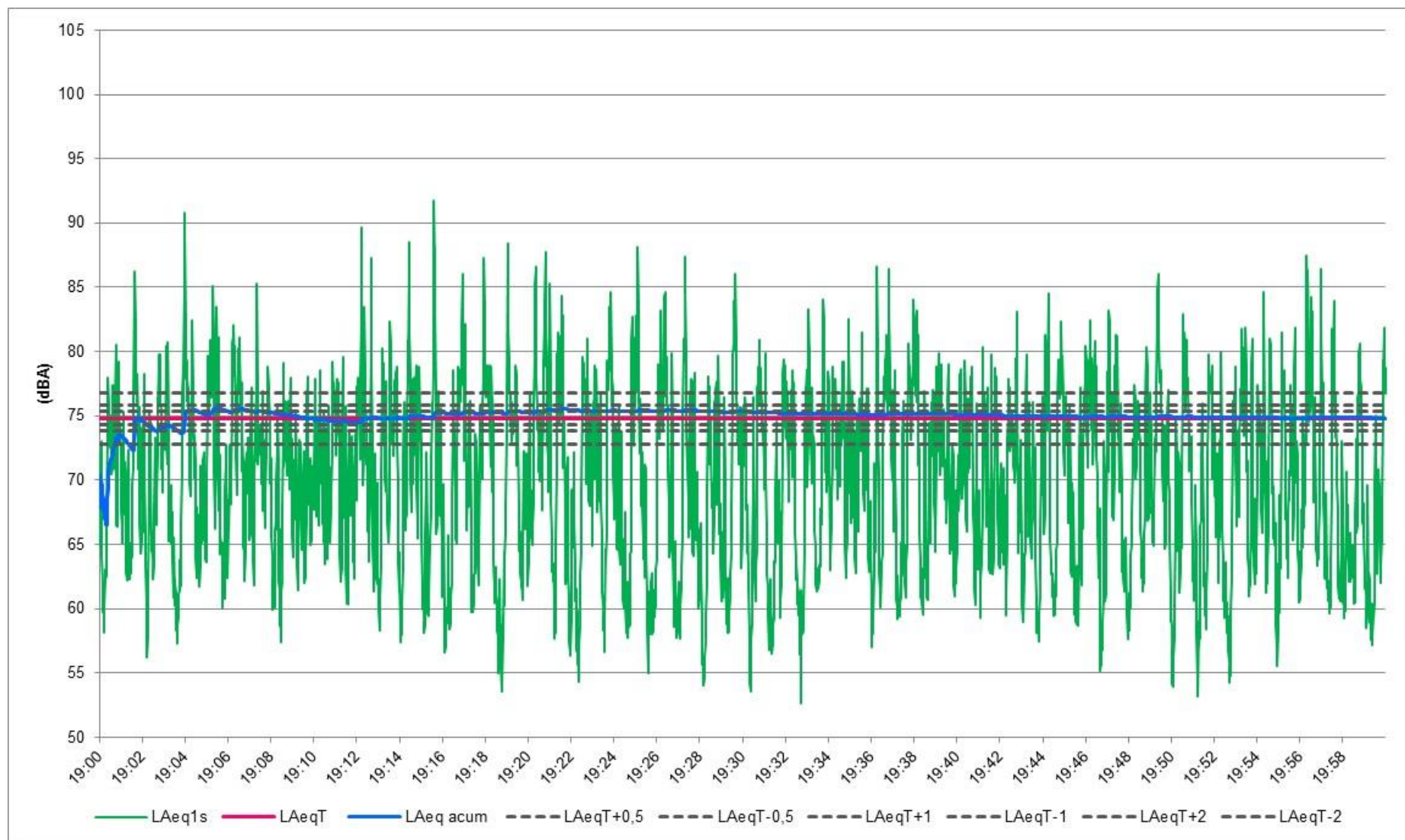


Figura 2-69 Tiempo de estabilización 1 hora, 19 h - P151116



2.2. Período de 12 horas

2.2.1. Resultados globales

A continuación, se presenta los resultados obtenidos para la totalidad de los períodos de 12 horas analizados.

