

Grau en Enginyeria Mecànica

**ESTUDI COMPARATIU SOBRE LA UTILITZACIÓ DELS TELÈFONS
INTEL·LIGENTS PER A LA EXPOSICIÓ A FACTORS DE RISCOS LABORALS**

Memòria

**IRENE CORTADA MASVIDAL
PONENT: PABLO GENOVESE**

TARDOR/PRIMAVERA 2023

Dedicatòria

A la meva família

Vull expressar el meu sincer agraïment pel vostre continu suport i dedicació incondicional.

Gràcies per haver estat sempre al meu costat i haver-me guiat amb els vostres valors exemplars. Malgrat les dificultats que hem enfrontat al llarg del temps, heu estat una font constat de suport i amor. Sou el millor regal que la vida em pot oferir.

A en Pau

Gràcies per la teva presència i suport durant tots aquests anys de grau. Valoro profundament la teva dedicació i amor que has demostrat. Ets una persona increïble i tot el que has fet per mi no té preu.

Agraïments

A l'Escola Superior Politècnica del Tecnocampus de Mataró, pels anys d'estudi que hi he passat i pel material que m'han facilitat per a la realització d'aquest treball de final de grau.

Al meu ponent, Pablo Genovese, per l'orientació i el temps que m'ha dedicat en la realització d'aquest treball de final de grau i en els experiments realitzats.

A la Cristina Steegmann, per ajudar-me a resoldre els dubtes que tenia sobre estadística molt ràpida i eficaçment.

A la meva família i parella, però sobretot al meu pare, que m'ha donat suport en tots els experiments que he hagut de realitzar i m'ha donat ànims quan més els necessitava.

Resum

En el present projecte es desenvolupa un estudi comparatiu sobre la utilització dels telèfons intel·ligents i equips professionals de mesurament en l'exposició de tres factors de riscos laborals per a saber si poden proporcionar mesures igual d'exactes i precises. S'han dissenyat i realitzat tres assajos diferents de vibracions, soroll i il·luminació en els que s'han estudiat tres telèfons intel·ligents de les marques Samsung, Xiaomi i Oneplus. Posteriorment, s'han analitzat les dades obtingudes amb un mètode estadístic utilitzant Rstudio per a facilitar els càlculs. Una vegada s'han obtingut els resultats de l'anàlisi, s'ha pogut comprovar que els telèfons intel·ligents encara no són igual d'exactes i precisos que els equips professionals.

Resumen

En el presente proyecto se desarrolla un estudio comparativo sobre la utilización de los smartphones y equipos profesionales de medición en la exposición de tres factores de riesgos laborales para saber si pueden proporcionar medidas igual de exactas y precisas. Se han diseñado y realizado tres ensayos diferentes de vibraciones, ruido e iluminación en los que se han estudiado tres smartphones de las marcas Samsung, Xiaomi y Oneplus. Posteriormente, se han analizado los datos obtenidos con un método estadístico utilizando Rstudio para facilitar los cálculos. Una vez se han obtenido los resultados del análisis, se ha podido comprobar que los smartphones todavía no son igual de exactos y precisos que los equipos profesionales.

Abstract

In the present project a comparative study is developed on the use of smartphones and professional measuring equipment in the exposure of three occupational risk factors to know if they can provide measures equally accurate and precise. Three different vibration, noise and lighting tests have been designed and carried out in which three smartphones of the brands Samsung, Xiaomi and Oneplus have been studied. Subsequently, the data obtained with a statistical method have been analyzed using Rstudio to facilitate the calculations. Once the results of the analysis have been obtained, it has been seen that smartphones are not yet as accurate and accurate as professional equipment.

Índex.

Índex de figures.....	V
Índex de taules.....	VII
Glossari de termes.....	IX
1. Objectius.....	1
1.1. Propòsit.....	1
1.2. Finalitat.....	1
1.3. Objecte.....	1
1.4. Abast.....	1
1.5. Context en les línies de recerca i transferència de coneixement del Tecnocampus.....	2
2. Introducció.....	3
3. Antecedents i recerca d'informació.....	5
3.1. Legislació i normativa.....	5
3.1.1. Legislació Europea.....	5
3.1.2. Legislació Espanyola.....	5
3.1.3. Normativa.....	6
3.2. Mesurament i anàlisi de vibracions.....	8
3.2.2. Què és la vibració.....	8
3.2.3. Quantificació del nivell de vibració.....	9
3.2.4. Unitats de mesura.....	11
3.2.5. Escales logarítmiques i en decibels.....	11
3.2.6. Instrument de mesura de vibracions: l'acceleròmetre.....	12
3.2.7. Etapes en el mesurament de les vibracions.....	18
3.2.8. Tècniques d'anàlisi de vibracions.....	19
3.3. Mesurament i anàlisi del soroll.....	20
3.3.1. Què es el soroll, tipus i unitats.....	20
3.3.2. Pressió i potència sonora.....	21
3.3.3. Mesurador bàsic del nivell de soroll.....	21
3.3.4. El micròfon: part fonamental del sonòmetre.....	22
3.3.5. Mètodes de mesurament de soroll.....	25
3.4. Mesurament i anàlisi de la il·luminació.....	26
3.4.1. Què és la llum.....	26
3.4.2. Magnituds lumíniques.....	27
3.4.3. Propietats òptiques.....	28
3.4.4. Instrument de mesura de la il·luminació: el luxímetre.....	29
3.5. Problemes derivats de les vibracions, soroll i la il·luminació.....	31
3.5.1. Efectes de l'exposició a les vibracions.....	31

3.5.2. Efectes de l'exposició del soroll.....	34
3.5.3. Efectes de la mala il·luminació	34
3.6. Eines actuals.	35
3.6.1. Empreses dedicades a la prevenció de riscos laborals.....	35
3.6.2. Equipaments professionals per al mesurament.....	37
3.6.3. Aplicacions mòbils.	38
3.7. Estudis sobre la utilització dels mòbils per a aquests usos.	41
4. Objectius i especificacions tècniques.....	43
4.1. Objectiu general.....	43
4.2. Objectius específics.	43
4.3. Especificacions tècniques.	44
5. Metodologia.	45
5.1. Tipus d'estudi a realitzar.....	45
5.2. Descripció de la metodologia: fases.	45
5.3. Disseny dels assajos.....	46
5.3.1. Selecció dels telèfons intel·ligents.	46
5.3.2. Selecció de les aplicacions.	48
5.3.3. Plantejament de les hipòtesis.....	49
5.3.4. Tipus de mostreig	49
5.3.5. Disseny de l'assaig i del procés de mesurament de vibració.....	49
5.3.6. Disseny de l'assaig i del procés de mesurament del soroll.....	51
5.3.7. Disseny de l'assaig i del procés de mesurament de la il·luminació.....	53
5.3.8. Limitacions metodològiques de l'estudi.....	55
5.3.9. Nombre d'observacions que s'han de prendre en l'estudi.....	56
6. Resultats assaig de vibracions.....	63
6.1. Resultats dels assajos.....	63
6.2. Hipòtesis i procediment d'anàlisis dels resultats.	64
6.3. Resultats de l'anàlisi.	66
7. Resultats assaig de soroll.	69
7.1. Resultats dels assajos.....	69
7.2. Procediment d'anàlisis dels resultats i hipòtesis.....	70
7.3. Resultats de l'anàlisi.	72
8. Resultats assaig d'il·luminació.	75
8.1. Resultats dels assajos.....	75
8.2. Procediment d'anàlisis dels resultats i hipòtesis.....	76
8.3. Resultats de l'anàlisi.	78
9. Planificació.	81
10.1. Anàlisi de riscos.....	81

9.2. Pla de contingència.	82
9.3. Planificació de l'avantprojecte.	83
9.4. Planificació del projecte de detall	86
9.5. Execució de la planificació.	89
10. Impacte mediambiental	93
11. Conclusions.	95
11.1. Vibracions.	95
11.2. Soroll.	96
11.3. Il·luminació.	97
11.4. Futures línies de treball.	98
12. Referències.	101

Índex de figures.

Fig. 3.1. Diagrama de magnituds de quantificació de vibració respecte del temps	20
Fig. 3.2. Diagrama de magnituds de quantificació de vibració respecte del temps	21
Fig. 3.3. Diagrama de l'escala de decibels respecte de la freqüència	22
Fig. 3.4. Esquema d'acceleròmetre mecànic	24
Fig. 3.5. Diagrama d'acceleròmetre piezoelèctric	25
Fig. 3.6. Diagrama d'acceleròmetre piezo-resistiu	26
Fig. 3.7. Exemples gràfics d'influències ambientals en els acceleròmetres	28
Fig. 3.8. Funcionament d'un micròfon dinàmic	33
Fig. 3.9. Disseny típic d'un micròfon piezoelèctric	34
Fig. 3.10. Espectre electromagnètic	37
Fig. 5.1. Muntatge assaig de vibracions	60
Fig. 5.2. Sala de l'assaig de soroll	62
Fig. 5.3. Material de l'assaig d'il·luminació	64
Fig. 5.4. Freqüències dominants segons l'equip de treball	67
Fig. 5.5. Aire condicionat de la sala de l'assaig de soroll	69
Fig. 5.6. Ventilador portàtil Quilive	69
Fig. 5.7. Eina rotatòria model DM-130B	70
Fig. 5.8. Aspirador Karcher NT 20/1 AP Te	70
Fig. 5.9. Nivell d'il·luminació segons la zona de treball	72
Fig. 9.1. Diagrama de Gantt del projecte de detall	101

Índex de taules.

Taula 3.1. Descripció de les aplicacions de vibració rellevants	49
Taula 3.2. Descripció de les aplicacions de soroll rellevants	49
Taula 3.3. Descripció de les aplicacions d'il·luminació més rellevants	56
Taula 3.4. Descripció de les aplicacions de sensors rellevants	50
Taula 4.1. Llista d'especificacions tècniques	54
Taula 5.1. Característiques dels telèfons intel·ligents seleccionats	57
Taula 5.2. Aplicacions seleccionades	58
Taula 5.3. Característiques de l'acceleròmetre	61
Taula 5.4. Característiques del sonòmetre	63
Taula 5.5. Característiques del luxímetre	65
Taula 5.6. Freqüències a estudiar en l'assaig de vibracions	68
Taula 5.7. Intensitats de llum a estudiar en l'assaig d'il·luminació	72
Taula 6.1. Resultats del primer cas de l'assaig de vibracions	73
Taula 6.2. Resultats del segon cas de l'assaig de vibracions	73
Taula 6.3. Resultats del tercer cas de l'assaig de vibracions	74
Taula 6.4. Resultats del quart cas de l'assaig de vibracions	74
Taula 6.5. Resultats de l'anàlisi del primer cas	76
Taula 6.6. Resultats de l'anàlisi del segon cas	77
Taula 6.7. Resultats de l'anàlisi del tercer cas	77
Taula 6.8. Resultats de l'anàlisi del primer cas	77
Taula 7.1. Resultats del primer cas de l'assaig de soroll	79
Taula 7.2. Resultats del segon cas de l'assaig de soroll	79

VIII

Taula 7.3. Resultats del tercer cas de l'assaig de soroll	80
Taula 7.4. Resultats del quart cas de l'assaig de soroll	80
Taula 7.5. Resultats de l'anàlisi del primer cas	82
Taula 7.6. Resultats de l'anàlisi del segon cas	83
Taula 7.7. Resultats de l'anàlisi del tercer cas	83
Taula 7.8. Resultats de l'anàlisi del quart cas	83
Taula 8.1. Resultats del primer cas de l'assaig d'il·luminació	85
Taula 8.2. Resultats del segon cas de l'assaig d'il·luminació	85
Taula 8.3. Resultats del tercer cas de l'assaig d'il·luminació	86
Taula 8.4. Resultats del quart cas de l'assaig d'il·luminació	86
Taula 8.5. Resultats de l'anàlisi del primer cas	88
Taula 8.6. Resultats de l'anàlisi del segon cas	89
Taula 8.7. Resultats de l'anàlisi del tercer cas	89
Taula 8.8. Resultats de l'anàlisi del quart cas	89
Taula 9.1. Duració del projecte	91
Taula 9.2. Tasques a realitzar a l'avantprojecte	95
Taula 9.3. Tasques a realitzar en el projecte de detall	98

Glossari de termes.

MEMS	Sistemes Micro Electro Mecànics (<i>Micro Electro Mechanical Systems</i>)
F	Força
m	massa
a	acceleració
V	Volts
g	Gravetat
m	metres
s	segons
Hz	Hertz
dB	decibel
°C	Graus Celcius
LIGA	<i>Lithographie, Galvanoformung i Abformung</i>
EDM	Mecanitzat per Electrò-Descàrrega
RCA	<i>Radio Corporation of Amèrica</i>
AKG	Equips acústics i cinematogràfics (<i>Akustische und Kino-Geräte Gesellschaft</i>)
ADC	Convertidor d'analògic a digital (<i>analog-to-digital converter</i>)
dB	Decibels
NVH	Soroll, vibració i aspror (<i>Noise, Vibration and Harshness</i>)
EUA	Estats Units d'Amèrica

X

ALS	Sensor de llum ambiental (Ambient Light Sensor)
mm	mil·límetres
RMS	Error de quantificació (<i>Root Mean Square</i>)
PWL	Nivell de potència sonora (<i>Power Wattage Level</i>)
W	Watt
Pa	Pascals
LpA	Nivell de pressió acústica ponderat
LAeq	Nivell de pressió acústica equivalent ponderat
SIL	Nivells d'interferència conversacional (<i>Speech Interference Levels</i>)
Lm	lumen
Φ	Flux lluminós
Cd	Candela
w	angle sòlid en estereoradiants
I	Intensitat lluminosa
E	Nivell d'il·luminació
S	superfície
$\sin \alpha$	sinus de l'angle α
INSST	Institut Nacional de Seguretat i Salut en el Treball
Mb	Megabyte
W	Rendiment o eficiència mínima esperada
n	numero mínim d'observacions que s'han d'efectuar en l'estudi

$Z\alpha$	Valor corresponent al nivell de confiança assignat
$Z\beta$	Valor corresponent al poder estadístic o potència assignada a la prova
W	Watt

1. Objectius.

1.1. Propòsit.

El propòsit d'aquest projecte és investigar i desenvolupar diversos assajos per a comparar les variables de vibració, soroll i il·luminació en entorns laborals a partir d'equips de mesurament professionals i telèfons intel·ligents. Així, poder comprovar si l'exactitud i precisió dels telèfons intel·ligents és equivalent a la dels dispositius professionals per poder disposar d'un mètode de mesurament ràpid i eficaç.

1.2. Finalitat.

La finalitat d'aquest treball és comprovar si les variables obtingudes a partir dels sensors del telèfon intel·ligent són com les obtingudes amb els equips de mesurament professionals per així poder definir aplicacions futures en la salut dels treballadors deguda a l'exposició dels factors mencionats anteriorment.

1.3. Objecte.

L'objecte del present projecte és l'estudi i desenvolupament del procediment per a realitzar mesures precises de vibracions, soroll i il·luminació utilitzant els sensors continguts en telèfons intel·ligents amb sistema operatiu Android i comparar els resultats obtinguts amb els equips de mesurament professionals.

Per tant, s'estudiarà com adquirir, tractar i interpretar les dades per poder realitzar els diferents assajos dissenyats i posteriorment es farà un anàlisi estadístic comparant aquestes dades amb les obtingudes amb equips professionals de mesurament que han estat prèviament calibrats.

1.4. Abast.

El present projecte inclou una recerca detallada sobre el mesurament i l'anàlisi de les vibracions, el soroll i la il·luminació, juntament amb els equips de mesura utilitzats professionalment per a aquestes tasques. També un estudi sobre com l'exposició del cos

humà a aquests paràmetres es veu afectat juntament amb les normatives i lleis actuals que limiten aquests valors d'exposició.

També s'inclou el desenvolupament de certs assajos que permetin l'obtenció de les variables amb els dispositius de mesurament professionals i també amb telèfons intel·ligents per a la seva posterior comparativa utilitzant un mètode estadístic.

A més, s'incorpora l'anàlisi de la viabilitat econòmica, tècnica i mediambiental del projecte.

1.5. Context en les línies de recerca i transferència de coneixement del Tecnocampus.

El present treball de fi de grau està relacional amb l'activitat de "Validació i assaig de màquines", que orienta la seva activitat a l'estudi de condicionants i Normatives del Disseny de Màquines. És un element clau ja que permet la consolidació d'altres activitats com "Màquines i mecanismes" i "Disseny de màquines".

Aquest projecte s'emmarca dins la línia de l'estudi i anàlisi de vibracions que sorgeixen en entorns de treball on s'utilitza maquinària industrial per a detectar, diagnosticar i corregir exposicions fora de la normativa actual. També s'emmarca dins de l'estudi i anàlisi de soroll i il·luminació en entorns de treball.

Es demostra que permet connectar els coneixements d'enginyeria mecànica en línia amb els coneixements del Tecnocampus.

2. Introducció.

La industrialització i mecanització de processos laborals han donat lloc a un augment en l'exposició a riscos produïts per agents físics. En Espanya, durant el 2021 es van registrar 601.123 accidents de treball amb baixa i la majoria es van produir durant la jornada laboral, en concret, 523.800 accidents, que suposen el 87,1% del total. [1] Com a resultat, en els últims anys les administracions tant de la Unió Europea com a Espanya han fet esforços per a controlar i prevenir aquests agents físics establint paràmetres d'exposició.

La seguretat i la salut en l'entorn laboral són aspectes fonamentals per a garantir el benestar dels treballadors. Quant a l'ergonomia, és necessari comptar amb eines eficaces per a mesurar i avaluar els nivells d'exposició a vibracions, soroll i il·luminació en el lloc de treball.

L'origen de les vibracions i el soroll de tipus laboral pot ser: maquinària, eines manuals motors, vehicles, etc., a causa de parts desequilibrades en moviment, fluxos turbulents de fluids, cops d'objectes, impulsos, xocs, etc.

Els efectes que poden produir aquests agents sobre el cos humà dependran de varies característiques com per exemple la freqüència, la intensitat, la direcció en la que incideixi i el temps d'exposició.

Actualment les empreses han d'establir uns paràmetres límits d'exposició a les vibracions, soroll i il·luminació per tal de disminuir o eliminar el risc per al treballador. Per tal d'aplicar aquestes restriccions s'han de realitzar mesures precises i exactes amb equips professionals de mesurament calibrats tal com contempla la norma ISO 17025. [2]

Els equips professionals utilitzats per al mesurament de les vibracions, el soroll i la il·luminació son el vibròmetre, el sonòmetre i el luxímetre. Tot i això, amb l'avanç de les noves tecnologies han aparegut alternatives com les aplicacions per a dispositius intel·ligents que utilitzen els sensors per a processar la informació captada i oferir una solució quantitativa. És un recurs addicional i a un cost molt menor que pot ser utilitzat per a qualsevol persona amb un dispositiu intel·ligent i que la seva repercussió a nivell empresarial pot ser molt gran en el control de la salut i seguretat en el lloc de treball.

En la societat Espanyola, les empreses líders en el sector de telefonia mòbil son Movistar, Vodafone i Orange i segons la *Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC)* al 2020 el número de línies de telefonia mòbil a Espanya superava els 55 milions d'usuaris, el que es tradueix com a 116 línies per cada 100 habitants. [3] Per tant, més de la població total Espanyola estaria utilitzant dispositius intel·ligents dels quals disposen aplicacions que es poden utilitzar fàcilment i en qualsevol lloc.

Tot i això, es actualment es desconeix l'exactitud i precisió en la qual aquestes aplicacions poden proporcionar mesuraments. Per aquesta raó és necessari un estudi comparatiu per comprovar si es pot disposar d'un mètode més àgil, ràpid i exacte de mesurament de les vibracions, el soroll i la il·luminació.

3. Antecedents i recerca d'informació.

3.1. Legislació i normativa.

Actualment hi ha tota una normativa al respecte sobre la prevenció de riscos laborals. En l'Institut Nacional de Seguretat i Salut en el Treball (INSST) hi ha una recopilació de la legislació vigent Europea i Espanyola juntament amb guies tècniques, directrius, notes tècniques de prevenció i informació complementària d'interès d'altres organismes competents en prevenció. A més a més també podem cercar les normatives UNE complementàries a cada variable.

3.1.1. Legislació Europea.

Legislació de vibracions.

Directiva 2002/44/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 25 de juny de 2002, sobre les disposicions mínimes de seguretat i de salut relatives a l'exposició dels treballadors als riscos derivats dels agents físics (vibracions) (setzena Directiva específica conformement a l'apartat 1 de l'article 16 de la Directiva 89/391/CEE). [4]

Legislació de soroll.

DIRECTIVA 2003/10/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 6 de febrer de 2003, sobre les disposicions mínimes de seguretat i de salut relatives a l'exposició dels treballadors als riscos derivats dels agents físics (soroll) (dissetena Directiva específica conformement a l'apartat 1 de l'article 16 de la Directiva 89/391/CEE) [5]

Legislació d'il·luminació.

DIRECTIVA 90/270/CEE del Consell, de 29 de maig de 1990, referent a les disposicions mínimes de seguretat i de salut relatives al treball amb equips que inclouen pantalles de visualització (cinquena Directiva específica conformement a l'apartat 1 de l'article 16 de la Directiva 89/391/CEE) [6]

3.1.2. Legislació Espanyola.

Legislació de vibracions.

Reial decret 1215/1997, de 18 de juliol, pel qual s'estableixen les disposicions mínimes de seguretat i salut per a la utilització pels treballadors dels equips de treball. [7]

Reial decret 1311/2005, de 4 de novembre, sobre la protecció de la salut i la seguretat dels treballadors enfront dels riscos derivats o que puguin derivar-se de l'exposició a vibracions mecàniques. [8]

Guia tècnica per a l'avaluació i prevenció dels riscos relacionats amb les vibracions mecàniques. [9]

Legislació de soroll.

Reial decret 1215/1997, de 18 de juliol, pel qual s'estableixen les disposicions mínimes de seguretat i salut per a la utilització pels treballadors dels equips de treball. [7]

Reial decret 286/2006, de 10 de març, sobre la protecció de la salut i la seguretat dels treballadors contra els riscos relacionats amb l'exposició al soroll. [10]

Guia Tècnica per a l'avaluació i prevenció dels riscos relacionats amb l'exposició al soroll en els llocs de treball. [11]

Legislació d'il·luminació

Llei 31/1995, de 8 de novembre, de prevenció de Riscos Laborals. [12]

Reial decret 486/1997, de 14 d'abril, pel qual s'estableixen les disposicions mínimes de seguretat i salut en els llocs de treball. Annex IV (il·luminació). [13]

3.1.3. Normativa.

Normativa vibracions.

UNE-ISO 2631-1:2008. Vibracions i xocs mecànics. Avaluació de l'exposició humana a les vibracions de cos sencer. Part 1: Requisits generals. [14]

UNE-ISO 2631-1:2008/Amd.1:2013. Vibracions i xocs mecànics. Avaluació de l'exposició humana a les vibracions de cos sencer. Part 1: Requisits generals. [15]

UNE-ISO 2631-2:2011. Vibracions i xocs mecànics. Avaluació de l'exposició humana a les vibracions de cos sencer. Part 2: Vibració en edificis (1 Hz a 80 Hz). [16]

UNE-ISO 2631-4:2014. Vibracions i xocs mecànics. Avaluació de l'exposició humana a les vibracions transmiseses al cos sencer. Part 4: Guia per a l'avaluació dels efectes de les vibracions i del moviment de rotació sobre el confort dels passatgers i del personal en sistemes de transport guiat. [17]

UNE-EN ISO 5349-1:2002. Vibracions mecàniques. Mesurament i avaluació de l'exposició humana a les vibracions transmiseses per la mà. Part 1: Requisits generals. [18]

UNE-EN ISO 5349-2:2002. Vibracions mecàniques. Mesurament i avaluació de l'exposició humana a les vibracions transmiseses per la mà. Part 2: Guia pràctica per al mesurament en el lloc de treball. [19]

UNE-EN ISO 5349-2:2002/A1:2016. Vibracions mecàniques. Mesurament i avaluació de l'exposició humana a les vibracions transmiseses per la mà. Part 2: Guia pràctica per al mesurament en el lloc de treball. [20]

UNE-EN ISO 13090-1:1999. Vibracions mecàniques i xocs. Directrius sobre els aspectes de seguretat en els assajos i experiments realitzats amb persones. Part 1: Exposició del cos complet a les vibracions mecàniques i als xocs repetits. [21]

UNE-EN 14253:2004+A1:2009. Vibracions mecàniques. Mesures i càlculs de l'exposició laboral a les vibracions de cos complet amb referència a la salut. Guia pràctica. [22]

UNE-ISO 5805:2017. Vibracions i xocs mecànics. Exposició humana. Vocabulari. [23]

Normativa soroll.

UNE-EN ISO 9612:2009. Acústica. Determinació de l'exposició al soroll en el treball. Mètode d'enginyeria. [24]

UNE-EN ISO 9612:2009 ERRATUM:2011. Acústica. Determinació de l'exposició al soroll en el treball. Mètode d'enginyeria. [25]

UNE-EN ISO 11200:2014. Acústica. Soroll emès per màquines i equips. Directrius per a la utilització de les normes bàsiques per a la determinació dels nivells de pressió acústica d'emissió en el lloc de treball i en altres posicions especificades. [26]

UNE-EN ISO 11200:2014/A1:2021. Acústica. Soroll emès per màquines i equips. Directrius per a la utilització de les normes bàsiques per a la determinació dels nivells de pressió acústica d'emissió en el lloc de treball i en altres posicions especificades. Modificació 1. [27]

Normativa il·luminació.

UNE-EN 12464-1:2022. Llum i il·luminació. Il·luminació dels llocs de treball. Part 1: Llocs de treball en interiors. [28]

UNE-EN 12464-2:2016. Il·luminació. Il·luminació de llocs de treball. Part 2: Llocs de treball exteriors. [29]

3.2. Mesurament i anàlisi de vibracions.

El mesurament i anàlisi de vibracions és una eina important per a avaluar la salut de màquines i persones. En el cas de màquines, la vibració és un indicador del seu funcionament i s'utilitza per a detectar falles en el sistema, així com per a monitorar el seu acompliment. El mesurament de vibracions permet als tècnics i enginyers identificar problemes abans que es converteixin en falles greus, la qual cosa pot estalviar temps i diners en reparacions i manteniment.

En el cas de persones, el mesurament de vibracions s'utilitza per a avaluar l'exposició a vibracions mecàniques que poden ser perjudicials per a la salut. La vibració pot causar fatiga, dolor i lesions a les mans, braços i altres membres, especialment en treballs que requereixen l'ús repetitiu d'eines vibratòries.

3.2.2. Què és la vibració

La vibració és un moviment oscil·latori repetitiu d'un objecte o sistema que es desplaça de la seva posició d'equilibri. Aquest moviment pot ser de compressió i dilatació en les ones longitudinals o d'oscil·lació transversal en les ones transversals.

Les vibracions poden ser causades per diversos factors, com l'aplicació de forces externes, l'alliberament d'energia interna o l'excitació per una font externa. Aquestes vibracions poden ser mesures en termes de freqüència, amplitud i longitud d'ona, i poden ser analitzades per a determinar la naturalesa de les ones i el seu comportament en diferents mitjans.

En la pràctica, els senyals de vibració solen estar formades per moltes freqüències que es produeixen simultàniament. Per tant, només amb mirar un patró d'amplitud respecte al temps no podem saber de manera immediata quants components vibren i amb quines freqüències. [30]

Per a distingir els diferents components, cal representar l'amplitud de vibració respecte a la freqüència. Un anàlisi en freqüència és la descomposició dels senyals de vibració en components de freqüència individuals. Aquesta tècnica pot considerar-se la pedra angular de les mesures de vibració que es realitzen amb finalitats de diagnòstic. El gràfic que mostra els nivells de vibració en funció de la freqüència es denomina espectrograma de freqüència. [30]

Quan fem una anàlisi en freqüència de les vibracions d'una màquina, normalment trobem diversos components de freqüència prominents, que apareixen de manera periòdica i que guarden una relació directa amb els moviments fonamentals de diferents elements de la màquina. Per tant, a l'anàlisi en freqüència permet identificar l'origen de les vibracions indesitjables. [30]

La vibració juga un paper important en molts fenòmens naturals i tecnològics, incloent-hi la propagació d'ones sonores, la transmissió d'energia en sistemes mecànics i la generació d'electricitat en dispositius com els generadors elèctrics.

3.2.3. Quantificació del nivell de vibració

La quantificació del nivell de vibració es refereix al mesurament i expressió numèrica de la magnitud de les vibracions en un sistema o objecte. La magnitud més comunament utilitzada per a expressar el nivell de vibració és l'amplitud, que es refereix a la màxima desviació de la posició d'equilibri d'un objecte durant la vibració. L'amplitud es pot expressar en unitats com a mil·límetres (mm) o mil·límetres per segon (mm/s).

No obstant això, l'amplitud sovint no és suficient per a descriure completament el nivell de vibració d'un sistema, per la qual cosa s'utilitzen altres mesures addicionals.

La freqüència es refereix a la quantitat de cicles complets de vibració que ocorren en un segon, i s'expressa en Hertz (Hz).

La longitud d'ona fa referència a la distància recorreguda per una ona durant un cicle complet de vibració, i es pot expressar en unitats com a metres (m).

El valor de pic a pic és particularment valuós perquè indica l'amplitud màxima de l'ona. Resulta útil, per exemple, quan el desplaçament vibratori d'un component d'una màquina és un factor crític a l'efecte de la tensió màxima que admet. [30]

El valor pico resulta molt útil per a indicar el nivell dels impactes de curta durada. No obstant això, com es pot apreciar en la figura 3.1, els valors pico només indiquen quin és el nivell màxim, sense tenir en compte l'històric temporal de l'ona. [30]

En canvi, el valor mitjà rectificat sí que té en compte aquest històric temporal, encara que el seu interès pràctic és limitat perquè no guarda una relació directa amb cap magnitud física útil. [30]

El valor quadràtic mitjà o RMS és la mesura d'amplitud més rellevant perquè té en compte l'històric temporal de l'ona i, a més, dona un valor d'amplitud que està relacionat directament amb el contingut d'energia i, per tant, amb la capacitat destructiva de la vibració. [30]

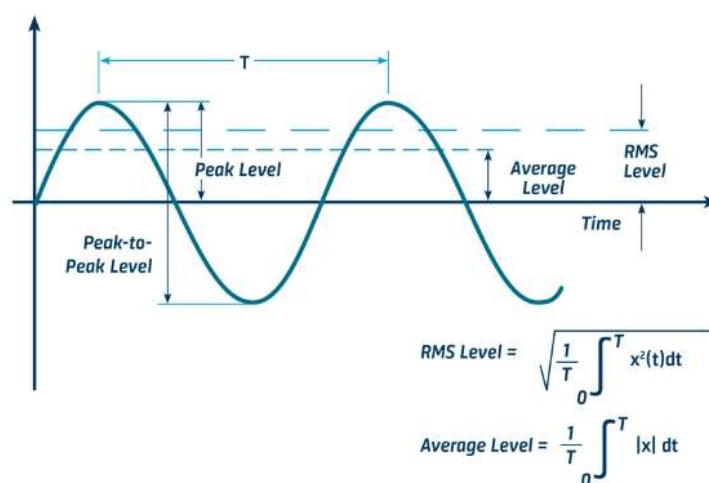


Fig. 3.1. Diagrama de magnituds de quantificació de vibració respecte del temps [30]

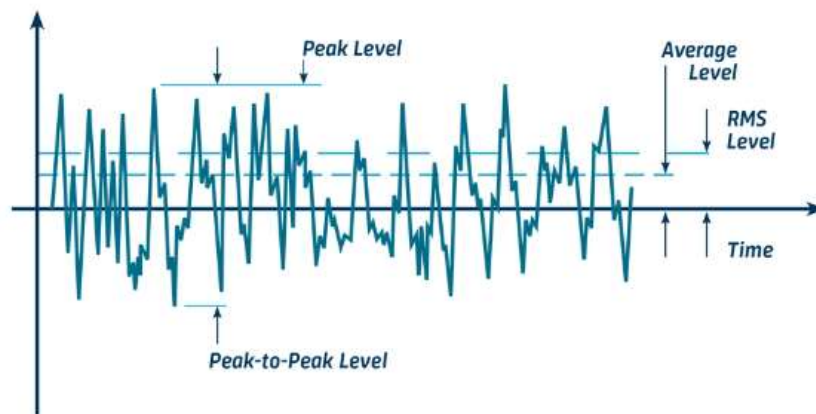


Fig. 3.2. Diagrama de magnituds de quantificació de vibració respecte del temps [30]

3.2.4. Unitats de mesura

La forma i el període de la vibració són els mateixos, amb independència que estudiem el desplaçament, la velocitat o l'acceleració. La principal diferència és el desfasament que existeix entre les corbes amplitud-temps dels tres paràmetres. [30]

En el cas dels senyals sinusoidals, les amplituds de desplaçament, velocitat i acceleració es poden relacionar matemàticament en termes de la freqüència i el temps, com es mostra gràficament en el diagrama. Si menyspreem la fase, com ocorre en les mesures de mitjanes temporals, es pot calcular el nivell de velocitat dividint el senyal d'acceleració per un factor proporcional a la freqüència. De la mateixa manera, es pot calcular el desplaçament dividint el senyal d'acceleració per un factor proporcional al quadrat de la freqüència. Els instruments de mesura realitzen internament aquestes operacions. [30]

Els paràmetres de vibració es mesuren de forma gairebé universal emprant les unitats mètriques ISO. No obstant això, és molt habitual utilitzar el valor de la gravetat "g" per a expressar l'acceleració, encara que no forma part del sistema ISO d'unitats coherents. [30]

3.2.5. Escales logarítmiques i en decibels

Existeixen diferents escales i normes que s'utilitzen per a quantificar el nivell de vibració, depenent del context i les aplicacions específiques. Per exemple, l'escala logarítmica de decibels (dB) s'utilitza sovint en l'anàlisi de vibracions. Això permet utilitzar l'escala de

decibels com a ajuda per a comparar nivells. El decibel (dB) és la relació d'un nivell respecte a un nivell de referència i, per tant, no té dimensions.

The dB Scale

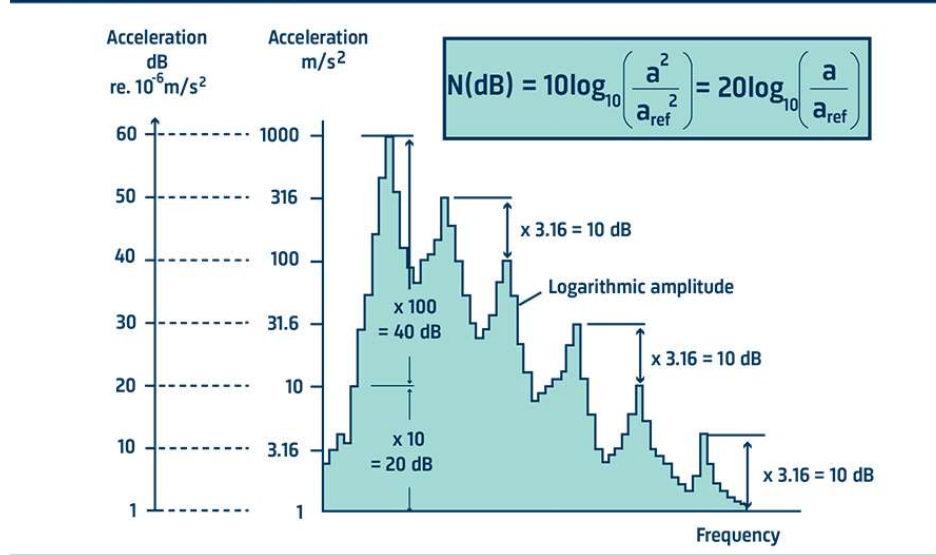


Fig. 3.3. Diagrama de l'escala de decibels respecte de la freqüència [31]

Per a expressar la magnitud d'un nivell de vibració en decibels, es pren la relació logarítmica entre la magnitud de referència i la magnitud mesurada. Per exemple, si la magnitud de referència és d'1 mm i la magnitud mesurada és de 10 mm, el nivell de vibració es pot expressar com 20 dB.

L'escala logarítmica i l'ús de decibels tenen una sèrie d'avantatges en l'anàlisi de vibracions. En primer lloc, permet una comparació fàcil i precisa dels nivells de vibració en una àmplia gamma de magnituds. A més, permet una representació visual més clara i comprensible de la relació entre els nivells de vibració, la qual cosa és útil en la identificació i solució de problemes de vibració en diferents aplicacions.

3.2.6. Instrument de mesura de vibracions: l'acceleròmetre.

Principi bàsic de funcionament.

El principi bàsic de funcionament d'un acceleròmetre es basa en la segona llei de Newton o principi fonamental de la dinàmica, que estableix que les acceleracions que experimenta un cos són proporcionals a les forces que rep. [32]

$$F = m \cdot a \quad (3.1)$$

En el cas d'un acceleròmetre, la massa és fixa, per la qual cosa si es coneix la força neta aplicada, es pot calcular l'acceleració. Aquests mesuren l'acceleració en unitats "g", on 1g es defineix com l'acceleració gravitacional de la terra aplicada sobre un objecte.

Els sensors acceleròmetre mesuren la força neta aplicada en un eix donat, per mesurar l'acceleració en tres dimensions, s'utilitzen acceleròmetres de tres eixos (x, y, z), els quals son ortogonals. Depenent del tipus de sensor, el senyal generada pot ser analògica o digital.

Característiques dels acceleròmetres.

- **Sensibilitat:** La sensibilitat d'un acceleròmetre es refereix a la variació de la magnitud de sortida, que és el voltatge, amb la d'entrada, que és l'acceleració. És a dir, la quantitat de canvi de senyal elèctric generat pel dispositiu en relació a un canvi en l'acceleració mesurada. La sensibilitat sol mesurar-se en unitats V/g (volts per gravetat).

En el cas dels acceleròmetres piezoelèctrics una alta sensibilitat implica un acceleròmetre relativament gran i pesat, encara que no és un problema crític ja que els pre-amplificadors moderns estan dissenyats per a acceptar senyals de baix nivell

- **Massa:** La massa d'un acceleròmetre es refereix al pes del propi dispositiu. Aquesta pot afectar la precisió i la resposta del dispositiu si l'objecte a mesurar és més lleuger. Com a regla general, es recomana que la massa de l'acceleròmetre no sigui més d'una desena part de la massa dinàmica de la part vibrant sobre la qual aquest està muntat.
- **Rang dinàmic:** El rang dinàmic d'un acceleròmetre dependrà de quant sensible sigui aquest i es refereix al rang complet d'acceleracions que pot mesurar el dispositiu. Per exemple, si un acceleròmetre té un rang dinàmic de $\pm 2g$, això significa que pot mesurar acceleracions entre $-2g$ i $2g$.

El límit inferior ve determinat pel soroll del sistema, en instruments d'ús general aquest límit és normalment $0,01 \text{ m/s}^2$. El límit superior està determinat per la resistència estructural de l'acceleròmetre.

- Rang de freqüència: Aquest és el rang de freqüències de les vibracions que pot mesurar, és a dir, el rang de freqüència sobre el qual l'acceleròmetre proporciona una sortida real. És mesurat en hertz (Hz).
- Soroll: El soroll en un acceleròmetre es refereix a la quantitat de senyal no desitjat generada pel dispositiu a la sortida. El soroll afecta a la precisió i la resolució de l'acceleròmetre, menys soroll, significa major precisió i resolució.
- Rang de temperatura: És la gamma de temperatures en les quals l'acceleròmetre pot funcionar correctament, és a dir, sense sofrir cap canvi apreciable en les seves característiques. És mesurat en graus Celsius (°C).

Classes d'acceleròmetres.

- Acceleròmetres mecànics: Els acceleròmetres mecànics funcionen mitjançant el mesurament de l'acceleració o vibració d'un objecte a través d'un component físic que es deforma sota la influència d'una força. Aquests components poden ser molles, esferes o peces amb massa, i es troben dins d'una càpsula que els protegeix de la contaminació i el desgast.

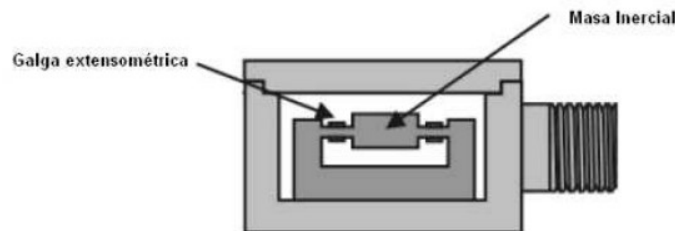


Fig. 3.4. Esquema d'acceleròmetre mecànic [33].

- Acceleròmetres piezoelèctrics: El cor d'un acceleròmetre piezoelèctric és una pastilla de material piezoelèctric (generalment una ceràmica ferroelèctrica polaritzada artificialment) on es fa present el fenomen físic "efecte piezoelèctric". Aquest efecte és una relació proporcional entre l'esforç mecànic (tracció, compressió o cisallament) aplicat a la pastilla i la càrrega elèctrica generada entre les seves cares polars. [34]

Mesurant aquest corrent podrem calcular l'acceleració, bé directament si es tracta d'un acceleròmetre de sortida de corrent (coulombs/g) o bé convertint-la a un voltatge de baixa impedància si es tracta d'un acceleròmetre de sortida de voltatge. [34]

Els acceleròmetres piezoelèctrics es diferencien d'altres tipus d'acceleròmetres, com els mecànics, en la seva capacitat per a mesurar acceleracions en múltiples direccions i la seva alta sensibilitat i precisió. A més, també són més compactes i lleugers que els mecànics, la qual cosa els fa ideals per a aplicacions en les quals es requereix una alta mobilitat i portabilitat.

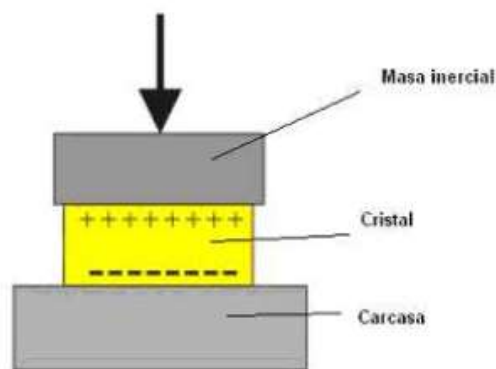
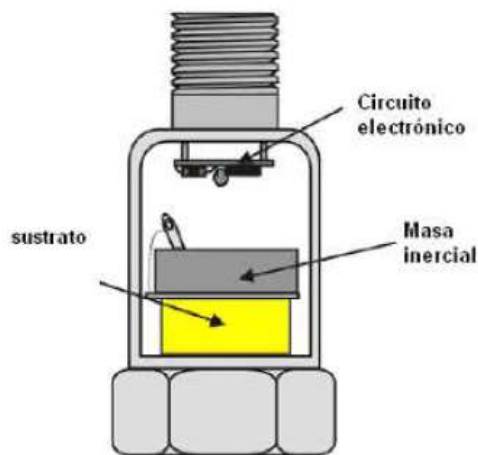


Fig. 3.5. Diagrama acceleròmetre piezoelèctric [33]

- Acceleròmetres piezo-resistius: Un acceleròmetre piezo-resistiu a diferència d'un piezoelèctric utilitza un substrat en comptes d'un cristall piezoelèctric, en aquesta tecnologia les forces que exerceix la massa sobre el substrat varien la seva resistència, que forma part d'un circuit que mitjançant un pont de Whetstone mesura la intensitat del corrent. [33]

L'avantatge d'aquesta tecnologia respecte a la piezoelèctrica és que poden mesurar acceleracions fins a zero Hz de freqüència.