Tabla 2-2 Tiempos de estabilización para muestras de 12 h (min)

Hora	P150507			P151111			P151116		
	± 0,5 dB	± 1 dB	± 2 dB	± 0,5 dB	± 1 dB	± 2 dB	± 0,5 dB	± 1 dB	± 2 dB
8:00 – 20:00	168	104	2	261	120	1	116	2	1

2.2.2. Gráficas de evolución

A continuación se presentan las gráficas de evolución del parámetro $L_{Aeq,acumulado}$. Adicionalmente se incluye el parámetro $L_{Aeq,12h}$ y las franjas de tolerancia de $\pm 0,5$, ± 1 y ± 2 dBA. Se presentan para cada campaña relevada.

Figura 2-70 Tiempo de estabilización 12 horas - P150507

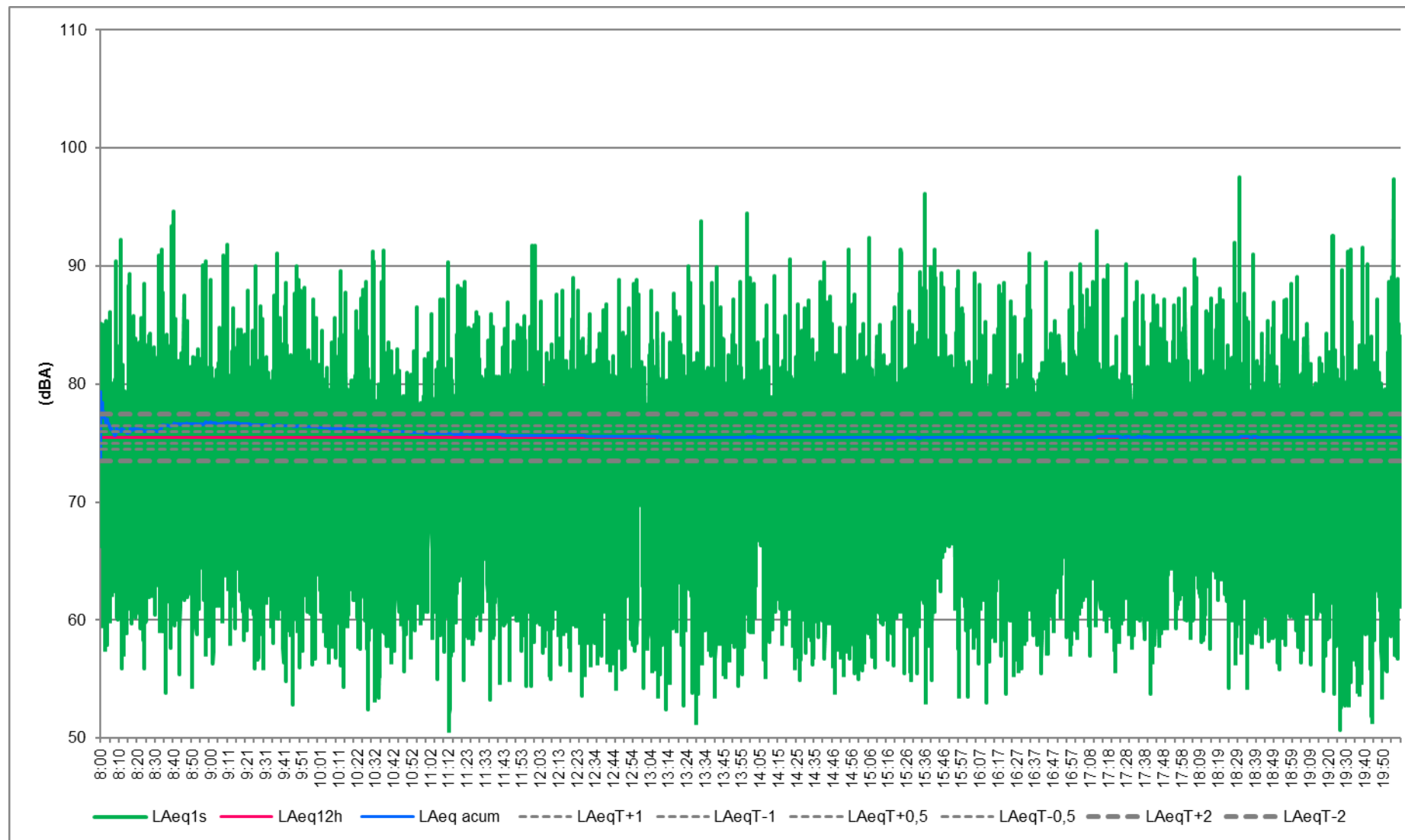


Figura 2-71 Tiempo de estabilización 12 horas - P151111

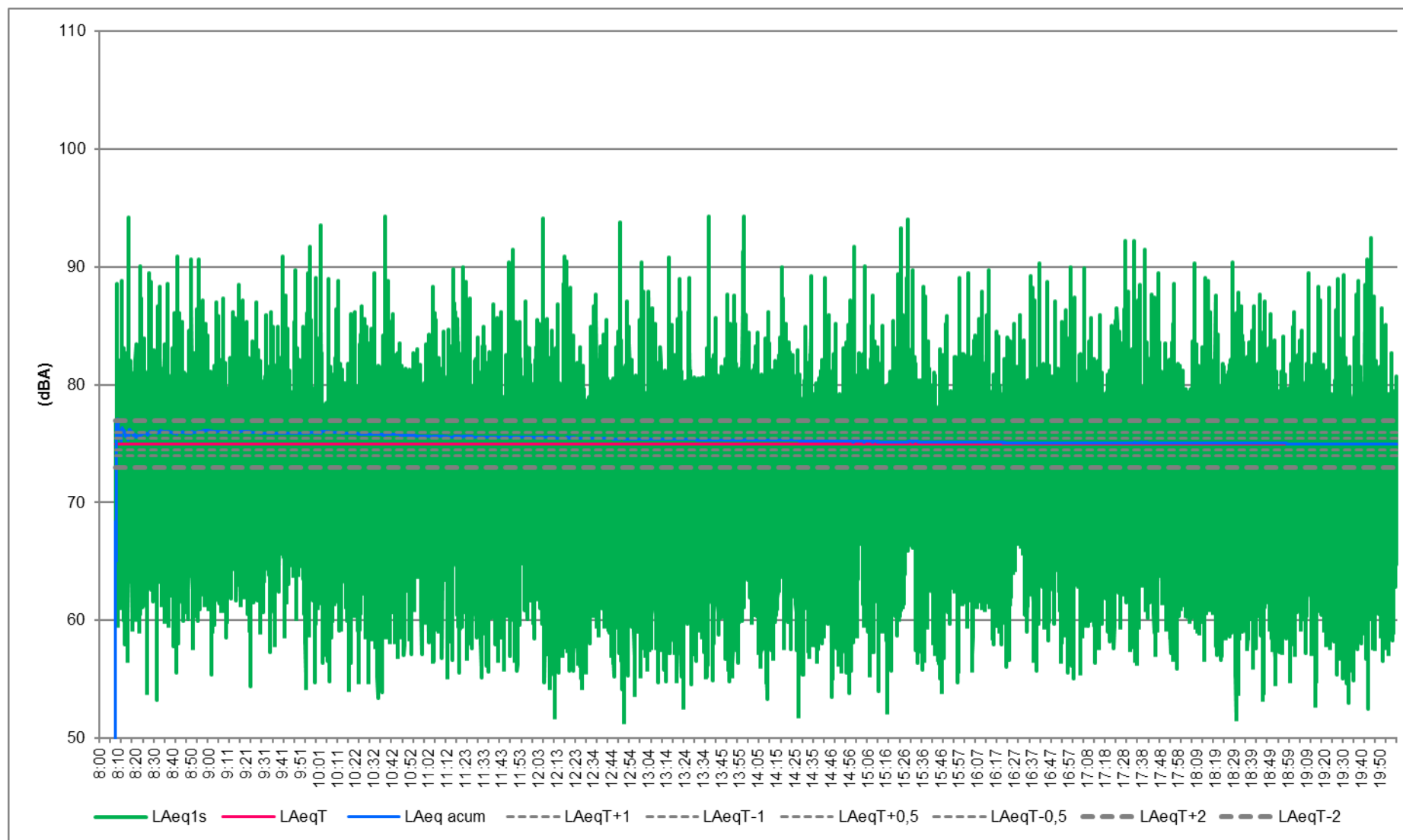
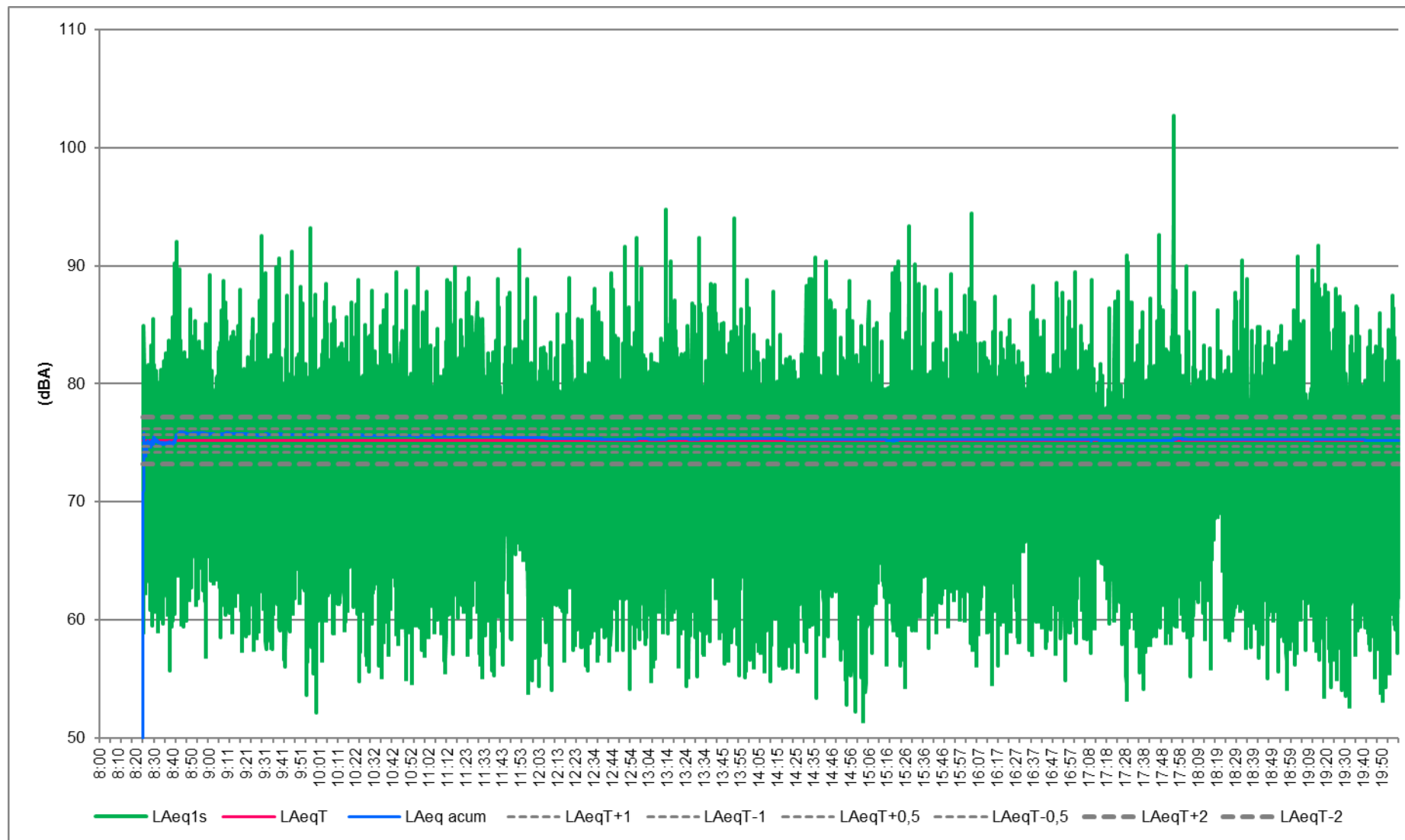