- Acceleròmetres capacitius: Els acceleròmetres capacitius funcionen a través de la detecció de canvis en la capacitància entre dos elèctrodes a causa de l'acceleració a la qual està sotmès. L'acceleració produeix un canvi en la separació dels elèctrodes, la qual cosa al seu torn produeix un canvi en la capacitància. Aquesta es pot mesurar per a determinar la magnitud i direcció de l'acceleració.



- Fig. 3.6. Diagrama acceleròmetre piezo-resistiu [33]

- Acceleròmetres tèrmics: Aquests funcionen a través de l'ús d'un material sensible a la temperatura, que s'expandeix quan és afectat per l'acceleració. L'expansió del material es tradueix en un canvi en la seva resistència elèctrica, el qual pot ser mesurat i convertit en un senyal elèctric.

Hi ha dos tipus principals d'acceleròmetres tèrmics: els acceleròmetres tèrmics de barra i els acceleròmetres tèrmics d'anell. Els acceleròmetres tèrmics de barra funcionen mitjançant l'expansió d'un material sensible a la temperatura en forma de barra, mentre que els acceleròmetres tèrmics d'anell funcionen mitjançant l'expansió d'un material en forma d'anell

- Acceleròmetres micro-mecanitzats (MEMS): Els acceleròmetres micro-electromecànics (MEMS) són un tipus avançat de sensors que permeten mesurar l'acceleració i la vibració en una àmplia gamma de freqüències. La tecnologia es basa en la utilització d'elements sensorials microscòpics que es troben en una membrana vibrant. La vibració de la membrana es tradueix en un canvi en la posició de l'element sensorial, que es mesura i es converteix en un senyal elèctric.

A més de la capacitat de mesurar l'acceleració i la vibració, els acceleròmetres MEMS també tenen altres avantatges, incloent-hi la seva grandària petita i el seu baix cost. Això els fa ideals per a aplicacions que requereixen un mesurament precís de l'acceleració en un ambient de baixa grandària i baix cost.

En principi aquests dispositius poden fabricar-se com qualsevol tipus de semiconductor a partir d'oblies de silici o de vidre, encara que existeixen mètodes avui dia mes avançats de fabricació com per exemple: micro-maquinat de silici de cos, micro-mecanitzat de silici superficial, micro-mecanitzat de silici en volum i fotolitografia, modelat de plàstic (LIGA) i mecanitzat per electró-descàrrega (EDM)[35].

Influències ambientals.

Algunes de les influències ambientals que poden afectar la precisió dels mesuraments d'un acceleròmetre son:

- Temperatura: Tels acceleròmetres es lliuren amb una corba de calibratge de sensibilitat versus temperatura perquè els nivells mesurats puguin corregir-se pel canvi en la sensibilitat de l'acceleròmetre quan es mesura a temperatures més altes o més baixes que 20 °C. [34]
- Soroll de cable: El soroll elèctric en els cables pot ser una font d'interferència i pot generar errors en els mesuraments. [34]
- Camp magnètic: Els camps magnètics externs poden influir en la precisió dels mesuraments dels acceleròmetres . La sensibilitat magnètica dels acceleròmetres piezoelèctrics és molt baixa, normalment menor de 0,01 a 25 m/s² per k graus en l'orientació menys favorable de l'acceleròmetre en el camp magnètic. [34]
- Humitat: Els acceleròmetres estan protegits contra la humitat gràcies a un segellament hermètic realitzat amb adhesiu epòxi o soldadura. Són de confiança en ambients humits i es poden utilitzar en un líquid per un temps curt. En instal·lacions permanents en àrees humides o en contacte amb líquids, s'han d'utilitzar acceleròmetres industrials amb cables injectats. [36]

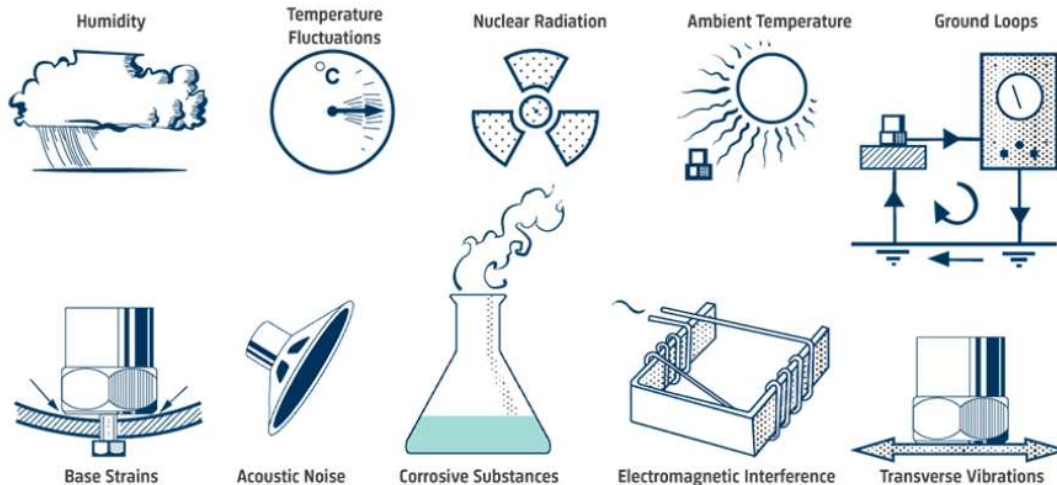


Fig. 3.7. Exemples gràfics d'influències ambientals en els acceleròmetres [36]

- Deformació de la base: Quan es munta un acceleròmetre sobre una superfície sotmesa a una deformació variable, la deformació que es transmet a l'element sensor es reflecteix en el senyal de sortida. Per a minimitzar aquest efecte, existeixen acceleròmetres amb bases més gruixudes i rígides. [36]
- Substàncies corrosives: Els materials utilitzats en la construcció dels acceleròmetres tenen una alta resistència a la majoria dels agents corrosius que es troben en la indústria. Els seus components principals són el titani i l'acer inoxidable. [34]
- Soroll acústic: En general, els sorolls emesos per la maquinària no són tan fortes com per a afectar significativament els mesuraments de vibracions.
- Vibracions transversals: Els acceleròmetres piezoelèctrics són sensibles a les vibracions que actuen en direccions diferents a les del seu eix principal. En el pla transversal, perpendicular a l'eix principal, la sensibilitat és inferior al 3-5% de la sensibilitat en l'eix principal (normalment < 2%). Normalment, la freqüència de ressonància transversal ve a ser entorn de 1/3 de la freqüència de ressonància en l'eix principal. [36]

3.2.7. Etapes en el mesurament de les vibracions

Les etapes seguides per a mesurar i/o analitzar una vibració són les descrites a continuació:

- 1) Etapa transductor : Un transductor és un component que una magnitud física com la vibració i la converteix en un senyal elèctric proporcional a la magnitud mesurada. [37]
- 2) Etapa de condicionament del senyal: Aquesta etapa consisteix a condicionar el senyal que surt del sensor perquè pugui ser mesura adequadament. Això implica filtratge, integració, amplificació. [37]
- 3) Etapa d'anàlisi i/o mesurament: Posteriorment la senyal pot ser mesurada o analitzada amb un mesurador de vibracions que mesura el valor RMS o un analitzador de vibracions que realitza un anàlisi espectral. [37]
- 4) Etapa de registre.

3.2.8. Tècniques d'anàlisi de vibracions

Per poder extreure el màxim d'informació existeixen diferents tècniques. A continuació es s'enumeren algunes de les tècniques més utilitzades:

- Anàlisi espectral: és descompondre el senyal vibratori en el domini del temps en els seus components espectrals en freqüència. [37]
- Anàlisi de la forma d'ona: aporta informació complementària a l'anàlisi espectral.
- Anàlisi de fase de vibracions: Es pot definir la diferència de fase entre dues vibracions d'igual freqüència com la diferència en temps o en graus amb què elles arriben als seus valors màxims, mínims o zero. [37]
- Anàlisi de les mitjanes sincròniques en el temps: Aquesta tècnica recollida senyals vibratoris en el domini temps i les suma i fa una mitjana de sincrònicament mitjançant un pols de referència repetitiu. [37]
- Anàlisi d'òrbites: Combinant dos senyals vibratoris captades per sensors situats relativament entre ells a 90è (vertical i horitzontal) en un descans de la màquina es pot obtenir el moviment de l'eix en el descans o la seva òrbita. [37]
- Anàlisi de desmodulacions: consisteix a analitzar l'envolupant del senyal temporal d'un senyal modulad. [37]

- Transformades temps-freqüència: són anàlisis tridimensionals amplitud-temps-freqüència. [37]

3.3. Mesurament i anàlisi del soroll.

El mesurament del soroll és un procés que permet determinar la intensitat i la freqüència del so produït per una màquina o dispositiu. S'utilitza en diversos sectors de la indústria per a avaluar l'impacte acústic en l'entorn i en els treballadors.

3.3.1. Què es el soroll, tipus i unitats

Una definició útil de soroll seria “tot so perillós, molest, inútil o desagradable” entenent-se com a so “el fenomen físic que provoca les sensacions pròpies del sentit humà de l'audició”. [38]

Aquestes definicions del fenomen són subjectives per la qual cosa és necessari recórrer a la física per a caracteritzar i quantificar el fenomen del soroll. Des del punt de vista físic, el soroll consisteix en variacions de la pressió atmosfèrica que es transmeten amb una determinada freqüència i una determinada amplitud a través d'un mitjà, en el nostre cas l'aire, i que resulten perceptibles per l'òrgan auditiu. [38]

Es tracta, per tant, d'una propagació d'energia mecànica en forma de fronts successius de sobrepressions. Aquest tipus d'energia es coneix com a energia sonora. [38]

Per altre banda, el soroll, segons la seva propagació temporal el pot classificar en :

- Continu: Si el seu nivell és pràcticament constant al llarg del temps.
- Intermitent: Si el nivell sonor varia de manera escalonada i ben definit.
- Variable: Si el seu nivell sonor varia de manera contínua en el temps però sense cap patró definit.
- D'impacte o d'impuls: El nivell sonor presenta pics d'alta intensitat i molt curta durada.

Quant a les unitats de mesura, el nivell de soroll es mesura en decibels (dB). Els decibels són una escala logarítmica que permet comparar diferents nivells de so i la seva intensitat.

3.3.2. Pressió i potència sonora

L'energia emesa per una font sonora en forma d'ones sonores es coneix com a potència sonora. Aquesta quantitat és determinada per la longitud d'ona, ja que una longitud d'ona més curta genera un augment de la freqüència i, per tant, un augment de l'energia acústica resultant.

El valor de la potència sonora és intrínsec a la font i no depèn de l'entorn en el qual es trobi, ja sigui en un ambient reverberant o sec.

El mesurament de la potència sonora es realitza mesurant la pressió exercida per les ones en el mitjà de propagació en un temps específic a una certa distància de la font. La unitat de mesura de la potència en el Sistema Internacional és el watt (W). [39]

L'expressió per obtenir la potència sonora és [39]:

$$PWL = 10 \text{ Log} \left(\frac{W}{1 \text{ exp-12}} \right) \quad (3.2)$$

La pressió sonora és una mesura de la intensitat de les ones sonores en l'aire, que provoquen una alternança en la pressió estàtica de l'aire. La pressió sonora es mesura en pascals (Pa). [40]

Hi ha una diferència fonamental entre la pressió atmosfèrica i la pressió sonora. Mentre que la pressió atmosfèrica canvia gradualment, la pressió sonora varia ràpidament, alternant entre valors positius i negatius. La freqüència, que és el nombre de cicles per unitat de temps, també juga un paper important en la pressió sonora. [40]

L'ésser humà no és sensible a totes les freqüències sonores, sinó només a les audiofreqüències, que van des dels 20 fins als 20,000 Hz. Això és el que produeix la sensació de so a l'oïda humà.

3.3.3. Mesurador bàsic del nivell de soroll.

Entre els instruments de mesura del soroll cal citar els sonòmetres, els dosímetres i els equips auxiliars. L'instrument bàsic és el sonòmetre, format per un micròfon, un preamplificador,

un sistema de processament del senyal i una pantalla, mesura de manera directa el nivell de pressió sonora d'un soroll, ja sigui instantani (sonòmetre convencional) o fet una mitjana d'en el temps (sonòmetre integrador). El sonòmetre convencional serveix per a mesurar soroll estable, mesura el Nivell de Pressió Acústica Ponderat (LpA), mentre que el sonòmetre integrador serveix per a tota mena de soroll en llocs fixos i mesura el Nivell de Pressió Acústica Equivalent Ponderat (LAeq,T). [41]

Els sonòmetres es classifiquen per la seva precisió, des del més precís (tipus 0) fins al més imprecís (tipus 3). El tipus 0 sol utilitzar-se en laboratoris, el tipus 1 s'empra per a realitzar altres mesuraments de precisió del nivell sonor, el tipus 2 és el mesurador d'ús general, i el tipus 3, el mesurador d'inspecció, no està recomanat per a ús industrial. [42]

Els sonòmetres també inclouen dispositius de ponderació de freqüències, que són filtres que permeten el pas de la majoria de les freqüències però que discriminen unes altres. El filtre més utilitzat és la xarxa de ponderació A, desenvolupada per a simular la corba de resposta de l'oïda humana a nivells d'escolta moderats. [42]

El dosímetre és un monitor d'exposició que utilitza un micròfon i una sèrie de circuits mesuradors de pressió sonora. La dosi acumulada en el temps es reflecteix en un monitor que permet conèixer el % de dosi de soroll rebut, ja sigui durant tota la jornada laboral o al llarg d'un determinat nombre de cicles de treball. Serveix per a tota mena de sorolls en llocs fixos i mòbils. [41]

3.3.4. El micròfon: part fonamental del sonòmetre.

Principi bàsic de funcionament i components.

Els micròfons funcionen convertint les ones de so en senyals elèctrics. Això s'aconsegueix mitjançant un element vibrant, generalment un diafragma fet d'un material prim com el plàstic, que respon a les pressions del so i es mou. El moviment del diafragma és convertit en un senyal elèctric a través d'un material piezoelèctric, com un cristall de quars, o mitjançant la variació de la capacítancia en un micròfon condensador. El senyal elèctric produït pel micròfon pot ser processada i amplificada abans de ser enviada a un sistema d'enregistrament o transmissió. [43]

El micròfon esta compost per diferents components per tal de funcionar. Principalment son el diafragma o pastilla, que es el dispositiu que capta vibracions; el dispositiu transductor (element o càpsula), que pot estar construïda de diferents maneres i que segons el model de transductor es poden classificar els micròfons en dinàmics, de condensador, de carbó o piezoelèctrics; la reixeta, que és l'element que protegeix el diafragma; i la carcassa, que és el recipient on es col·loquen els components. [44]

Tipus de micròfons.

- Micròfon de condensador: També anomenat «micròfon electroestàtic» o «micròfon de capacitància», en aquesta mena de micròfons el diafragma actua com una placa que «condensa» les vibracions de les ones sonores, que produeixen canvis a causa de la variació de la distància que hi ha entre el diafragma i la placa. [44]
- Micròfon dinàmic: També coneguts com a micròfons magneto-dinàmics es basen en la inducció electro-magnètica. Una bobina d'inducció mòbil connectada a un diafragma i embolicada al voltant d'un imant permanent converteix la pressió del so en un senyal elèctric. Una variació és el micròfon de cinta, que empra una prima cinta de metall com a diafragma i transductor.

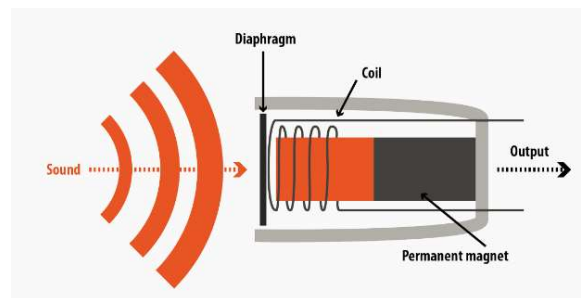


Fig. 3.8. Funcionament d'un micròfon dinàmic [43]

- Micròfon de carbó: Aquest tipus de micròfon empra una càpsula o botó que alberga grànuls de carbó comprimits entre dues plaques metàl·liques. En aplicar un voltatge a través d'aquestes plaques, es genera un corrent elèctric que flueix cap al carbó. Una de les plaques, anomenada diafragma, vibra en harmonia amb les ones de so incidents, exercint una pressió variable sobre els grànuls de carbó. La variació de pressió provoca la deformació dels grànuls, la qual cosa resulta en un canvi en l'àrea de contacte entre els parells adjacents. [44]

- Micròfon piezoelèctric: Funcionen segons el principi que uns certs materials cristal·lins, com el quars, emeten una càrrega variable quan se sotmeten a tensió mecànica, ja sigui per acceleració o, en aquest cas, per pressió sonora. [43]

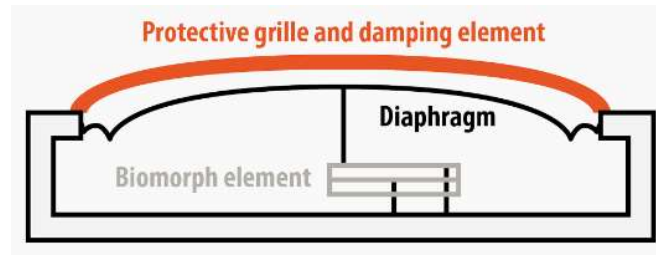


Fig. 3.9. Disseny típic d'un micròfon piezoelèctric [43]

- Micròfon de fibra òptica: Un micròfon de fibra òptica converteix les ones acústiques en senyals elèctrics mitjançant la detecció de canvis en la intensitat de la llum, en lloc de detectar canvis en la capacitància o en camps magnètics, com amb els micròfons convencionals. [44]
- Micròfon làser: Un raig làser es dirigeix a la superfície d'una finestra o una altra superfície plana que es veu afectada pel so. Les vibracions d'aquesta superfície canvien l'angle en el qual el feix es reflecteix, permetent detectar el moviment del punt del feix làser, que després de tornar a l'equip es converteix en un senyal d'àudio. [44]
- Micròfon micro-electro-mecànic (MEMS): Els micròfons del tipus MEMS es poden mecanitzar amb una grandària inferior a 3 x 2 x 1 mm. La majoria consisteixen en un diafragma sensible a la pressió que ha estat gravat directament en una oblea de silici mitjançant processament de MEMS. Sovint tenen un preamplificador integrat i també solen incloure un ADC que converteix el so analògic en un flux de dades digital.

Influències ambientals.

- Vent: El vent pot causar soroll i distorsió en el senyal d'àudio capturada pel micròfon. Per a combatre això, s'utilitzen parabòlics, protectors de vent o filtres pop.

- Humitat: En la majoria dels casos, els nivells d'humitat relativa de fins al 90% tindran un efecte insignificant en el mesurador de nivell de so i el micròfon. No obstant això, s'ha d'anar amb compte per a protegir l'instrument de la pluja, la neu i altres. Sempre s'ha de col·locar un parabrisa sobre el micròfon durant la precipitació. No obstant això, per a ús continu en ambients extremadament humits, es recomanen micròfons especials per a exteriors. [45]
- Temperatura: Els canvis bruscos de temperatura poden afectar l'estabilitat dels components electrònics del micròfon i causar problemes de funcionament, com l'acumulació de condensació a l'interior.
- Pressió ambiental: Les variacions en la pressió atmosfèrica de $\pm 10\%$ tindran una influència insignificant (menys de $\pm 0,2\text{dB}$) en la sensibilitat del micròfon. No obstant això, a grans altituds, la sensibilitat pot veure's afectada per mes que això, especialment a altes freqüències, i s'ha de consultar el manual d'instruccions del micròfon. [45]
- Vibració: Si el micròfon ha d'usar-se en un entorn d'alta vibració es poden usar coixinets de goma-escuma o un material aïllant similar.
- Camps magnètics: Els camps magnètics poden interferir amb el senyal d'àudio capturada pel micròfon, causant distorsió i soroll.
- Soroll ambiental: El soroll ambiental pot deure's a una o més fonts (com el trànsit, aparells electrònics pròxims, multituds i més) i també pot incloure reflexos de parets, sostres i altres màquines i barrejar-se amb el senyal desitjat, la qual cosa pot resultar en una qualitat de so baixa i distorsionada.

3.3.5. Mètodes de mesurament de soroll

Actualment s'especifiquen tres mètodes de mesura del soroll:

- El mètode de control: Aquest és el mètode que menys temps i equip necessita. Es mesuren els nivells de soroll d'una zona de treball amb un sonòmetre, utilitzant un nombre limitat de punts de mesura. Encara que no es realitza una anàlisi detallada de l'ambient acústic, cal observar els factors temporals, com per exemple si el soroll és

constant o intermitent i quant temps estan exposats els treballadors. Sol utilitzar-se la xarxa de ponderació A. [42]

- El mètode d'enginyeria: Amb aquest mètode, els mesuraments del nivell sonor amb factor de ponderació A o les que utilitzen altres xarxes de ponderació es complementen amb mesuraments que utilitzen filtres de banda d'octava o de terç de banda vuitena. El nombre de punts de mesurament i les gammes de freqüències es decideixen en funció dels objectius de mesurament. Aquest mètode és útil per a avaluar la interferència amb la comunicació parlada calculant els nivells d'interferència conversacional (SIL). [42]
- El mètode de precisió: Aquest mètode és necessari en situacions complexes, en les quals es requereix la descripció més minuciosa del problema de soroll. Els mesuraments globals del nivell sonor es complementen amb mesuraments en banda d'octava o de terç d'octava i es registren historials d'interval de temps apropiats en funció de la durada i les fluctuacions del soroll. [42]

3.4. Mesurament i anàlisi de la il·luminació.

El mesurament de la il·luminació és un procés important per a avaluar la quantitat de llum present en una àrea determinada. Això es fa amb un dispositiu anomenat luxímetre, que mesura la intensitat de la llum en unitats de lux. El mesurament de la il·luminació és útil per a una varietat de propòsits, incloent-hi el disseny d'il·luminació, l'avaluació de l'eficiència energètica i la identificació de problemes d'il·luminació.

En el disseny d'il·luminació, el mesurament de la il·luminació és fonamental per a garantir que es compleixi amb els requisits d'il·luminació especificats. Això inclou la determinació de la quantitat de llum necessària per a una tasca específica i la identificació de les àrees que requereixen més o menys llum.

3.4.1. Què és la llum

La llum és una forma d'energia electromagnètica que viatja a través de l'espai en forma d'ones i és percebuda pels éssers humans com a visió. En física, el terme llum es considera

com a part del camp de les radiacions conegut com a espectre electromagnètic, mentre que l'expressió llum visible assenyalava específicament la radiació en l'espectre visible.

La llum visible és només una petita part de l'espectre electromagnètic, que inclou radiacions com a raigs X, raigs ultraviolats, microones i ones de ràdio.

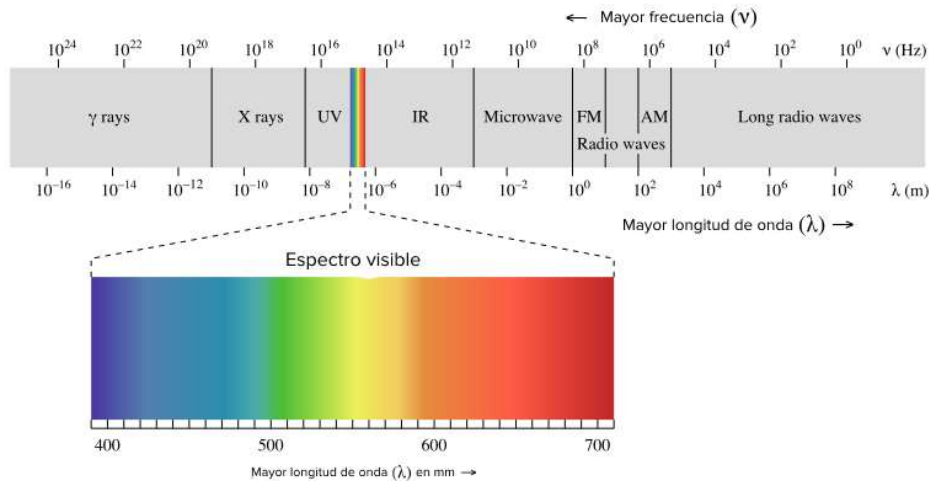


Fig. 3.10. Espectre electromagnètic [46]

3.4.2. Magnituds lumíniques

Flux Iluminós

És la quantitat d'energia, en forma lluminosa, emesa per una font. La seva unitat de mesura en el Sistema Internacional d'Unitats és el lumen (Lm) i el seu símbol és Φ. [47]

Intensitat lluminosa

És el flux lluminós per unitat d'angle sòlid en una direcció concreta. El seu símbol és I i la unitat en el sistema internacional és la candela (Cd). [47]

Matemàticament la seva expressió és:

$$I = \Phi/w \tag{3.3}$$

On la I és la intensitat lluminosa, Φ és el flux lluminós i w és l'angle sòlid en estereoradians.

Nivell d'il·luminació

Es coneix també com il·luminació. És el quocient del flux lluminós incident sobre un element de la superfície que conté el punt per l'àrea d'aquest element. Es representa amb el símbol E i la seva unitat és el lux ($Lx=Lm/m^2$). [47]

Matemàticament la seva expressió és:

$$E = \Phi/S \quad (3.4)$$

On E es el nivell d'il·luminació expressat en lux, Φ es el flux lluminós incident en una superfície i S és la superfície en m^2

Luminància

També es denomina lluentor fotomètrica. La luminància es defineix com la densitat angular, rectangular i superficial de flux lluminós que incideix, travessa o emergeix d'una superfície seguint una direcció determinada. Alternativament, també es pot definir com la densitat superficial d'intensitat lluminosa en una direcció donada. [48] Les seves unitats son els Nits o candela per metre quadrat (Cd/m^2).

3.4.3. Propietats òptiques

Reflexió

La reflexió és la propietat física que es produeix quan la llum incideix en una superfície (ja sigui d'un sòlid, líquid o gas) i reflecteix un feix de llum seguint la llei de la reflexió.

Aquesta propietat és important perquè, si en l'entorn laboral les superfícies són brillants, és més probable que existeixin problemes d'enlluernaments.

Refracció

Es produeix una refracció quan el feix de llum és desviat de la trajectòria en travessar una superfície que separa dos mitjans diferents [47] En aquest cas seguirà la llei de la refracció que consisteix en:

$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta \quad (3.5)$$

De l'equació, n_1 és l'índex de refracció del primer medi, α és l'angle d'incidència, n_2 és l'índex de refracció del segon medi i β és l'angle de refracció.

Transmissió

La transmissió és una doble refracció. El pas de la llum per una finestra amb cristall es trobaria en aquest cas. En primer lloc la llum arriba al cristall amb un angle determinat, el primer mitjà és l'aire. A continuació ha de travessar un altre mitjà que és el propi cristall, es produeix llavors una primera refracció. La segona refracció es produirà en passar del cristall a l'aire interior. [47]

Absorció

L'absorció és un fenomen que està molt relacionat amb el color. En incidir una llum blanca (llum que emet en totes les longituds d'ona de l'espectre visible) en una superfície, aquesta absorbirà la llum procedent d'unes longituds d'ona i transmetrà unes altres. Aquest fenomen determinarà que l'ull humà detecti el color que correspon a aquelles longituds d'ona que aquesta superfície hagi emès. No podrà detectar aquelles que s'hagin absorbit. [47]

3.4.4. Instrument de mesura de la il·luminació: el luxímetre.

Principi de funcionament.

El luxímetre modern funciona segons el principi d'una cèl·lula C.C.D. o fotovoltaica; un circuit integrat rep una certa quantitat de llum (fotons que constitueixen el "senyal", una energia de lluentor) i la transforma en un senyal elèctric (analògica). Aquest senyal és visible pel desplaçament d'una agulla, l'encesa d'un díode o la fixació d'una xifra. Una fotoresistència associada a un ohmímetre exerciria el mateix paper.[49]

Un filtre de correcció d'espectre permet evitar que les diferències d'espectre falsegin la mesura (la llum groga és més eficaç que la blava, per exemple, per a produir un electró a partir de l'energia d'un paquet de fotons).[49]

Característiques del luxímetre.

- Rang de mesurament: Els luxímetres tenen diferents rangs de mesurament, des d'uns pocs lux fins a diversos milers de lux, la qual cosa els permet mesurar la intensitat de la llum en diferents situacions i contextos. [50]

- Precisió: La precisió d'un luxímetre es refereix a l'exactitud del mesurament. Els luxímetres d'alta qualitat tenen una precisió de +/-2% o millor. [50]
- Resolució: La resolució d'un luxímetre es refereix a la capacitat de l'instrument per a detectar petites diferències en la intensitat de la llum. Els luxímetres amb una alta resolució poden detectar diferències tan petites com 0.1 lux. [50]
- Calibratge: Els luxímetres han de ser calibrats periòdicament per a garantir mesuraments precisos i consistents. Molts fabricants ofereixen serveis de calibratge per als seus productes. [50]
- Pantalla: Els luxímetres solen estar equipats amb una pantalla digital que mostra la intensitat de la llum en lux. Alguns models també tenen pantalles retro-il·luminades per a facilitar la lectura en condicions de poca llum. [50]
- Funcions addicionals: Alguns luxímetres poden tenir funcions addicionals, com el mesurament de la temperatura i la humitat, la capacitat d'emmagatzemar dades, la connexió a un ordinador per a descarregar dades, i la capacitat de realitzar mesuraments en diferents unitats de mesura. [50]

Classes de luxímetres.

Existeixen diversos tipus de luxímetres, que s'utilitzen per a mesurar la il·luminació en diferents àrees i superfícies. Els luxímetres més comuns inclouen el luxímetre de mà, que és adequat per a mesurar la il·luminació tant en interiors com en exteriors; el luxímetre de cosinus, que utilitza un fotòmetre amb un sensor de cosinus per a mesurar la il·luminació en angles diferents; el luxímetre d'integració, que utilitza la integració de temps per a mesurar la il·luminació en àrees on la llum canvia constantment; el luxímetre digital, que utilitza la tecnologia digital per a proporcionar una lectura precisa i és fàcil d'usar; i el luxímetre de nivell de luminància, que mesura el nivell de luminància en una superfície determinada i és adequat per al seu ús en la indústria, la construcció i la salut. [50]

Influències ambientals.

- Temperatura: si la temperatura és molt baixa o molt alta la mesura presa amb el luxímetre es pot veure afectada.

- Humitat: Si la humitat és molt alta es pot produir una acumulació de condensació en el sensor, cosa que pot afectar a la mesura presa.
- Presència d'altres fonts de llum: Per exemple, si hi ha una font de llum artificial, pot haver-hi una interferència en la mesura de la intensitat de llum natural.
- Qualitat del sensor: Si el sensor està desgastat o danyat es pot produir una subestimació o sobreestimació de la intensitat de la llum.
- Qualitat de la font de llum: Si la font de llum és de baixa qualitat es pot produir una subestimació o sobreestimació de la intensitat de la llum.
- Direcció de la llum: Si la llum incideix directament sobre el sensor, la mesura serà més precisa que si la llum incideix de manera obliqua.

3.5. Problemes derivats de les vibracions, soroll i la il·luminació.

3.5.1. Efectes de l'exposició a les vibracions.

La vibració a la qual està sotmesa una persona podrà ser unidireccional i en una sola freqüència, la qual cosa sol ser més habitual, o en diverses direccions i freqüències. Per aquest motiu, quan es mesuren vibracions, es prenen com a referència els tres eixos. [51]

La manera de transmissió de les vibracions en el cos humà es classifica en dos:

- Vibracions de cos complet: es transmeten a través dels seients o dels peus.
- Vibracions mà-braç: es transmeten per les mans del treballador a través generalment de l'agarrar d'eines mecàniques.

La transmissió de les vibracions en el cos humà pot ser l'origen de danys directes a la salut, però també és causant d'efectes psicofisiològics, subjectius i de comportament.

Efectes psicofisiològics mà-braç

Els trastorns poden ser:

- Trastorns vasculars: el més conegut és l'anomenat fenomen de Raynaud (o dit blanc induït per vibracions). Consisteix en una oclusió temporal de la circulació sanguínia als dits, provocant una sensació de pal·lidesa o dit blanc. [51]
- Trastorns neurològics: un altre efecte és la sensació de formigueig i entumiment en els dits i a la mà. [51]
- Trastorns osteo-articulars: s'observa un increment de lesions en ossos i articulacions en els treballadors que utilitzen eines de percussió. [51]
- Trastorns musculars: pot produir feblesa muscular i dolors en mà i braços, així com una disminució de la força d'agafament. [51]
- Altres trastorns: s'han relacionat amb pèrdua auditiva, encara que no se sap bé si es deu a l'associació de soroll que solen comportar les vibracions o directament a les pròpies vibracions. [51]

Efectes psicofisiològics cos complet

Els efectes aguts poden ser:

- Trastorns respiratoris: poden provocar hiperventilació, causada, probablement, per la influència mecànica de les vibracions sobre el diafragma i el pit. [51]
- Trastorns múscul-esquelètics: en alguns estudis s'ha observat que les vibracions activen alguns músculs. Aquesta activació produeix moviments musculars passius i involuntaris. [51]
- Trastorns sensorials i del sistema nerviós central: les vibracions de gran amplitud provoquen el que es coneix com “mal del moviment” o “mareig induït pel moviment”. [51]
- Altres efectes: poden aparèixer problemes com a augment de la freqüència cardíaca, de la pressió arterial i del consum d'oxigen. També s'han observat canvis en els nivells d'algunes hormones, com ara les catecolamines i l'adrenocorticotròpica. [51]

Els efectes a llarg termini poden ser:

- Efectes sobre el sistema múscul-esquelètics: quan les vibracions es prolonguen en el temps, els canvis en la columna vertebral poden resultar patològics. Poden produir una alta incidència de canvis degeneratius i desviacions de la curvatura, fonamentalment en la part lumbar. [51]
- Efectes sobre el sistema nerviós: les principals alteracions es produeixen en exposicions per sobre dels 20 Hz. Aquestes solen ser inespecífiques, com a cefalees, irritabilitat, etc. [51]
- Efectes sobre el sistema coclear-vestibular: pot provocar una major incidència de les pertorbacions vestibulars, com és el cas del vertigen. [51]
- Efectes sobre el sistema circulatori: hi ha una diversitat de trastorns circulatoris relacionats amb les vibracions. Es divideixen en quatre grups principals: trastorns perifèrics; venes varicoses en extremitats inferiors, hemorroides i varicocele; alteracions isquèmiques i hipertensió; i canvis neuro-vasculars. [51]
- Efectes sobre el sistema digestiu: l'exposició a vibracions pot provocar una major incidència d'alteracions de l'aparell digestiu: úlceres gàstriques i de duodè, gastritis, apendicitis, colitis, etc. [51]

Efectes subjectius

Aquesta es veu influïda per:

- Intensitat: la majoria dels estudis relacionen l'augment dels efectes subjectius amb l'augment en forma lineal de la intensitat. [51]
- Freqüència: en el cas de cos sencer, la màxima sensibilitat per a les vibracions es produeix en el rang d'1 a 80 Hz i en el cas de mà-braç, en el de 8-1000 Hz. [51]
- Temps d'exposició: hi ha estudis que indiquen que, a major temps d'exposició, major malestar, almenys durant la primera hora. [51]

Efectes sobre el rendiment

Els moviments no intencionals del cos poden ser causats per vibracions. Per exemple, durant una tasca visual, les vibracions poden provocar un desplaçament entre els ulls i l'objecte

d'enfocament, la qual cosa a vegades pot generar una disminució en la claredat visual i afectar al rendiment. La gamma de freqüències que és perjudicial per a la vista es troba entre 2 i 20 Hz. [51]

3.5.2. Efectes de l'exposició del soroll

L'efecte més conegut i probablement el més greu, és la pèrdua de capacitat auditiva o hipoacúsia. No obstant això existeixen altres efectes com els acúfens (sensació de xiulet en les oïdes), la interferència en la comunicació parlada o amb els senyals acústics, alteracions de la capacitat de concentració, molèsties i efectes extra-auditius. [38]

En el cas dels efectes extra-auditius o fisiològics, no es considera que tinguin una relació causal única, si no que el soroll pot ser una de les causes que, junts amb altres factors, origina aquests efectes. Entre ells es poden citar [38]:

- Augment de la freqüència respiratòria
- Augment de la tensió arterial i arterioesclerosi
- Augment de la incidència d'úlceres i de l'acidesa
- Alteracions de l'agudesia visual, el camp visual i la visió cromàtica
- Trastorns del son, cansament, irritabilitat, inquietud, inapetència sexual
- Alteracions de la concentració d'algunes hormones en la sang

3.5.3. Efectes de la mala il·luminació

Els efectes per a la salut són de caràcter variat. Els danys poden ser passatgers o convertir-se en crònics. Podríem classificar-los en:

- Trastorns de caràcter visual: Se li exigeix al sistema visual un esforç extra que podria suposar l'aparició de la fatiga visual i amb el temps una reducció de la capacitat visual. [52]
- Danys no visuals: Les males condicions d'il·luminació poden produir fatiga. La persistència en el temps de danys com la fatiga visual genera maldecaps, estrès si les dades que es manegen són molts o crítics. [52]

Dins des danys de caràcter no visual, adquireix gran importància els Trastorns múscul-esquelètics, que s'originen per l'adopció de males postures. En moltes ocasions, es deu a intentar compensar una il·luminació deficient, enlluernaments, baixos nivells d'il·luminació, etc. [52]

Adicionalment sempre existeixen els riscos relatius a la seguretat, caigudes, xoc amb objectes, etc, per una il·luminació deficient. També s'han de considerar les característiques de la il·luminació en situacions especials, per exemple zones ATEX o la il·luminació d'emergència. [52]

Cal destacar que es reconeix com a malaltia professional el “Nistagme dels miners”. Originada pel treball prolongat en condicions d'il·luminació reduïda, es caracteritza pel moviment incontrolat dels ulls. [52]

3.6. Eines actuals.

Per al mesurament de les variables de vibració, soroll i il·luminació actualment hi ha varies empreses líders en el sector de la salut i seguretat en el treball. Aquestes poden a disposició els seus serveis a altres empreses per tal de realitzar avaluacions i certificar que l'entorn laboral és l'adequat.

Per altre banda, actualment s'utilitzen diferents dispositius professionals de mesura per a cada variable i cadascun contempla diferents característiques de funcionament i mesurament.

A més a més, avui dia, degut a que tothom disposa de telèfons intel·ligents també s'ha obert un mercat d'aplicacions mòbils per a dispositius amb Android que utilitzen els diferents sensors per a obtenir valors de les diferents variables mencionades.

3.6.1. Empreses dedicades a la prevenció de riscos laborals.

El sector de l'avaluació i prevenció de riscos laborals és molt ampli i hi ha nombroses empreses que ofereixen serveis en aquesta àrea. A continuació es presenta una llista de 10 empreses líders en aquest sector, ordenades per la seva facturació anual:

DEKRA: És una empresa alemanya líder en l'àmbit de l'avaluació i prevenció de riscos laborals aliens. Ofereix serveis d'inspecció, assaig, certificació i assessorament en seguretat i salut en el treball, medi ambient, qualitat i seguretat viària. Té més de 45.000 empleats i una facturació anual d'aproximadament 3,4 bilions d'euros.[53]

Bureau Veritas: És una empresa francesa líder en serveis d'avaluació i certificació de qualitat, seguretat, salut i medi ambient. Ofereix serveis en diferents sectors com la construcció, la indústria, l'energia i el transport, entre altres. Té més de 75.000 empleats i una facturació anual d'aproximadament 4,6 bilions d'euros.[54]

SGS: És una empresa suïssa líder en serveis d'inspecció, verificació, assaig i certificació. Ofereix serveis en diferents sectors com la indústria, la construcció, l'alimentació i la salut i seguretat en el treball, entre altres. Té més de 89.000 empleats i una facturació anual d'aproximadament 6,2 bilions d'euros.[55]

Applus+ : És una empresa espanyola líder en serveis d'inspecció, assaig i certificació en diferents sectors com l'automoció, l'energia, la construcció i la indústria. Ofereix serveis de seguretat i salut en el treball, medi ambient i gestió de riscos, entre altres. Té més de 20.000 empleats i una facturació anual d'aproximadament 1,5 bilions d'euros. [56]

TÜV SÜD : És una empresa alemanya líder en serveis d'inspecció, certificació, assaig i consultoria en diferents sectors com la indústria, l'energia, l'automoció i la tecnologia mèdica, entre altres. Ofereix serveis de seguretat i salut en el treball, medi ambient i gestió de riscos, entre altres. Té més de 25.000 empleats i una facturació anual d'aproximadament 2,6 bilions d'euros. [57]

Intertek : És una empresa britànica líder en serveis d'inspecció, verificació, assaig i certificació en diferents sectors com l'alimentació, la indústria química, l'energia i la construcció, entre altres. Ofereix serveis de seguretat i salut en el treball, medi ambient i gestió de riscos, entre altres. Té més de 44.000 empleats i una facturació anual d'aproximadament 3,3 bilions d'euros. [58]

Eurofins Scientific : És una empresa francesa líder en serveis d'assaig i anàlisi de productes alimentaris, farmacèutics i mediambientals, entre altres. Ofereix serveis de seguretat i salut

en el treball i gestió de riscos, entre altres. Té més de 50.000 empleats i una facturació anual d'aproximadament 4,7 bilions d'euros. [59]

3.6.2. Equipaments professionals per al mesurament.

El vibròmetre.

Els sensors, mesuradors i analitzadors de vibracions, sovint anomenats vibròmetres, són dispositius portàtils que, gràcies a diversos mètodes de detecció de vibracions, basats en acceleròmetres o tecnologia làser, mesuren el nivell de vibració. [60]

Els vibròmetres mòbils produïts actualment sovint s'assemblen als mesuradors de paràmetres elèctrics típics: tenen una forma similar i estan equipats amb pantalles LCD multi línia similars. Els vibròmetres més moderns combinen les funcions d'un mesurador i analitzador de vibracions, un tacòmetre i un equilibrador. [60]

En termes de precisió, el rang de precisió d'un vibròmetre depèn de diversos factors, com el tipus de vibròmetre, la freqüència i l'amplitud de la vibració i les condicions ambientals. En general, els vibròmetres làser tendeixen a ser més precisos que els acceleròmetres, però també són més costosos. El rang de precisió pot variar des de fraccions de micres fins a diversos mil·límetres, depenent del tipus de vibròmetres i les condicions de mesurament.

El sonòmetre.

Un sonòmetre és un dispositiu utilitzat per a mesurar el nivell de pressió sonora, també conegut com a sonoritat o intensitat del so, en decibels (dB).

El funcionament d'un sonòmetre es basa en el principi que la pressió sonora es converteix en un senyal elèctric a través d'un micròfon. El micròfon rep el so i el converteix en un senyal elèctric que és amplificada i processada pel sonòmetre.