Figura 2-72 Tiempo de estabilización 12 horas - P151116



3. IDENTIFICACIÓN DE ANÓMALOS ACÚSTICOS

A continuación, se presentan la identificación de los anómalos acústicos por campaña. Se incluye la cantidad de anómalos identificados, el L_{Aeq} del período (1 hora), el L_{Aeq} corregido, el valor de corte y la identificación de la razón de la existencia del anómalo, cuando fue posible su detección.

Tabla 3-1 Anómalos acústicos identificados en campo – P150507

Hora	$L_{Aeq,1h}$ (dBA)	$L_{Aeq,corregido}$ (dBA)	Valor de corte (dBA)	Cantidad de anómalos	Observaciones
8:00	76,7	75,7	79,7	1	No reconocible.
9:00	75,9	75,0	79,0	2	No reconocibles.
10:00	74,6	73,5	77,5	3	1 bocina. 2 no reconocibles.
11:00	75,0	74,1	78,1	4	1 bocina. 3 no reconocibles.
12:00	75,0	74,1	78,1	3	1 auto ruidoso. 2 no reconocibles.
13:00	75,3	74,0	78,0	4	No reconocibles.
14:00	75,0	74,1	78,1	2	No reconocibles.
15:00	75,9	74,8	78,8	2	No reconocibles.
16:00	75,3	74,5	78,5	1	No reconocible.
17:00	75,6	74,6	78,6	3	1 arranque de auto. 2 no reconocibles.
18:00	75,3	74,3	78,3	3	1 bocina. 2 no reconocibles.
19:00	75,2	73,6	77,6	6	2 bocinas. 1 moto con escape libre. 1 patineta haciendo ruido por la vereda. 2 no reconocibles.

Tabla 3-2 Anómalos acústicos identificados en campo – P151111

Hora	$L_{Aeq,1h}$ (dBA)	$L_{Aeq,1h,corregido}$ (dBA)	Valor de corte (dBA)	Cantidad de anómalos	Observaciones
8:00	76,1	75,7	79,7	0	
9:00	75,7	74,8	78,8	4	• 1 bocina. • 3 no reconocibles.
10:00	75,0	73,9	77,9	3	• 1 bocina. • 1 sirena. • 1 no reconocible.
11:00	75,2	74,2	78,2	4	• No reconocibles.
12:00	74,8	73,5	77,5	4	• 1 camión en mal estado. • 3 no reconocibles.
13:00	75,1	73,9	77,9	3	• 1 amoladora. • 2 no reconocibles.
14:00	74,1	73,2	77,2	2	• 1 camión en mal estado • No reconocibles.
15:00	74,5	73,3	77,3	6	• No reconocibles.
16:00	74,5	73,7	77,7	3	• No reconocibles.
17:00	75,1	73,9	77,9	4	• 1 camión en mal estado. • 3 no reconocibles.
18:00	74,3	73,5	77,5	1	• No reconocible.
19:00	74,5	73,5	77,5	4	• No reconocibles.

Tabla 3-3 Anómalos acústicos identificados en campo – P151116

Hora	L _{Aeq,T} (dBA)	L _{Aeq,T} corregido (dBA)	Valor de corte (dBA)	Cantidad de anómalos	Observaciones
8:00	SD	SD	SD	SD	
9:00	75,7	74,7	78,7	2	• 1 bocina. • 1 no reconocibles.
10:00	75,3	74,7	78,7	0	
11:00	75,0	74,2	78,2	1	• No reconocible.
12:00	74,8	74,0	78,0	3	• No reconocibles.
13:00	75,6	74,4	78,4	4	• No reconocibles.
14:00	74,5	73,6	77,6	2	• No reconocibles.
15:00	75,2	74,4	78,4	1	• No reconocible.
16:00	75,1	74,4	78,4	1	• No reconocible.
17:00	75,9	74,1	78,1	3	• 1 moto con escape libre. • 2 no reconocibles.
18:00	74,4	73,7	77,7	1	• Moto con escape libre.
19:00	74,8	73,9	77,9	3	• 1 auto ruidoso paró frente al micrófono. • 2 no reconocibles.

SD: Sin dato

ANEXO III: RELEVAMIENTO DE CAMPO - DATOS

1. RELEVAMIENTO DE CAMPO: DATOS

El presente anexo tiene por objetivo presentar los datos crudos relevados durante el trabajo de campo. Estos se presentan según cada campaña de monitoreo válida realizada.

Debido a la extensa cantidad de datos, estos se presentan únicamente en formato digital. En el CD que acompaña el presente informe se incluye, por campaña:

- ☐ Registro del sonómetro en banda ancha.
- ☐ Registro del sonómetro en bandas de octavas.
- ☐ Conteo de tránsito clasificado.