Els sonòmetres es classifiquen en diferents tipus o classes, segons la seva precisió i característiques tècniques. La precisió d'un sonòmetre es mesura en termes del seu nivell de tolerància o incertesa. Les classes de sonòmetres més comuns són les següents:

- Classe 1: sonòmetres d'alta precisió que s'utilitzen en aplicacions de mesurament de nivell de pressió sonora més exigents, com l'acústica arquitectònica, la recerca de soroll industrial i l'avaluació de soroll ambiental. Tenen un nivell de tolerància de +/-1.0 dB.
- Classe 2: sonòmetres d'ús general per a mesuraments de soroll en entorns laborals, l'avaluació de soroll ambiental i altres aplicacions de control de soroll. Tenen un nivell de tolerància de +/- 2.0 dB.
- Classe 3: sonòmetres de baixa precisió per a aplicacions de control de soroll més simples, com mesurar el soroll en la llar o en entorns d'oficina. Tenen un nivell de tolerància de +/- 3.0 dB.

El luxímetre.

Un luxímetre és un instrument de mesura utilitzat per a mesurar la intensitat de la llum en un lloc determinat, expressada en unitats de lux. Aquesta eina és molt útil en diverses aplicacions, com el disseny d'il·luminació, l'avaluació de la seguretat en el lloc de treball i el mesurament de la lluentor de les pantalles electròniques.

El funcionament del luxímetre es basa en un fotòmetre, que mesura la quantitat de llum que arriba a un detector fotosensible. La llum es converteix en un senyal elèctric que es processa i es mostra en la pantalla del luxímetre. La majoria dels luxímetres moderns utilitzen fotodíodes o cèl·lules fotoelèctriques per a mesurar la llum.

La precisió d'un luxímetre depèn de diversos factors, incloent-hi la qualitat del calibratge, la qualitat del detector fotosensible, i la uniformitat de la resposta del detector a diferents longituds d'ona de la llum. Els luxímetres més precisos poden tenir una precisió de fins a +/- 2% de la lectura, però la precisió generalment disminueix a mesura que disminueix la intensitat de la llum mesurada.

3.6.3. Aplicacions mòbils.

Per a l'anàlisi de les aplicacions actuals disponibles en telèfons intel·ligents amb sistema operatiu Android s'han realitzat les taules 3.1, 3.2 i 3.3 en les que es mostren les aplicacions en l'ordre de més a menys valorada per els usuaris per a vibracions, soroll i il·luminació. Només s'han tingut en compte els cinc primers resultats millor valorats pels usuaris ja que moltes aplicacions són iguals unes a les altres. S'ha valorat en una escala de l'un al cinc.

Per altre banda hi ha un conjunt d'aplicacions que es mostren a la taula 3.4 i son aquelles que permeten consultar els valors dels sensors del dispositiu i inclús algunes d'aquestes aplicacions permeten realitzar gràfiques i càlculs posteriors de les dades recopilades.

Vibracions						
Pos.	Nom	Creador	Valoració	Grandària	Actualitzada	Llançament
1	Vibration Isolation Pro	AMC MECANO-CAUCHO	4,9	13,32 Mb	01-dic-22	09-mar-16
2	Sismógrafo – Sismo Detector	Mystic Mobile Apps GPS Tools	4,5	2,75 Mb	24-abr-23	25-may-18
3	Medidor de virbaciones	EXA Tools	4,5	4,47 Mb	12-dic-22	20-oct-16
4	Sismómetro: vibrómetro	Smart Tools co.	4,5	4,35 Mb	2-may-23	29-nov-10
5	Exposición a vibraciones	INSST	-	-	15-nov-22	23-mar-16

Taula 3.1. Descripció de les aplicacions de vibració rellevants

Soroll						
Pos.	Nom	Creador	Valoració	Grandària	Actualitzada	Llançament
1	Medidor de sonido	Coolexp	4,8	3,73 Mb	17-ene-23	22-jul-22
2	Sonómetro	Splend Apps	4,8	5,39 Mb	16-nov-22	30-oct-14
3	Sonómetro	EXA Tools	4,7	4,53 Mb	08-dic-22	23-feb-16
4	Sonómetro: mediador de SPL	KTW Apps	4,6	2,9 Mb	06-feb-23	03-dic-18
5	Exposición al ruido	INSST	-	-	03-ene-23	17-mar-21

Taula 3.2. Descripció de les aplicacions de soroll rellevants

Il·luminació						
Pos.	Nom	Creador	Valoració	Grandària	Actualitzada	Llançament
1	Medidor de luz	Coolexp	4,8	1,87 Mb	29-ene-23	07-oct-22
2	Lux light meter pro	Doggo Apps	4,7	3,23 Mb	14-ene-22	06-ene-17
3	Lux Light Meter photometer PRO	Przemek Pardel	4,5	16,09 Mb	03-ene-23	20-oct-17
4	Luxómetro: Smart Luxmeter	Smart Tools co.	4,4	4,11 Mb	08-dic-22	13-sep-18
5	Medidor de luz	My Mobile Tools Dev	4,4	4,07 Mb	20-oct-19	09-ene-17

Taula 3.3. Descripció de les aplicacions d'il·luminació més rellevants

Sensors					
Pos.	Nom	Creador	Valoració	Actualitzada	Llançament
1	Información del dispositivo	Yasiru Nayanajith	4,8	30-mar-2023	17-sept-2018
2	Physics Toolbox Sensor Suite	Vieyra Software	4,7	7-ene-2023	24-mar-2014
3	phyphox	RWTH Aachen University	4,7	5-sept-2022	9-sept-2016
4	Sensores Multiherramienta	Wered Software	4,4	17-dic-2022	21-ene-2015
5	SPARKvue	PASCO scientific	4,0	12-may-2023	16-nov-2012
6	MATLAB Mobile	The MathWorks, Inc.	3,8	28-mar-2023	18-oct-2012

Taula 3.4. Descripció de les aplicacions de sensors rellevants

3.7. Estudis sobre la utilització dels mòbils per a aquests usos.

Actualment ja hi ha varis estudis sobre la utilització dels telèfons intel·ligents per a obtenir mesures de vibracions, soroll i il·luminació, alguns d'aquests son:

- *Calibración de teléfonos inteligentes para la medición de iluminación de espacios interiores. Roberto G. Rodriguez; Valeria D. Paviglianiti; Clarisa Dumit; Andrea E. Pattini. [61]*

És un estudi que té per objectiu proposar criteris de calibratge que permetin minimitzar l'error en el mesurament de la il·luminació utilitzant telèfons intel·ligents. Per a poder realitzar-ho es comparen els valor d'il·luminació obtinguts per un luxímetre professional amb quatre aplicacions Android instal·lades en dos dispositius mòbils. Posteriorment, s'utilitzen dos criteris de calibratge diferents, el primer per mitjà d'un factor de correcció i el segon per una funció de potència.

- *Medición de niveles de iluminación con teléfonos inteligentes. ¿Se puede reemplazar a un luxómetro? - Rodriguez, Roberto Germána ; Dumit, María Clarisab ; Pattini, Andrea [62]*

Aquest estudi té per objectiu determinar l'exactitud de diferents aplicacions de mesurament de la il·luminació a partir de la comparació sistemàtica amb un patró de referència. Amb un error mig del 81,4%, els resultats obtinguts son consistents amb els ja existents en la literatura actual.

- *Uso de dispositivos móviles inteligentes en la medición de ruido ambiente y publicación en un geoportal. – Diego Pacheco; Priscila Samaniego [63]*

En aquest estudi es desenvolupa una aplicació que envia informació capturada en temps real, un servidor ho emmagatzema i es realitza un processament de les dades utilitzant geo-estadística. La publicació a internet es realitza a través dels serveis *Web Map Service* en la *Infraestructura de Datos Espaciales* de la *Universidad del Azuay*.

- *Soluciones basadas en tecnología wearable para la valoración de vibraciones en el puesto de Trabajo que afectan al sistema mano brazo. – Luis Francisco Sigcha Guachamin [64]*

Es tracta d'un treball de final de màster de la universitat politècnica de Madrid el qual analitza la tecnologia *wearable* per a la valuació de riscos laborals relacionats amb les vibracions, concretament amb les vibracions que afecten el sistema ma-braç. Per això, en aquest treball es realitza un anàlisi de viabilitat que presenten els rellotges intel·ligents ja que tots disposen de sensors de baix cost MEMS.

- *Comparación de variables sobre iluminación y sonido obtenidas con equipos profesionales de medición versus obtenidas con teléfonos inteligentes. – Erika Patricia Ramírez Oliveros [65]*

En aquest treball de final de carrera es fa un estudi comparatiu sobre la il·luminació i el soroll obtinguts amb equips professionals de mesurament i els valors obtinguts de diferents telèfons intel·ligents utilitzant varies aplicacions.

4. Objectius i especificacions tècniques

4.1. Objectiu general.

Poder comparar les variables obtingudes en el mesurament de les vibracions, soroll i il·luminació amb equips calibrats professionals versus amb les aplicacions que poden utilitzar els telèfons intel·ligents, per a comprovar si es possible obtenir d'un altre mètode exacte i precís de mesurar la vibració, el soroll i la il·luminació.

4.2. Objectius específics.

- Analitzar els diferents tipus d'aplicacions disponibles per als usuaris sobre vibració, soroll i il·luminació per a telèfons intel·ligents.
- Dissenyar diferents assajos que permetin el mesurament de les vibracions, soroll i il·luminació utilitzant les aplicacions de referència per a telèfons intel·ligents i dispositius de mesurament professionals i calibrats.
- Desenvolupar els assajos de presa de mesuraments en els diferents entorns dissenyats amb les aplicacions de referència per a telèfons intel·ligents i dispositius de mesurament professionals i calibrats.
- Analitzar els resultats obtinguts amb ambdós mètodes de mesurament.
- Determinar si les aplicacions de referència dels dispositius intel·ligents ofereixen igual o major exactitud i precisió respecte dels equips calibrats professionals de mesurament.

4.3. Especificacions tècniques.

Llista de referència d'especificacions tècniques	
Conceptes	Determinacions
Funció	Captar les dades dels sensors del telèfon intel·ligent amb sistema operatiu Android per a poder analitzar-les i comparar-les amb els valors obtinguts en equips de mesurament professionals.
Forces	Cada sensor del telèfon intel·ligent captarà la variable de vibració, soroll i il·luminació amb les unitats pròpies d'aquesta en el sistema internacional d'unitats. <ul style="list-style-type: none"> - Acceleròmetre [m/s²] - Micròfon [dB] - Sensor de llum ambiental [lux]
Materials	Els materials necessaris son: <ul style="list-style-type: none"> - Dispositius intel·ligents amb Android - Bombeta LED amb porta-bombeta - Altaveu amb base - Aparells que facin soroll - Equips professionals de mesura: sonòmetre, vibròmetre i luxímetre
Senyals i control	Els sensors del dispositiu intel·ligent que captaran les dades.
Vida útil i manteniment	Al tractar amb aplicacions, la seva vida útil ve donada per les actualitzacions que rebí al llarg del temps a part de la vida útil del dispositiu que s'utilitza per captar la informació.
Impacte ambiental	Cal tenir en compte el consum d'energia que comporta captar les dades i posteriorment analitzar-les. La utilització de diferents telèfons intel·ligents.
Aspectes legals	L'anàlisi de les dades haurà de complir amb les normatives Espanyoles de seguretat en el treball de vibracions, soroll i il·luminació.

Taula 4.1. Llista d'especificacions tècniques

5. Metodologia.

5.1. Tipus d'estudi a realitzar.

En aquest cas s'utilitzarà un estudi comparatiu, quasi experimental.

Una definició tècnica del mètode comparatiu és: El mètode comparatiu és una manera de generar o refutar teories i hipòtesis que utilitza comparacions basades en procediments anàlegs als del mètode científic.[66]

Tal com indica el seu nom, aquest mètode d'estudi s'utilitza per a poder descobrir relacions o considerar diferències o semblances entre objectes. Això ens permet establir i contrastar les diferències, és a dir, contextualitzar.

Així, aquest estudi a realitzar és comparatiu ja que es tindrà com a referència les variables resultants que s'obtingran amb els equips de mesurament professionals i aquests es compararan amb els obtinguts a partir dels resultats obtinguts amb les aplicacions de referència de vibració, soroll i il·luminació de telèfons intel·ligents.

Per altre banda un quasi experiment és un estudi empíric d'intervenció utilitzat per a estimar l'impacte causal d'una intervenció en la població objectiu sense assignació aleatòria. Els dissenys quasi experimentals típicament permeten a l'investigador controlar l'assignació a la condició de tractament, però utilitzant algun criteri que no sigui l'assignació aleatòria. [67]

El present estudi serà de caràcter quasi experimental donat que es dissenyaran els assajos sense el rigor d'una investigació experimental en el que hi hagin grups de control.

5.2. Descripció de la metodologia: fases.

Fase I. Definició d'objectius.

Comparació de les variables obtingudes de vibració, soroll i il·luminació mitjançant equips calibrats professionals de mesurament i aplicacions de referència en dispositius intel·ligents amb sistema operatiu Android.

Fase II. Identificació dels elements a comparar.

En aquest estudi es compararan els resultats obtinguts en vibració, soroll i il·luminació a partir d'equips calibrats professionals de mesurament i amb aplicacions de referència en telèfons intel·ligents.

Fase III. Recopilació de dades.

Dissenyar i desenvolupar els diferents assajos a realitzar per prendre les mesures de les variables de vibració, soroll i il·luminació amb els equips calibrats de mesurament (vibròmetre, sonòmetre i luxímetre) i amb les aplicacions dels telèfons intel·ligents.

Fase IV. Analitzar i estudiar els resultats.

S'analitzaran els resultats obtinguts amb els dos mètodes de mesurament.

Fase V. Interpretació dels resultats.

Es determinaran les aplicacions que ofereixen major exactitud i precisió respecte dels equips professionals.

5.3. Disseny dels assajos.

5.3.1. Selecció dels telèfons intel·ligents.

La quota de mercat segons el primer trimestre de 2023, les marques líders son: Samsung, Apple, Xiaomi, Oppo i Vivo. [68]

Tenint en compte aquesta informació, en aquest estudi s'utilitzaran el Samsung Note 9, el Oneplus 9 Pro, ja que pertany a la mateixa agrupació que Oppo, i el Xiaomi mi 10 T Pro.

En la taula següent es mostren els diferents dispositius amb les seves característiques físiques, ja sigui les dimensions, la pantalla, càmera, els sensors que incorpora, el sistema operatiu, el cost i l'any de venda.

TELÈFON	SAMSUNG NOTE 9	ONEPLUS 9 PRO	Xiaomi mi 10 T Pro
Dimensions (mm)	161,9 x 76,4 x 8,8	163,2 x 73,6 x 8,7	165,1 x 76,4 x 9,3
Pes (gr)	201	197	218
Pantalla	Super AMOLED 6,4” QHD + Gorilla Glass 5	AMOLED 6,7” WQHD+ Gorilla Glass 5	LCD IPS FHD+ Corning Gorilla Glass 5
Càmera	2x 12 Mpx Frontal 8 Mpx	48 + 50 + 8 + 2 Mpx Frontal 16 Mpx	108 + 13 + 5 Mpx Frontal 20 Mpx
Sensors	Lector de empremta Proximitat Llum ambiental Acceleròmetre Brúixola Giroscopi Baròmetre Pols Altaveus estèreo	Lector de empremta Proximitat Llum ambiental Acceleròmetre Brúixola Giroscopi Gravetat 3 micròfons Altaveus estèreo	Lector de empremta Proximitat Llum ambiental Acceleròmetre Brúixola Giroscopi Gravetat Altaveus estèreo
Processador	Exynos 9810 10nm Octa core	Qualcomm Snapdragon 888 Octa core	Qualcomm Snapdragon 865 Octa core
RAM / ROM	8 GB / 512 GB	12 GB / 256 GB	8 GB / 256 GB
Bateria	4.000 mAh	4.500 mAh	5.000 mAh
Sistema Operatiu	Android 8.1 Oreo	Android 11 OxygenOS	Android 12 Snow Cone
Any	Agost 2018	Març 2021	Setembre 2020
Cost	1259,01 €	951,26 €	649 €

Taula 5.1. Característiques dels telèfons seleccionats [69]-[71]

5.3.2. Selecció de les aplicacions.

En l'apartat d'antecedents i recerca d'informació s'ha realitzat una recerca sobre els millors aplicacions de descàrrega gratuïta disponibles en el Google Play per als diferents àmbits d'estudi: vibració, soroll i il·luminació.

Els criteris seguits per triar les aplicacions son:

- Aplicacions amb millor valoració pels usuaris
- Aplicacions de descàrrega gratuïta
- Aplicacions que es puguin utilitzar en totes les versions Android
- Aplicacions que donin resultats amb les unitats del Sistema Internacional

A continuació es mostra una taula amb les aplicacions seleccionades segons els criteris mencionats anteriorment i que s'utilitzaran per a l'estudi.

VARIABLE	APLICACIÓ	CREADOR	VALORACIÓ	VERSIÓ
VIBRACIÓ	Sismógrafo – Sismo Detector	Mystic Mobile Apps GPS Tools	4,5	3.26
	Medidor de virbaciones	EXA Tools	4,5	1.5.02
IL·LUMINACIÓ	Medidor de luz	Coolexp	4,8	1.5
	Lux light meter pro	Doggo Apps	4,7	031.2022.01.11
	Lux Light Meter photometer PRO	Przemek Pardel	4,5	5.8.1.0
SOROLL	Sonómetro	Splend Apps	4,8	2.17
	Sonómetro	EXA Tools	4,7	1.4.02
	Sonómetro: medidor de SPL	KTW Apps	4,6	7.2

Taula 5.2. Aplicacions seleccionades

5.3.3. Plantejament de les hipòtesis.

Hipòtesis 1.

Les aplicacions per a telèfons intel·ligents disponibles gratuïtament per a sistema operatiu Android que mesuren vibracions, són prou exactes i precises per ser utilitzades en aplicacions industrials sobre salut i seguretat en el lloc de treball.

Hipòtesis 2.

Les aplicacions per a telèfons intel·ligents disponibles gratuïtament per a sistema operatiu Android que mesuren soroll, són prou exactes i precises per ser utilitzades en aplicacions industrials sobre salut i seguretat en el lloc de treball.

Hipòtesis 3.

Les aplicacions per a telèfons intel·ligents disponibles gratuïtament per a sistema operatiu Android que mesuren la il·luminació, són prou exactes i precises per ser utilitzades en aplicacions industrials sobre salut i seguretat en el lloc de treball.

5.3.4. Tipus de mostreig.

En aquest cas tractarem el mostreig intencional: En aquesta tècnica de mostreig no probabilístic, les mostres se seleccionen basant-se únicament en el coneixement i la credibilitat de l'investigador. En altres paraules, els investigadors trien només a aquells que aquests creuen que són els adequats (respecte als atributs i la representació d'una població) per a participar en un estudi de recerca. [72]

Per als següents casos s'utilitzaran espais com llocs de treball o assajos controlats on s'origini la variable a estudiar en un entorn controlat.

5.3.5. Disseny de l'assaig i del procés de mesurament de vibració.

Per a poder avaluar les vibracions del telèfon intel·ligent i del vibròmetre s'ha creat una base vibratòria a partir d'un altaveu el qual se li ha enganxat una plataforma feta amb xapa d'alumini de 0,5 mm. Aquest s'ha connectat a una font d'alimentació de 12 V i a un generador de senyals per tal de poder canviar la freqüència.

D'aquesta forma s'ha pogut avaluar a la vegada els valors del telèfon intel·ligent i del vibròmetre per al seu posterior anàlisi comparatiu.



Fig. 5.1. Muntatge assaig de vibracions

En quant al disseny del procés de mesurament de els vibracions s'ha pres com a referència la Guia tècnica per a l'avaluació i prevenció dels riscos relacionats amb les vibracions mecàniques del INSST [73].

El procediment a seguir és:

- Calibratge del vibròmetre utilitzant un sistema de referència fiable.
- Utilització d'un altaveu amb una plataforma d'alumini com a base vibratòria.
- Posicionar el telèfon intel·ligent i l'acceleròmetre en la mateixa posició.

- Realització simultània de mesures del telèfon intel·ligent i del vibròmetre en la freqüència desitjada.
- Les mesures han de tenir una duració mínima d'un minut i prendre un mínim de tres mostres.
- Repetir el procés amb les diferents aplicacions escollides.
- Repetir el procés amb els diferents telèfons intel·ligents a la freqüència seleccionada.
- Comparar els resultats obtinguts mitjançant el mètode de proba T de Student per a mostres independents.
- Identificar les aplicacions que han obtingut uns resultats més precisos i exactes en relació amb el vibròmetre i el tipus de telèfon intel·ligent.

MARCA	Brüel & Kaer	
MODEL	4513 - B	
SERIE	67837	
CERTIFICAT DE CALIBRACIÓ	21820103, 26 de febrer del 2018	
COST	370,83 €	

Taula 5.3. Característiques de l'acceleròmetre

5.3.6. Disseny de l'assaig i del procés de mesurament del soroll.

Per a poder avaluar el soroll s'ha disposat d'una sala amb parets embuatades per tal de simular el més possible una sala anecoica. Al centre s'ha col·locat una tauleta on s'hi col·locaran els diferents aparells a estudiar. Posteriorment s'han realitzat marques al terra on es situarà el sonòmetre i els diferents telèfons intel·ligents per a obtenir les diferents mesures.

Cada marca es troba a 1 metre del centre de la tauleta i entre elles també tenen una distància d'un metre.




Fig. 5.2. Sala de l'assaig de soroll

Per al disseny del procés de mesurament del soroll s'ha utilitzat com a referència la Guia tècnica per a l'avaluació i prevenció dels riscos relacionats amb l'exposició al soroll en els llocs de treball del INSST [74].

El procediment a seguir és:

- Col·locar la font de soroll al centre de la sala.
- Comprovar el calibratge del sonòmetre i preparar-lo segons les instruccions del fabricant.
- Les mesures preses es realitzen a llocs propers a la font de soroll i en diferents punts al voltant d'aquesta.

- Els punts de mesurament hauran d'estar localitzats a una distància no inferior a 0,25 metres, preferiblement entre 1 metre i 4 vegades la longitud de la major dimensió de la font emissora. (ref peu pàgina)
- Posar el sonòmetre en els punts marcats i prendre les lectures.
- Posicionar els telèfons intel·ligents en els mateixos punts de mesura i prendre les mesures per a les diferents aplicacions seleccionades. Si és possible calibrar les aplicacions amb referència del sonòmetre.
- Comparar els resultats obtinguts mitjançant el mètode de proba T de Student.
- Identificar les aplicacions i telèfons intel·ligents que han obtinguts uns resultats més exactes i precisos en relació al sonòmetre.

MARCA	Brüel & Kjaer	
MODEL	2250	
SERIE	2728469	
CERTIFICAT DE CALIBRACIÓ	-	
COST	15.000 €	

Taula 5.4. Característiques del sonòmetre

5.3.7. Disseny de l'assaig i del procés de mesurament de la il·luminació.

Per a poder avaluar la il·luminació s'ha pres com a referència estudis ja realitzats i per aquesta raó s'ha optat per la utilització d'un llum LED de GU10 de 6W, 4000K i 120° d'obertura el qual s'ha penjat del sostre per modificar la distància respecte del terra i així aconseguir les diferents intensitats lumíniques desitjades. La sala utilitzada per a la experimentació no disposa de cap finestra i per a la realització de l'experiment s'ha fet a les fosques. També s'ha disposat d'una taula blanca on s'hi ha marcat el centre per tal de poder col·locar els telèfons intel·ligents i el luxímetre en la mateixa posició.

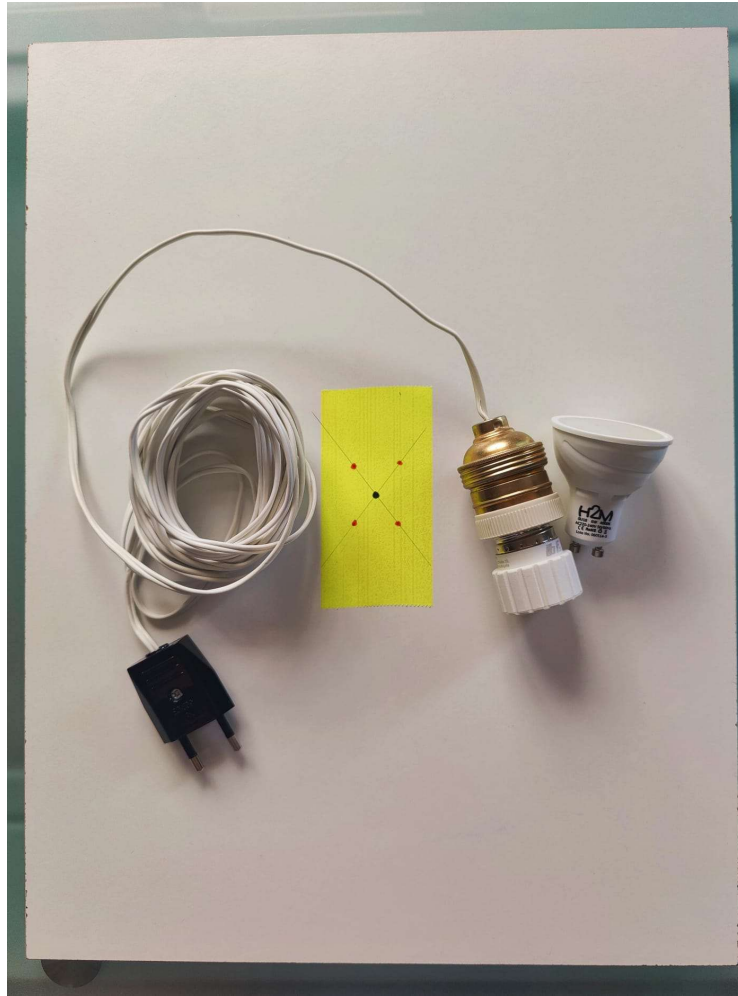


Fig. 5.3. Material de l'assaig d'il·luminació

En quant al procés de disseny del mesurament de la il·luminació s'ha pres com a referència Il·luminació en el lloc de treball. Criteris per a l'avaluació i condicionament dels llocs. del INSST [75].

El procediment a seguir és:

- Apagar el llum de la sala i encendre la bombeta penjada del sostre.
- Posicionar la bombeta LED a l'altura desitjada segons la intensitat lumínica a estudiar.
- Encendre el luxímetre i esperar a que s'estabilitzi la senyal tal com s'indica en les instruccions del fabricant. També cal tenir en compte que s'ha de mantenir una temperatura aproximada d'uns 25°C

- Prendre les mesures necessàries en un interval de 2 minuts.
- Realitzar la mateixa tasca amb els diferents telèfons intel·ligents des del punt establert i amb les diferents aplicacions seleccionades.
- Comparar els resultats obtinguts amb el mètode de prova T de Student.
- Identificar els dispositius i aplicacions que han obtingut uns resultats més exactes i precisos en relació amb el luxímetre.

MARCA	Dr. Meter	
MODEL	LX1330B	
SERIE	201215126	
COST	38 €	

Taula 5.5. Característiques del luxímetre

5.3.8. Limitacions metodològiques de l'estudi.

Vibració.

Els valors límits mesurables en els telèfons intel·ligents es veuen limitats pel fabricant, per tant, si realitzem mesures per sobre o per sota d'aquests valors, no obtindrem cap mesura per part del dispositiu.

Soroll.

Els valors límits mesurables en els telèfons intel·ligents es veuen principalment alineats amb els valors de la freqüència de la veu humana. Així els valors màxima i mínims es veuen limitats per els fabricants, per tant, si realitzem mesures per sobre o per sota d'aquests valors, no obtindrem cap mesura per part del dispositiu.

Il·luminació.

Els valors mesurats només seran vàlids per els dispositius utilitzats en l'estudi ja que no es pot garantir un comportament igual per a tots els de la seva sèrie i marca. Per tant, aquest estudi solament seria una referència.

5.3.9. Nombre d'observacions que s'han de prendre en l'estudi.

Vibració.

En el procés de mesurament, hem de saber que les mesures realitzades amb les aplicacions instal·lades son suficientment exactes i precises per ser utilitzades en un futur en aplicacions industrials.

Així, s'ha establert que l'error α (o error de tipus I) serà del 0,05 (5%). Al valor $(1-\alpha) \cdot 100$ se'l coneix com a el nivell de confiança de la prova (95%). Per a aquest nivell de confiança $Z\alpha$ té un valor de 1,96. Per a l'error β (o error de tipus II) serà de 0,20 (20%), amb un valor de $Z\beta$ de 0,842. L'exactitud i precisió esperada (també anomenada potència) serà del 80%. [76] És a dir, 80% serà l'exactitud i precisió mínima esperada respecte del resultat del vibròmetre.

Així la formula per a calcular el nombre d'observacions és [65]:

$$n = \frac{(W - W^2) \cdot (Z\beta + 1,4 \cdot Z\alpha)^2}{W^2} \quad (5.1)$$

A on,

n = numero mínim d'observacions que s'han d'efectuar en l'estudi

$Z\alpha$ = Valor corresponent al nivell de confiança assignat

$Z\beta$ = Valor corresponent al poder estadístic o potència assignada a la prova.

W = Rendiment o eficiència mínima esperada

Per tant, obtenim:

$$n = \frac{(0,8 - 0,8^2) \cdot (0,842 + 1,4 \cdot 1,96)^2}{0,8^2} = 3,215$$

Per a aquesta n , el nombre mínim d'observacions que haurem de realitzar és de 4 per a cada aplicació instal·lada en els telèfons intel·ligents.

Tal com s'ha mencionat anteriorment s'utilitzarà un altaveu per a la modulació de les freqüències i longituds d'ona per a obtenir una plataforma vibratòria. S'han establert quatre freqüències tenint en compte valor exemple de freqüència com els de la taula X.X i també que el rang de freqüències d'exposició de cos sencer és de 1 a 80 Hz i les de mà-braç son de 8 a 1000 Hz. Per tant s'ha començat a una freqüència de 12, s'ha augmentat en intervals d'octava i per acabar s'ha optat per afegir una freqüència per acabar de completar el rang.

Equipo de Trabajo	Rango de frecuencias dominantes
• Corta-setos eléctrico	12 - 15 Hz.
• Chorreado de arena	15 - 30 Hz.
• Taladros portátiles	30 - 40 Hz.
• Herramientas neumáticas	15 - 50 Hz.
• Instrumentos domésticos	30 - 60 Hz.
• Sierras manuales	50 - 200 Hz.
• Afeitadoras eléctricas	200 Hz.
• Pulidoras y amoladoras manuales	200 - 800 Hz.
• Taladros de dentista neumáticos	1500 - 2000 Hz.

Fig. 5.4. Freqüències dominants segons l'equip de treball [77]

Per tant, per a les quatre freqüències escollides s'hauran de prendre 4 mesures. A la següent taula es mostren els diferents casos amb les freqüències a estudiar.

VARIABLE	CAS 1	CAS 2	CAS 3	CAS 4
FREQÜÈNCIA (Hz)	12	25	50	35

Taula 5.6. Freqüències a estudiar en l'assaig de vibracions

Soroll.

En el procés de mesurament, hem de saber que les mesures realitzades amb les aplicacions instal·lades son suficientment exactes i precises per ser utilitzades en un futur en aplicacions industrials.

Així, s'ha establert que l'error α (o error de tipus I) serà del 0,05 (5%). Al valor $(1-\alpha) \cdot 100$ se'l coneix com a el nivell de confiança de la prova (95%). Per a aquest nivell de confiança Z_α té un valor de 1,96. Per a l'error β (o error de tipus II) serà de 0,20 (20%), amb un valor de Z_β de 0,842. L'exactitud i precisió esperada (també anomenada potència) serà del 80%. [76] És a dir, 80% serà l'exactitud i precisió mínima esperada respecte del resultat del luxímetre.

Utilitzant 5.1 , obtenim:

$$n = \frac{(0,8 - 0,8^2) \cdot (0,842 + 1,4 \cdot 1,96)^2}{0,8^2} = 3,215$$

Per a aquesta n, el nombre mínim d'observacions que haurem de realitzar és de 4 per a cada aplicació instal·lada en els telèfons intel·ligents.

S'han establert 4 aparells que fan soroll per a la realització de l'experiment:

- Aire condicionat de la sala



Fig. 5.5. Aire condicionat de la sala de l'assaig de soroll

- Ventilador portàtil Qilive a màxima potència



Fig. 5.6. Ventilador portàtil Qilive [78]

- Eina rotatòria model DM-130B de 135 W



Fig. 5.7. Eina rotatòria model DM-130B [79]

- Aspirador Karcher NT 20/1 Ap Te



Fig. 5.8. Aspirador Karcher NT 20/1 AP Te [80]

Il·luminació.

En el procés de mesurament, hem de saber que les mesures realitzades amb les aplicacions instal·lades son suficientment exactes i precises per ser utilitzades en un futur en aplicacions industrials.

Així, s'ha establert que l'error α (o error de tipus I) serà del 0,05 (5%). Al valor $(1-\alpha) \cdot 100$ se'l coneix com a el nivell de confiança de la prova (95%). Per a aquest nivell de confiança Z_{α} té un valor de 1,96. Per a l'error β (o error de tipus II) serà de 0,20 (20%), amb un valor de Z_{β} de 0,842. L'exactitud i precisió esperada (també anomenada potència) serà del 80%. [76] És a dir, 80% serà l'exactitud i precisió mínima esperada respecte del resultat del luxímetre.

Utilitzant 5.1, obtenim:

$$n = \frac{(0,8 - 0,8^2) \cdot (0,842 + 1,4 \cdot 1,96)^2}{0,8^2} = 3,215$$

Per a aquesta n , el nombre mínim d'observacions que haurem de realitzar és de 4 per a cada aplicació instal·lada en els telèfons intel·ligents.

Tal com s'ha mencionat anteriorment es disposarà d'una llum directa en una sala sense il·luminació exterior per a la realització de l'experiment. Aquesta es situarà a diferents altures per aconseguir diferents lectures d'intensitat. Els nivells mínims d'il·luminació establerts per a zones o parts del lloc de treball on s'executin tasques son 100, 200, 500 i 1000 lux (de baixa a molt alta exigència visual) tal com es mostra a la Fig. 5.9. Per tant, aquests seran els valors a estudiar i s'hauran de prendre quatre mesures de cadascun amb les diferents aplicacions i amb cada telèfon intel·ligent.

Per trobar les distàncies a la qual s'haurà de posar el LED s'ha utilitzat la llei del quadrat de les distàncies.

ZONA O PARTE DEL LUGAR DE TRABAJO (*)	NIVEL MÍNIMO DE ILUMINACIÓN (Lux)
Zonas donde se ejecuten tareas con:	
• Bajas exigencias visuales	100
• Exigencias visuales moderadas	200
• Exigencias visuales altas	500
• Exigencias visuales muy altas	1000
Áreas o locales de uso ocasional	50
Áreas o locales de uso habitual	100
Vías de circulación de uso ocasional	25
Vías de circulación de uso habitual	50

Fig. 5.9. Nivell d'il·luminació segons la zona de treball [75]

Així les quatre observacions amb les distàncies de cadascuna seran:

VARIABLE	CAS 1	CAS 2	CAS 3	CAS 4
LUX	100	200	500	1000
DISTÀNCIA (cm)	166	117,4	74,2	52,5

Taula 5.7. Intensitats de llum a estudiar en l'assaig d'il·luminació

6. Resultats assaig de vibracions.

En aquest apartat s'observaran els resultats obtinguts de l'assaig de vibració, es plantejarà la forma d'anàlisi utilitzada i s'analitzaran els resultats obtinguts després dels càlculs.

6.1. Resultats dels assajos.

De la taula 6.1 a la 6.4 es mostren els resultats obtinguts segons el cas d'estudi i els diferents telèfons i aplicacions utilitzades.

CAS 1: 12 Hz									
EQUIP	VIBR.	SAMSUNG NOTE 9		VIBR.	ONEPLUS 9 PRO		VIBR.	XIAOMI MI 10T PRO	
REP.		Medidor vibraciones	Vibrometer		Medidor vibraciones	Vibrometer		Medidor vibraciones	Vibrometer
1	1,97	1,55	2,38	1,98	2,5	1,77	1,95	2,12	1,55
2	1,95	1,48	2,25	1,96	2,48	1,78	1,91	2,08	1,54
3	1,96	1,52	2,18	1,95	2,47	1,75	1,92	2,09	1,66
4	1,95	1,57	2,34	1,96	2,45	1,76	1,96	2,08	1,68

Taula 6.1. Resultats del primer cas de l'assaig de vibracions

CAS 2: 25 Hz									
EQUIP	VIBR.	SAMSUNG NOTE 9		VIBR.	ONEPLUS 9 PRO		VIBR.	XIAOMI MI 10T PRO	
REP.		Medidor vibraciones	Vibrometer		Medidor vibraciones	Vibrometer		Medidor vibraciones	Vibrometer
1	5,09	4,68	4,55	4,6	1,99	3,81	3,94	1,31	2,78
2	5,02	4,83	4,84	4,56	1,81	3,79	4	1,31	2,92
3	5,01	4,88	4,5	4,57	2,12	3,94	4,02	1,33	2,76
4	4,55	5,19	4,71	5	1,82	3,83	4,06	1,34	2,78

Taula 6.2. Resultats del segon cas de l'assaig de vibracions

CAS 3: 50 Hz									
EQUIP	VIBR.	SAMSUNG NOTE 9		VIBR.	ONEPLUS 9 PRO		VIBR.	XIAOMI MI 10T PRO	
REP.		Medidor vibraciones	Vibrometer		Medidor vibraciones	Vibrometer		Medidor vibraciones	Vibrometer
1	6,73	3,93	3,26	6,71	0,36	0,27	6,46	0,08	0,19
2	6,72	4,31	4,55	6,7	0,25	0,41	6,47	0,04	0,11
3	6,73	4,58	3,33	6,7	0,35	0,26	6,47	0,17	0,16
4	6,75	3,82	3,64	6,68	0,43	0,25	6,38	0,05	0,19

Taula 6.3. Resultats del tercer cas de l'assaig de vibracions

CAS 4: 35 Hz									
EQUIP	VIBR.	SAMSUNG NOTE 9		VIBR.	ONEPLUS 9 PRO		VIBR.	XIAOMI MI 10T PRO	
REP.		Medidor vibraciones	Vibrometer		Medidor vibraciones	Vibrometer		Medidor vibraciones	Vibrometer
1	7,01	7,56	6,98	7,38	2,03	4,77	6,25	1,5	2,57
2	7	7,16	6,7	7,36	2	3,3	6,34	1,51	2,58
3	7,03	7,13	6,92	7,35	4,84	3,32	6,5	1,54	2,62
4	7,01	7,01	7,15	7,36	6,38	3,42	6,5	1,55	3,6

Taula 6.4. Resultats del quart cas de l'assaig de vibracions

6.2. Hipòtesis i procediment d'anàlisi dels resultats.

En cada cas d'estudi es compararan dos grups, el primer grup estarà format pels resultats obtinguts en el vibròmetre i, la resta de grups, que seran les diferents aplicacions instal·lades a cada telèfon intel·ligent, seran comparats un a un amb el primer.

Inicialment partim de la següent hipòtesi: Les aplicacions per a telèfons intel·ligents disponibles gratuïtament per a sistema operatiu Android que mesuren vibracions, son prou exactes i precises per ser utilitzades en aplicacions industrials sobre salut i seguretat en el lloc de treball.

Per tant, les hipòtesis amb les quals treballarem seran:

H_1 : Existeix una diferència significativa entre la mitja dels resultats de vibració obtinguts amb el vibròmetre i els obtinguts amb les aplicacions dels telèfons intel·ligents.

H_0 : No existeix una diferència significativa entre la mitja dels resultats de vibració obtinguts amb el vibròmetre i els obtinguts amb les aplicacions dels telèfons intel·ligents.

En quant a l'anàlisi de les dades es treballarà amb una prova estadística, la prova T de Student per a mostres independents ja que es tracta de variables numèriques.

Tal com s'ha mencionat anteriorment treballarem amb $\alpha = 5\% = 0,005$

Per tant, el procés de càlculs serà el següent:

- **Normalitat:** per tal de corroborar que la variable té una distribució normal s'utilitzarà el test de Shapiro-Wilks [81], ja que la mostra és inferior a 50. El test planteja el criteri següent per saber si la variable té una distribució normal:
 - P-valor $\geq \alpha$: Acceptar H_0 : Les dades provenen d'una distribució normal
 - P-valor $\leq \alpha$: Acceptar H_1 : Les dades no provenen d'una distribució normal.
- **Igualtat de variància:** per tal d'avaluar la igualtat de les variàncies s'utilitzarà la Prova de Fisher [82]. Aquesta planteja el criteri següent per a comprovar-ho:
 - P-valor $\geq \alpha$: Acceptar H_0 : Les variàncies son iguals.
 - P-valor $\leq \alpha$: Acceptar H_1 : Existeix una diferència significativa entre les variàncies.
- **Càlcul del P-valor de la prova:** s'utilitzarà la Prova T de Student [83] per a mostres independents. Aquesta planteja el següent criteri:
 - P-valor $\leq \alpha$: Rebutjar H_0 (s'accepta H_1)
 - P-valor $\geq \alpha$: No rebutjar H_0 (s'accepta H_0)

Per a la realització dels càlculs s'utilitzarà Rstudio [84] ja que permet agilitzar el procés amb funcions predeterminades dins del programa.

6.3. Resultats de l'anàlisi.

Els càlculs realitzats queden recollits a l'annex III del treball per a cada una de les aplicacions de cada telèfon intel·ligent. A continuació es mostra una taula resum dels resultats obtinguts en la qual s'utilitza la codificació següent:

- Normalitat
 - Si: la variable o aplicació es comporta amb normalitat
 - No: la variable o aplicació no es comporta amb normalitat
- Variància
 - Si: les variàncies son iguals
 - No: les variàncies no son iguals
- T de Student
 - = : S'accepta H0. No existeix una diferència significativa.
 - ≠ : Es rebutja H0. Existeix una diferència significativa.

CAS 1: 12 Hz									
EQUIP		SAMSUNG NOTE 9			ONEPLUS 9 PRO			XIAOMI MI 10T PRO	
PROVA	VIBR.	Medidor vibraciones	Vibrometer	VIBR.	Medidor vibraciones	Vibrometer	VIBR.	Medidor vibraciones	Vibrometer
NORM.	si	si	si	si	si	si	si	si	si
VARIÀNCIA		no	no		si	si		si	si
T DE STUDENT		≠	≠		≠	≠		≠	≠

Taula 6.5. Resultats de l'anàlisi del primer cas

CAS 2: 25 Hz									
EQUIP	VIBR.	SAMSUNG NOTE 9		VIBR.	ONEPLUS 9 PRO		VIBR.	XIAOMI MI 10T PRO	
PROVA		Medidor vibraciones	Vibro-meter		Medidor vibraciones	Vibro-meter		Medidor vibraciones	Vibro-meter
NORM.	no	si	si	no	si	si	si	si	no
VARIÀNCIA		si	si		si	si		si	si
T DE STUDENT		=	=		≠	≠		≠	≠

Taula 6.6. Resultats de l'anàlisi del segon cas

CAS 3: 50 Hz									
EQUIP	VIBR.	SAMSUNG NOTE 9		VIBR.	ONEPLUS 9 PRO		VIBR.	XIAOMI MI 10T PRO	
PROVA		Medidor vibraciones	Vibro-meter		Medidor vibraciones	Vibro-meter		Medidor vibraciones	Vibro-meter
NORM.	si	si	si	si	si	si	no	si	si
VARIÀNCIA		no	no		no	no		si	si
T DE STUDENT		≠	≠		≠	≠		≠	≠

Taula 6.7. Resultats de l'anàlisi del tercer cas

CAS 4: 35 Hz									
EQUIP	VIBR.	SAMSUNG NOTE 9		VIBR.	ONEPLUS 9 PRO		VIBR.	XIAOMI MI 10T PRO	
PROVA		Medidor vibraciones	Vibro-meter		Medidor vibraciones	Vibro-meter		Medidor vibraciones	Vibro-meter
NORM.	si	si	si	si	si	si	si	si	no
VARIÀNCIA		no	no		no	no		no	no
T DE STUDENT		=	=		≠	≠		≠	≠

Taula 6.8. Resultats de l'anàlisi del primer cas

7. Resultats assaig de soroll.

En aquest apartat s'observaran els resultats obtinguts de l'assaig de soroll, es plantejarà la forma d'anàlisi utilitzada i s'analitzaran els resultats obtinguts després dels càlculs.

7.1. Resultats dels assajos.

De la taula 7.1 a la 7.4 es mostren els resultats obtinguts segons el cas d'estudi i els diferents telèfons i aplicacions utilitzades.

CAS 1: AIRE CONDICIONAT										
EQUIP	SAMSUNG NOTE 9			ONEPLUS 9 PRO			XIAOMI MI 10T PRO			SONÒ- METRE
REP.	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	
1	47	41	41,3	51	43	43,4	52	41	42,5	41,4
2	47	41	41,2	52	42	42	51	42	41,8	41,4
3	49	42	41,6	51	41	42,6	52	41	41,3	41,4
4	48	41	41,5	53	41	42,1	51	41	41,8	41
CALI- BRADA		-6	-6		-9	-9		-8	-8	

Taula 7.1. Resultats del primer cas de l'assaig de soroll

CAS 2: VENTILADOR PORTÀTIL (màxima potència)										
EQUIP	SAMSUNG NOTE 9			ONEPLUS 9 PRO			XIAOMI MI 10T PRO			SONÒ- METRE
REP.	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	
1	51	46	46,4	59	48	46,8	53	47	46,9	46
2	50	46	46,3	58	46	46,8	54	46	46,5	46
3	48	47	46,8	60	47	46,5	54	47	47,7	46,6
4	52	47	46	61	46	46,4	55	47	46,7	46
CALI- BRADA		-1	-2		-9	-9		-2	-4	

Taula 7.2. Resultats del segon cas de l'assaig de soroll

CAS 3: EINA ROTATÒRIA (potència 3,5)										
EQUIP	SAMSUNG NOTE 9			ONEPLUS 9 PRO			XIAOMI MI 10T PRO			SONÒ- METRE
REP.	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	
1	68	68	67,6	72	69	68,3	69	68	69	68,6
2	67	67	67,6	71	68	67,3	68	67	67,2	67,1
3	68	68	67	69	68	68,4	68	67	67,6	68
4	69	68	68,2	72	70	68	69	68	67,4	68,6
CALI- BRADA		+4	+2			-2		+3		

Taula 7.3. Resultats del tercer cas de l'assaig de soroll

CAS 4: ASPIRADOR KARCHER										
EQUIP	SAMSUNG NOTE 9			ONEPLUS 9 PRO			XIAOMI MI 10T PRO			SONÒ- METRE
REP.	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	
1	72	71	71,7	75	71	71,2	71	71	71,4	71,2
2	70	69	68,9	73	69	69,3	68	67	68,6	68,5
3	70	71	70,8	74	70	70,7	70	70	70,3	70,1
4	73	72	72,3	75	72	71,7	73	71	71,6	72
CALI- BRADA		+4	+2			-2		+3		

Taula 7.4. Resultats del quart cas de l'assaig de soroll

7.2. Procediment d'anàlisi dels resultats i hipòtesis.

En cada cas d'estudi es compararan dos grups, el primer grup estarà format pels resultats obtinguts en el sonòmetre i la resta de grups, que seran les diferents aplicacions instal·lades a cada telèfon intel·ligent, seran comparats un a un amb el primer.

Inicialment partim de la següent hipòtesi: Les aplicacions per a telèfons intel·ligents disponibles gratuïtament per a sistema operatiu Android que mesuren soroll, son prou

exactes i precises per ser utilitzades en aplicacions industrials sobre salut i seguretat en el lloc de treball.

Per tant, les hipòtesis amb les quals treballarem seran:

H_1 : Existeix una diferència significativa entre la mitja dels resultats de soroll obtinguts amb el sonòmetre i els obtinguts amb les aplicacions dels telèfons intel·ligents.

H_0 : No existeix una diferència significativa entre la mitja dels resultats de soroll obtinguts amb el sonòmetre i els obtinguts amb les aplicacions dels telèfons intel·ligents.

En quant a l'anàlisi de les dades es treballarà amb una prova estadística, la prova T de Student per a mostres independents ja que es tracta de variables numèriques.

Tal com s'ha mencionat anteriorment treballarem amb $\alpha = 5\% = 0,005$

Per tant, el procés de càlculs serà el següent:

- **Normalitat:** per tal de corroborar que la variable té una distribució normal s'utilitzarà el test de Shapiro-Wilks [81], ja la mostra és inferior a 50. El test planteja el criteri següent per saber si la variable té una distribució normal:
 - $P\text{-valor} \geq \alpha$: Acceptar H_0 : Les dades provenen d'una distribució normal
 - $P\text{-valor} \leq \alpha$: Acceptar H_1 : Les dades no provenen d'una distribució normal.
- **Igualtat de variància:** per tal d'avaluar la igualtat de les variàncies s'utilitzarà la Prova de Fisher [82]. Aquesta planteja el criteri següent per a comprovar-ho:
 - $P\text{-valor} \geq \alpha$: Acceptar H_0 : Les variàncies son iguals.
 - $P\text{-valor} \leq \alpha$: Acceptar H_1 : Existeix una diferència significativa entre les variàncies.
- **Càlcul del P-valor de la prova:** s'utilitzarà la Prova T de Student [83] per a mostres independents. Aquesta planteja el següent criteri:
 - $P\text{-valor} \leq \alpha$: Rebutjar H_0 (s'accepta H_1)

- P-valor $\geq \alpha$: No rebutjar H_0 (s'accepta H_0)

Per a la realització dels càlculs s'utilitzarà Rstudio [84] ja que permet agilitzar el procés amb funcions predeterminades dins del programa.

7.3. Resultats de l'anàlisi.

Els càlculs realitzats queden recollits a l'annex IV del treball. A continuació es mostra una taula resum dels resultats obtinguts en la qual s'utilitza la codificació següent:

- Normalitat
 - Si: la variable o aplicació es comporta amb normalitat
 - No: la variable o aplicació no es comporta amb normalitat
- Variància
 - Si: les variàncies son iguals
 - No: les variàncies no son iguals
- T de Student
 - = : S'accepta H_0 . No existeix una diferència significativa.
 - \neq : Es rebutja H_0 . Existeix una diferència significativa.

CAS 1: AIRE CONDICIONAT										
EQUIP	SAMSUNG NOTE 9			ONEPLUS 9 PRO			XIAOMI MI 10T PRO			SONÒ- METRE
REP.	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	
NORM.	si	no	si	si	si	si	no	no	si	no
VIRIÀN- CIA	no	no	si	no	si	si	si	si	si	
T DE STUDENT	\neq	=	=	\neq	=	\neq	\neq	=	=	

Taula 7.5. Resultats de l'anàlisi del primer cas

CAS 2: VENTILADOR PORTÀTIL										
EQUIP	SAMSUNG NOTE 9			ONEPLUS 9 PRO			XIAOMI MI 10T PRO			SONÒ- METRE
REP.	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	
NORM.	si	no	si	si	si	si	si	no	si	no
VIRIÀN- CIA	no	si	si	no	si	si	si	si	si	
T DE STUDENT	≠	=	=	≠	=	≠	≠	=	≠	

Taula 7.6. Resultats de l'anàlisi del segon cas

CAS 3: EINA ROTATÒRIA										
EQUIP	SAMSUNG NOTE 9			ONEPLUS 9 PRO			XIAOMI MI 10T PRO			SONÒ- METRE
REP.	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	
NORM.	si	no	si	si	si	si	no	no	no	si
VIRIÀN- CIA	si	si	si	si	si	si	si	si	si	
T DE STUDENT	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	

Taula 7.7. Resultats de l'anàlisi del tercer cas

CAS 4: ASPIRADOR KARCHER										
EQUIP	SAMSUNG NOTE 9			ONEPLUS 9 PRO			XIAOMI MI 10T PRO			SONÒ- METRE
REP.	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	Sonó- metro	Sound meter	Sonómetro Medidor SPL	
NORM.	Si	si	si	si	si	si	si	si	si	si
VIRIÀN- CIA	si	si	si	si	si	si	si	si	si	
T DE STUDENT	=	=	=	≠	=	=	=	=	=	

Taula 7.8. Resultats de l'anàlisi del quart cas

8. Resultats assaig d'il·luminació.

En aquest apartat s'observaran els resultats obtinguts de l'assaig d'il·luminació, es plantejarà la forma d'anàlisis utilitzada i s'analitzaran els resultats obtinguts després dels càlculs.

8.1. Resultats dels assajos.

De les taules 8.1 a la 8.4 es mostren els resultats obtinguts segons el cas d'estudi i els diferents telèfons i aplicacions utilitzades.

CAS 1: 100 lux										
EQUIP	SAMSUNG NOTE 9			ONEPLUS 9 PRO			XIAOMI MI 10T PRO			LUXÍMETRE
REP.	Medidor de luz	Lux	Fotometro	Medidor de luz	Lux	Fotometro	Medidor de luz	Lux	Fotometro	
1	127	133	128	101	98	96	70	69	68	100
2	128	134	127	103	97	98	71	70	70	100
3	129	132	129	99	96	97	69	70	71	101
4	126	133	130	100	100	98	68	69	69	100

Taula 8.1. Resultats del primer cas de l'assaig d'il·luminació

CAS 2: 200 lux										
EQUIP	SAMSUNG NOTE 9			ONEPLUS 9 PRO			XIAOMI MI 10T PRO			LUXÍMETRE
REP.	Medidor de luz	Lux	Fotometro	Medidor de luz	Lux	Fotometro	Medidor de luz	Lux	Fotometro	
1	249	261	251	200	198	199	139	139	141	200
2	248	262	253	197	200	197	138	140	143	200
3	252	264	250	201	201	200	140	139	141	201
4	251	260	250	200	199	201	141	141	142	201

Taula 8.2. Resultats del segon cas de l'assaig d'il·luminació

CAS 3: 500 lux										
EQUIP	SAMSUNG NOTE 9			ONEPLUS 9 PRO			XIAOMI MI 10T PRO			LUXÍMETRE
REP.	Medidor de luz	Lux	Fotometro	Medidor de luz	Lux	Fotometro	Medidor de luz	Lux	Fotometro	
1	630	652	634	463	462	463	360	343	343	501
2	631	651	624	464	465	462	344	340	338	500
3	635	658	632	465	467	465	345	347	342	503
4	628	657	622	468	463	467	343	343	345	502

Taula 8.3. Resultats del tercer cas de l'assaig d'il·luminació

CAS 4: 1000 lux										
EQUIP	SAMSUNG NOTE 9			ONEPLUS 9 PRO			XIAOMI MI 10T PRO			LUXÍMETRE
REP.	Medidor de luz	Lux	Fotometro	Medidor de luz	Lux	Fotometro	Medidor de luz	Lux	Fotometro	
1	1309	1361	1308	835	830	828	667	666	652	1005
2	1308	1362	1304	830	829	830	660	651	670	1009
3	1310	1359	1300	834	831	836	667	669	665	1006
4	1303	1357	1302	837	834	835	666	653	664	1008

Taula 8.4. Resultats del quart cas de l'assaig d'il·luminació

8.2. Procediment d'anàlisi dels resultats i hipòtesis.

En cada cas d'estudi es compararan dos grups, el primer grup estarà format pels resultats obtinguts amb el luxímetre i, la resta de grups, que seran les diferents aplicacions instal·lades a cada telèfon intel·ligent, seran comparats un a un amb el primer.

Inicialment partim de la següent hipòtesi: Les aplicacions per a telèfons intel·ligents disponibles gratuïtament per a sistema operatiu Android que mesuren la il·luminació, son prou exactes i precises per ser utilitzades en aplicacions industrials sobre salut i seguretat en el lloc de treball.

Per tant, les hipòtesis amb les quals treballarem seran:

H_1 : Existeix una diferència significativa entre la mitja dels resultats d'il·luminació obtinguts amb el luxímetre i els obtinguts amb les aplicacions dels telèfons intel·ligents.

H_0 : No existeix una diferència significativa entre la mitja dels resultats d'il·luminació obtinguts amb el luxímetre i els obtinguts amb les aplicacions dels telèfons intel·ligents.

En quant a l'anàlisi de les dades es treballarà amb una prova estadística, la prova T de Student per a mostres independents ja que es tracta de variables numèriques.

Tal com s'ha mencionat anteriorment treballarem amb $\alpha = 5\% = 0,005$

Per tant, el procés de càlculs serà el següent:

- **Normalitat:** per tal de corroborar que la variable té una distribució normal s'utilitzarà el test de Shapiro-Wilks [81], ja que la mostra és inferior a 50. El test planteja el criteri següent per saber si la variable té una distribució normal:
 - P-valor $\geq \alpha$: Acceptar H_0 : Les dades provenen d'una distribució normal
 - P-valor $\leq \alpha$: Acceptar H_1 : Les dades no provenen d'una distribució normal.
- **Igualtat de variància:** per tal d'avaluar la igualtat de les variàncies s'utilitzarà la Prova de Fisher [82]. Aquesta planteja el criteri següent per a comprovar-ho:
 - P-valor $\geq \alpha$: Acceptar H_0 : Les variàncies son iguals.
 - P-valor $\leq \alpha$: Acceptar H_1 : Existeix una diferència significativa entre les variàncies.
- **Càlcul del P-valor de la prova:** s'utilitzarà la Prova T de Student [83] per a mostres independents. Aquesta planteja el següent criteri:
 - P-valor $\leq \alpha$: Rebutjar H_0 (s'accepta H_1)
 - P-valor $\geq \alpha$: No rebutjar H_0 (s'accepta H_0)

Per a la realització dels càlculs s'utilitzarà Rstudio [84] ja que permet agilitzar el procés amb funcions predeterminades dins del programa.

8.3. Resultats de l'anàlisi.

Els càlculs realitzats queden recollits a l'annex V del treball. A continuació es mostra una taula resum dels resultats obtinguts en la qual s'utilitza la codificació següent:

- Normalitat
 - Si: la variable o aplicació es comporta amb normalitat
 - No: la variable o aplicació no es comporta amb normalitat
- Variància
 - Si: les variàncies son iguals
 - No: les variàncies no son iguals
- T de Student
 - = : S'accepta H0. No existeix una diferència significativa.
 - ≠ : Es rebutja H0. Existeix una diferència significativa.

CAS 1: 100 lux										
EQUIP	SAMSUNG NOTE 9			ONEPLUS 9 PRO			XIAOMI MI 10T PRO			LUXÍ- METRE
REP.	Medidor de luz	Lux	Fotometro	Medidor de luz	Lux	Fotometro	Medidor de luz	Lux	Fotometro	
NORM.	si	si	si	si	si	si	si	no	si	no
VARIÀNCIES	si	si	si	si	si	si	si	si	si	
T DE STUDENT	≠	≠	≠	=	=	≠	≠	≠	≠	

Taula 8.5. Resultats de l'anàlisi del primer cas

CAS 2: 200 lux										
EQUIP	SAMSUNG NOTE 9			ONEPLUS 9 PRO			XIAOMI MI 10T PRO			LUXÍ- METRE
REP.	Medidor de luz	Lux	Fotometro	Medidor de luz	Lux	Fotometro	Medidor de luz	Lux	Fotometro	
NORM.	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si
VARIÀNCIES	si	si	si	si	si	si	si	si	si	
T DE STUDENT	≠	≠	≠	=	=	=	≠	≠	≠	

Taula 8.6. Resultats de l'anàlisi del segon cas

CAS 3: 500 lux										
EQUIP	SAMSUNG NOTE 9			ONEPLUS 9 PRO			XIAOMI MI 10T PRO			LUXÍ- METRE
REP.	Medidor de luz	Lux	Fotometro	Medidor de luz	Lux	Fotometro	Medidor de luz	Lux	Fotometro	
NORM.	si	si	si	si	si	si	no	si	si	no
VARIÀNCIES	si	si	si	si	si	si	no	si	si	
T DE STUDENT	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	

Taula 8.7. Resultats de l'anàlisi del tercer cas

CAS 1: 1000 lux										
EQUIP	SAMSUNG NOTE 9			ONEPLUS 9 PRO			XIAOMI MI 10T PRO			LUXÍ- METRE
REP.	Medidor de luz	Lux	Fotometro	Medidor de luz	Lux	Fotometro	Medidor de luz	Lux	Fotometro	
NORM.	si	si	si	si	si	si	no	si	si	no
VARIÀNCIES	si	si	si	si	si	si	si	no	no	
T DE STUDENT	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	≠	

Taula 8.8. Resultats de l'anàlisi del quart cas

9. Planificació.

En aquest apartat del projecte s'han realitzat les dues planificacions necessàries per a la realització de l'avantprojecte i del projecte de detall amb l'ajuda del software MS Project.

Per a la realització de les dues planificacions s'han tingut en compte les tasques i recursos necessàries per a poder complir-les de la forma més òptima possible. La duració total del projecte es d'unes 400 hores (25h d'estudi per a cada crèdit ECTS), tal com es mostra a la taula 10.1.

Duració	
Avantprojecte	146 hores
Projecte de detall	254 hores
TOTAL	400 hores

Taula 9.1. Duració del projecte

10.1. Anàlisi de riscos.

En relació amb la planificació existeixen diversos factors que poden tenir una repercussió negativa pel correcte desenvolupament d'aquesta al llarg del temps. De cara a la planificació s'han tingut en compte diversos factors controlables, però existeix cert factor que no és controlable i que generaria una modificació del projecte.

Per tant, qualsevol d'aquests riscos presentats a continuació provocaria un canvi en el projecte durant el seu seguiment:

- Que la solució no sigui viable tècnicament: aquest és el risc més crític del projecte ja que, en el desenvolupament de detall per poder avaluar els sensors dels telèfons intel·ligents és condició necessària. En el cas que es determinés que el resultat fos negatiu, s'hauria de redissenyar la planificació i això implicaria un gir en la planificació del projecte.

- Incompliment de les dates planificades: aquest seria el cas de no poder respectar la planificació. És un risc elevat donat que hi ha diversos factors aliens que no es poden contemplar inicialment.

Dins d'aquest risc mencionat anteriorment hi haurien diversos graus per poder identificar si es tracta d'un cas aïllat o concret depenent de les tasques del treball.

- Pèrdua d'informació i documentació: el projecte es realitza de forma digital i per aquesta raó és més susceptible a la pèrdua, ja que ens poden robar l'ordinador o entrar dins del nostre compte universitari i perdre la informació.
- Baixa per malaltia o incapacitat: aquest risc es contempla enfront la pandèmia viscuda. No solament pel Covid-19, sinó per a qualsevol virus que pugui ser limitant de cara al desenvolupament del projecte.

9.2. Pla de contingència.

Per a poder suavitzar o inclús anul·lar els riscos contemplats en el punt anterior s'ha dissenyat un pla de contingència que ajudarà a disminuir els efectes dels riscos que poden influir en el desenvolupament del projecte.

Primerament, per a la conservació i gestió de la documentació generada pel desenvolupament de la memòria de l'avantprojecte i del projecte de detall s'ha tingut en compte una sèrie de mesures preventives. Inicialment es treballa des de l'ordinador i amb una còpia al núvol simultània del compte universitari i del compte personal.

Per altre banda, per al compliment de la planificació de l'avantprojecte i del projecte de detall s'han avaluat els factors que poden afectar en cada tasca i s'ha ampliat el temps estimat amb una part percentual proporcional al risc.

Amb aquest marge de seguretat ens permetrà arribar al compliment de les dues planificacions sense problema.

Cal mencionar que també es contemplaran hores extres donada la baixa per malaltia o incapacitat quan s'hagi passat aquesta per a poder seguir amb la planificació desitjada.

9.3. Planificació de l'avantprojecte.

La duració total de l'avantprojecte es de – hores i s'inicia el dia 26 de setembre de 2022 i finalitza el dia 17 de febrer de 2023. Les activitats del projecte principalment es duran a terme linealment ja que es disposa únicament d'un recurs i per tant no és realista un desenvolupament de les tasques de forma paral·lela a excepció d'aquelles que estiguin relacionades.

A continuació es mostrarà cada tasca realitzada a l'avantprojecte juntament amb una breu descripció de cada una d'elles:

1. Preparació

- 1.1.1. Preparació de la plantilla de documentació (format Word)
- 1.1.2. Reunió quinzenal amb el tutor
- 1.1.3. Cerca de referències

2. Objectius

- 1.2.1. Propòsit, finalitat, objecte i context de línies de recerca
- 1.2.2. Abast

3. Introducció

- 1.3.1. Redactat de la introducció del projecte

4. Marc teòric

- 1.4.1. Acceleròmetres
- 1.4.2. Micròfons
- 1.4.3. Sensor de llum ambiental (ALS)
- 1.4.4. Mesurament i anàlisi de vibracions
- 1.4.5. Mesurament del soroll

- 1.4.6. Mesurament de la il·luminació
 - 1.4.7. Normativa
 - 1.4.8. Benchmarking
5. Objectius i especificacions de l'estudi
- 1.5.1. Determinar objectius i especificacions
6. Marc conceptual (anàlisi de viabilitat tècnica)
- 1.6.1. Adquisició de dades
 - 1.6.2. Software Matlab
7. Planificació
- 1.7.1. Ms Project
 - 1.7.2. Redacció planificació
8. Pressupost
- 1.8.1. Càlcul del pressupost
 - 1.9.2. Redacció del pressupost
9. Tancament
- 1.10.1. Donar format al document i correcció faltes d'ortografia
 - 1.10.2. Tancament

Tal com es pot veure a la taula 9.2 es mostren les activitats necessàries per dur a terme l'avantprojecte, la durada en hores i les relacions de precedència existents entre elles.

Codi	Nom de la tasca	Duració (h)	Predecessora
1.1.1.	Preparació de la plantilla de documentació	3	-
1.1.2.	Reunió quinzenal amb el tutor	10	-
1.1.3.	Cerca de referències	18	1.1.1
1.2.1.	Propòsit, finalitat, objecte i context de línies de recerca	4	1.1.3.
1.2.2.	Abast	1	1.2.1.
1.3.1.	Redactat de la introducció del projecte	3	1.2.2.
1.4.1	Acceleròmetres	8	1.3.1.
1.4.2.	Micròfons	7	1.4.1.
1.4.3.	Sensor de llum ambiental (ALS)	7	1.4.2.
1.4.4.	Mesurament i anàlisi de vibracions	10	1.4.3.
1.4.5.	Mesurament del soroll	9	1.4.4.
1.4.6.	Mesurament de la il·luminació	9	1.4.5.
1.4.7.	Normativa	2	1.4.6.
1.4.8.	Benchmarking	6	1.4.7.
1.5.1.	Determinar objectius i especificacions	4	1.4.8.
1.6.1.	Adquisició de dades	2	1.5.1.
1.6.2.	Software Matlab	2	1.6.1.
1.7.1.	Ms Project	7	1.6.2.
1.7.2.	Redacció planificació	9	1.7.1
1.8.1.	Càlcul del pressupost	4	1.7.2
1.8.2.	Redacció del pressupost	4	1.8.1
1.9.1.	Donar format al document i correcció faltes d'ortografia	15	1.8.2
1.9.2.	Tancament	2	1.9.1

Taula 9.2. Tasques a realitzar a l'avantprojecte

9.4. Planificació del projecte de detall

El projecte de detall té una durada de 254 hores iniciant-se el 20 de febrer de 2023 i finalitzant el 5 de juliol de 2023.

Aquesta planificació s'estructura en dues parts ja que primerament es presentarà la documentació final i en el segon període s'inicia la preparació de la presentació per a la defensa del projecte.

A continuació es realitza una breu descripció del treball a realitzar a cadascuna de les tasques del projecte de detall:

1. Correcció de l'avantprojecte
 - 2.1.1. Correcció de l'avantprojecte
2. Metodologia
 - 2.2.1. Tipus d'estudi a realitzar
 - 2.2.2. Descripció de la metodologia
 - 2.2.3. Selecció dels telèfons intel·ligents
 - 2.2.4. Selecció de les aplicacions
 - 2.2.5. Disseny assaig vibracions
 - 2.2.6. Disseny assaig soroll
 - 2.2.7. Disseny assaig il·luminació
 - 2.2.8. Limitacions metodològiques
 - 2.2.9. Nombre d'observacions a prendre
3. Assajos
 - 2.3.1. Assaig vibracions

- 2.3.2. Assaig soroll
- 2.3.3. Assaig il·luminació

4. Càlcul i anàlisi de resultats

- 2.4.1. Càlcul vibracions amb Rstudio
- 2.4.2. Càlcul soroll amb Rstudio
- 2.4.3. Càlcul il·luminació amb Rstudio
- 2.4.4. Anàlisi resultats vibracions
- 2.4.5. Anàlisi resultats soroll
- 2.4.6. Anàlisi resultats il·luminació

5. Impacte mediambiental

- 2.5.1. Viabilitat mediambiental

6. Conclusions

- 2.6.1. Redacció de conclusions
- 2.6.2. Redacció futures línies de treball

7. Estudi econòmic

- 2.7.1. Pressupost
- 2.7.2. Viabilitat econòmica

8. Annex

- 2.8.1. Redacció de l'annex

9. Tancament

- 2.9.1. Redacció de les referències

- 2.9.2. Revisió de la documentació final
- 2.9.3. Tancament del projecte

10. Preparació de la presentació

- 2.10.1. Elaboració de la presentació
- 2.10.2. Elaboració del PowerPoint
- 2.10.3. Preparació de la presentació

En la taula 10.3 es mostra el recull de les activitats necessàries per a dur a terme el projecte de detall i la duració estimada de cada tasca amb les seves relacions de precedència.

Codi	Nom de la tasca	Duració (h)	Predecessora
2.1.1.	Correcció de l'avantprojecte	65	-
2.2.1.	Tipus d'estudi a realitzar	2	2.1.1.
2.2.2.	Descripció de la metodologia	3	2.2.1.
2.2.3.	Selecció dels telèfons intel·ligents	3	2.2.2.
2.2.4.	Selecció de les aplicacions	3	2.2.3.
2.2.5.	Disseny assaig vibracions	5	2.2.4.
2.2.6.	Disseny assaig soroll	5	2.2.5.
2.2.7.	Disseny assaig il·luminació	5	2.2.6.
2.2.8.	Limitacions metodològiques	2	2.2.7.
2.2.9.	Nombre d'observacions a prendre	10	2.2.8.
2.3.1.	Assaig vibracions	15	2.2.9.
2.3.2.	Assaig soroll	15	2.3.1.
2.3.3.	Assaig il·luminació	7	2.3.2.
2.4.1.	Càlcul vibracions amb Rstudio	6	2.3.3.
2.4.2.	Càlcul soroll amb Rstudio	6	2.4.1.
2.4.3.	Càlcul il·luminació amb Rstudio	6	2.4.2.
2.4.4.	Anàlisis resultats vibracions	3	2.4.3.
2.4.5.	Anàlisis resultats soroll	3	2.4.4.

2.4.6.	Anàlisi resultats il·luminació	3	2.4.5.
2.5.1.	Viabilitat mediambiental	2	2.4.6.
2.6.1.	Redacció de conclusions	4	2.5.1.
2.6.2.	Redacció futures línies de treball	2	2.6.1.
2.7.1.	Pressupost	3	2.6.2.
2.7.2.	Viabilitat econòmica	2	2.7.1.
2.8.1.	Redacció de l'annex	15	2.7.2.
2.9.1.	Redacció de les referències	6	2.8.1.
2.9.2.	Revisió i correcció de la documentació final	17	2.9.1.
2.9.3.	Tancament del projecte	10	2.9.2.
2.10.1	Elaboració de la presentació	10	2.9.3.
2.10.2	Elaboració del PowerPoint	6	2.10.1
2.10.3	Preparació de la presentació	10	2.10.2

Taula 9.3. Tasques a realitzar en el projecte de detall

9.5. Execució de la planificació.

Durant el desenvolupament del projecte han aparegut certes desviacions respecte de la planificació prevista a causa de diferents factors. En primer lloc, la desviació més crítica ha estat la d'enfocar el treball des d'una altra perspectiva fent canviar la totalitat de la planificació del projecte de detall que es tenia plantejada anteriorment. Tot i això no ha afectat al treball en si ja que s'ha pogut seguir el seu nou desenvolupament satisfactòriament.

En segon lloc, un altre factor que ha alterat la planificació ha estat la incorrecta l'estimació de la durada d'alguna de les activitats, com per exemple els assajos a realitzar, ja que es depenia de la disponibilitat de la universitat dels laboratoris i del material.

En tercer lloc, un altre factor determinant ha estat el canvi d'aula per a l'assaig de soroll i per a l'assaig de vibració. Degut a la disponibilitat de diferents sales i laboratoris es va haver de canviar la sala on es s'anava a realitzar l'assaig de soroll i també l'assaig de vibracions. Tot i això es va poder obtenir un equivalent al que es tenia plantejat des del principi i no ha afectat al desenvolupament del treball, però sí a la durada d'aquest.

Finalment, un últim factor que ha causat certa desviació ha estat la fase de càlcul i anàlisi de dades ja que s'ha utilitzat el programari Rstudio el qual no s'hi havia treballat fins ara i s'han necessitat més hores de les estimades per portar a terme els càlculs per desconeixença d'aquest.

Gràcies a que s'ha disposat de la planificació del projecte s'ha pogut anar fent un seguiment de la planificació del projecte de detall i veure les desviacions que podien aparèixer. Com a resultat, l'execució de la planificació ha suposat un increment del pressupost d'execució degut a l'augment d'hores.

A la figura 9.1 es mostra el diagrama de Gantt de l'execució de la planificació del projecte de detall.



Fig. 9.1. Diagrama de Gantt del projecte de detall

10. Impacte mediambiental

Aquest és un projecte que resulta difícil quantificar l'impacte mediambiental, i per aquesta raó, tal com s'ha fet en la viabilitat econòmica, es realitzarà una avaluació qualitativa i es reflexionarà sobre els impactes mediambientals directes i indirectes que hi estan implicats.

Els impactes directes del projecte es consideren gairebé nuls, ja que només han estat els originats pels diferents assajos duts a terme. Principalment, es considera com a impacte principal directe l'ús de piles i electricitat per dur a terme els experiments i fer funcionar els diferents equips i aparells. Per altra banda, per a la realització dels assajos, tots els equips professionals, tant com els aparells utilitzats (ventilador, eina rotativa i aspiradora), telèfons intel·ligents i muntatges s'han reutilitzat a causa del fet que ja es tenien a disposició per part de la universitat o personalment des de feia temps. A més a més, un altre impacte directe ha estat la contaminació acústica per a la realització de l'assaig de vibració i el de soroll, però com que s'ha estat en sales aïllades en períodes curts no s'ha considerat important.

Així, durant l'execució del projecte no hi ha cap altre impacte directe a considerar, ja que només s'ha usat un ordinador, un bolígraf i una llibreta per a documentar-lo.

Quant a l'impacte mediambiental indirecte, només es consideraran els de fabricació i fi de la vida útil dels equips i aparells usats al llarg del projecte. Durant la fase de fabricació de cada equip o aparell emprat s'ha produït contaminació acústica, de gasos i residus. Finalment, en acabar la seva vida útil s'han de gestionar els residus per tal de generar el mínim impacte mediambiental.

Com a resum final, es pot dir que aquest projecte gairebé no té cap impacte mediambiental directe o indirecte significatiu. Per tant, es pot considerar que aquest treball és viable des del punt de vista mediambiental.

11. Conclusions.

El treball desenvolupat ha tingut com a objectiu comparar diferents variables amb equips professionals i amb telèfons intel·ligents. S'han realitzat tres experiments amb diferents telèfons intel·ligents de diferents marques líders de mercat (Samsung, Oneplus i Xiaomi) per a obtenir diversitat i també amb diverses aplicacions gratuïtes disponibles per a Android.

Després d'haver fet els diversos experiments, s'han pogut extreure les conclusions pertinents per a cada variable i s'ha observat que, generalment, els telèfons intel·ligents encara no són prou exactes i precisos la majoria de les vegades.

11.1. Vibracions.

Per a l'estudi d'aquesta variable s'ha disposat de tres telèfons amb dues aplicacions a provar a l'assaig fet. Cal mencionar que s'ha realitzat un assaig de vibracions creant una plataforma vibratòria amb un altaveu el qual se li podia modular la freqüència. L'estructura de muntatge era robusta, resistent i podia aguantar els telèfons perfectament, però es planteja si utilitzant altres recursos com una taula vibratòria, un *shaker* o vibrador mecànic els resultats haurien sigut diferents.

També, durant l'execució de l'assaig en els diferents casos es va procurar posar cada telèfon en la mateixa posició, amb els mateixos punts de suport i amb l'acceleròmetre sempre en la mateixa posició. Tot això, es podia dir que aquests factors ambientals podrien haver causat un error en la mesura, tant com el soroll del cablejat utilitzat.

Un altre factor que ha afectat en les mesures ha estat el pes del telèfon intel·ligent. Quan es canviava de telèfon, si aquest pesava més, es notava que per a la mateixa freqüència hi havia més dificultat de vibració. Això s'ha notat sobretot amb el Xiaomi Mi 10T Pro ja que el seu pes era superior i també amb el de pes inferior, el Samsung Note 9.

Després d'haver fet els càlculs pertinents i obtenir els resultats, s'ha observat que, independentment de l'aplicació utilitzada, només s'han donat resultats precisos en dos casos amb el Samsung Note 9. Donats aquests resultats, es planteja si l'acceleròmetre del Samsung era de millor qualitat que els dels altres telèfons.

Amb els altres dos telèfons intel·ligents no s'ha obtingut cap resultat satisfactori i inclús hi ha hagut freqüències en les que els dispositius quasi no detectaven les vibracions.

Per tant, generalment, podem dir que ni l'aplicació anomenada Medidor vibraciones, ni l'anomenada Vibrometer proporcionen mesures exactes i precises de vibracions.

11.2. Soroll.

Per a l'estudi d'aquesta variable, s'han utilitzat tres telèfons intel·ligents en els quals s'ha instal·lat un conjunt de tres aplicacions diferents. La primera aplicació, anomenada Sonómetro, no permetia realitzar una calibració, mentre que les altres dues, Sound Meter i Sonómetro:SPL, sí ho permetien.

L'assaig s'ha dut a terme en una sala amb el màxim aïllament possible, on s'han col·locat diversos aparells generadors de soroll. S'han realitzat mesures en quatre punts diferents a una distància d'un metre respecte a aquesta font de soroll.

Una millora que s'hauria pogut dur a terme per a perfeccionar l'assaig hauria estat utilitzar una sala més ben aïllada, com ara la sala de gravació del Tecnocampus. No obstant això, en les dates en què es va realitzar l'assaig no es disposava de disponibilitat per a aquesta opció.

Cal assenyalar que l'assaig es va veure afectat per diversos factors ambientals que podrien haver influït en els resultats, com ara el soroll procedent de les aules adjacents o les converses properes que es poguessin escoltar a través de la porta de la sala. A més, només es va disposar d'un trípede que es va anar rotant per a cada presa de mesures, la qual cosa podria haver afectat la precisió de la posició en les diverses mesures realitzades.

Un cop realitzats els càlculs pertinents i obtinguts els resultats estadístics, es poden extreure diverses conclusions. Pel que fa a la primera aplicació, que no disposava de calibració, només ha presentat bons resultats en els casos 3 i 4, en què es treballava amb nivells alts de decibels. Per a la resta de casos, ha proporcionat valors erronis i poc precisos. Aquesta tendència s'ha observat en tots els telèfons intel·ligents utilitzats, cosa que planteja la necessitat de millorar aquesta aplicació.

Quant a la segona aplicació, ha proporcionat valors precisos i exactes en tots els telèfons intel·ligents i en els quatre casos estudiats. No obstant això, cal tenir en compte que això ha estat possible gràcies a l'ús de la calibració disponible en l'aplicació.

Pel que fa a l'última aplicació, ha proporcionat valors precisos i exactes en la majoria dels casos i amb la majoria dels telèfons intel·ligents. Tot i això, també s'han observat alguns casos amb resultats poc precisos i exactes. Malgrat que aquesta aplicació també oferia l'opció de calibració, els resultats suggereixen que encara es podrien realitzar millores.

En general, basant-nos en els resultats obtinguts, podem afirmar que l'aplicació Sound Meter és l'única capaç d'oferir resultats precisos i exactes en tot l'abast dels casos estudiats. No obstant això, és important destacar que aquests resultats només s'aconsegueixen si es realitza un calibratge adequat.

Per acabar, s'ha constatat que en aquest assaig els resultats no depenen del telèfon intel·ligent utilitzat, sinó de l'aplicació utilitzada, a diferència de l'assaig de vibracions. Això ens porta a plantejar-nos si els micròfons utilitzats en els telèfons actuals són similars en precisió.

11.3. Il·luminació.

Per a l'estudi d'aquestes variables, s'han utilitzat tres telèfons intel·ligents de marques líders actuals. A cadascun d'ells s'ha instal·lat una aplicació diferent per tal de comparar-ne l'exactitud i precisió amb un luxímetre.

L'assaig realitzat per aquest propòsit consistia a utilitzar una llum LED penjada del sostre per a variar la distància i, d'aquesta manera, modificar la intensitat lumínica que incidia sobre els dispositius. Per determinar les distàncies a les quals calia col·locar la bombeta per aconseguir les diferents intensitats lumíniques, s'ha usat la Llei de l'invers al quadrat.

La sala utilitzada per a l'assaig no comptava amb finestres, de manera que el lloc escollit per dur a terme l'experiment era idoni, ja que es trobava en total fosc.

D'altra banda, com en altres assajos, diversos factors ambientals podrien haver afectat les mesures, com ara la distància entre la bombeta i el terra, el moviment de la bombeta a causa de la suspensió amb cordill, o la posició des de la qual es prenen i enregistren les mesures.

Un cop realitzats els càlculs pertinents i obtinguts els resultats de l'anàlisi, s'ha constatat clarament que, en aquest cas, cap telèfon intel·ligent ni aplicació ha aconseguit mesures tan precises i exactes com el luxímetre. Només en un parell de casos, en el rang de 100 a 200 lux, el telèfon Oneplus ha mostrat resultats favorables amb les diferents aplicacions.

A partir dels estudis realitzats en anys anteriors, s'observa que els resultats no han canviat. Els sensors de llum ambiental dels telèfons intel·ligents no proporcionen mesures tan precises i exactes com els equips professionals de mesura. Es podria plantejar la utilització d'un factor de correcció en funció del sensor que incorpori cada telèfon intel·ligent, però aquest sistema seria massa complex.

En resum, tant en aquest cas com en l'assaig de vibracions, no es tracta tant de l'aplicació en si mateixa, sinó que els sensors utilitzats actualment no són tan fiables com un luxímetre professional.

11.4. Futures línies de treball.

Com a resultat de l'estudi, s'ha observat que només s'han obtingut bons resultats en l'assaig de soroll, gràcies a una aplicació que permet el calibratge previ. Aquests resultats posen de manifest que, tot i que els telèfons actuals incorporen sensors MEMS de qualitat, continuen sent molt inferiors als utilitzats pels equips professionals. Els telèfons poden ser útils per obtenir una primera valoració i aproximació als valors reals, però no són adequats per a l'avaluació dels riscos per a la salut, ja que no són precisos ni exactes.

De cara al futur, seria recomanable realitzar més estudis que utilitzin diversos models de telèfons intel·ligents de les marques investigades en aquest estudi, per poder garantir el comportament en tota la gamma de productes de cada marca. Això proporcionaria una millor comprensió de les capacitats i limitacions dels diferents dispositius i permetria obtenir una base més sòlida per a futures investigacions.

Per acabar, en un futur en què la tecnologia millori el maquinari dels telèfons intel·ligents i es puguin aconseguir resultats més exactes i precisos, serà necessari dur a terme experiments similars als fets en aquest treball. Si aquests experiments tenen resultats positius, s'obrirà la

possibilitat de considerar les mesures obtingudes com a part d'un anàlisi més exhaustiu i potser fins i tot com a eina viable per a la valoració de riscos a la salut en entorns laborals.

Cal tenir present que aquestes conclusions estan subjectes a l'evolució constant de la tecnologia i a la millora dels sensors i les aplicacions disponibles en els telèfons intel·ligents. És important continuar realitzant investigacions i monitorant els avenços en aquest àmbit per assegurar-se que els dispositius utilitzats siguin fiables i satisfacin les necessitats de la seguretat i la salut en els entorns laborals.

12. Referències.

- [1] Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2021). Informe anual de accidentes de treball a Espanya 2021 [Versió electrònica]. Recuperat de <https://www.insst.es/el-instituto-al-dia/informe-anual-de-accidentes-de-trabajo-en-espana-2021>
- [2] ISO. (s.d.). ISO/IEC 17025:2017: Requisits generals per a la competència dels laboratoris d'assaig i calibració [Versió electrònica]. Recuperat de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:17025:ed-3:v2:es>
- [3] Statista. (s/f). La telefonía móvil en España: estadísticas y hechos. Recuperat el 15 de juny de 2023, de <https://es.statista.com/temas/5458/la-telefonía-móvil-en-espana/>
- [4] Diari Oficial de la Unió Europea. (2002, 10 de desembre). Decisió del Parlament Europeu i del Consell, de 5 de novembre de 2002, relativa a un programa comunitari de salut pública (2003-2008). DOUE-L-2002-81237. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2002-81237>
- [5] Unió Europea. (2003). Directiva 2003/10 / CE del Parlament Europeu i del Consell de 6 de febrer de 2003 relativa a les disposicions mínimes de seguretat i de salut rellevants per a l'exposició dels treballadors als riscos derivats de l'agent físic (soroll) (D.O. núm. L 42 de 15/02/2003, pàg. 38-44). EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003L0010>
- [6] Unió Europea. (1990). Directiva 90/270 / CEE del Consell de 29 de maig de 1990 relativa a les disposicions mínimes de seguretat i de salut rellevants per a l'ús de pantalles de visualització de dades per part dels treballadors (DO núm. L 156 de 21/06/1990, pàg. 14-22). EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:31990L0270&from=ES>
- [7] Butlletí Oficial de l'Estat. (1997, 18 de juliol). Llei 50/1997, de 27 de novembre, del govern. BOE-A-1997-17824. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-17824>
- [8] Butlletí Oficial de l'Estat. (2005, 4 de novembre). Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre , sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones

- mecánicas (BOE-A-2005-18262). <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2005-18262>
- [9] Institut Nacional de Seguretat i Higiene en el Treball (INSHT). (2008). Guia tècnica per a l'avaluació i prevenció dels riscos relatius a les vibracions mecàniques. <https://www.insst.es/documentos/94886/203536/Guía+técnica+para+la+evaluación+y+prevención+de+los+riesgos+relacionados+con+las+vibraciones+mecánicas.pdf/817c3e60-3256-4bdb-accb-e25b430cd91e>
- [10] Butlletí Oficial de l'Estat. (2006, 19 de maig). Reial decret legislatiu 1/2006, de 16 de novembre, pel qual s'aprova el text refós de la Llei de l'estatut dels treballadors (BOE-A-2006-4414). <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2006-4414>
- [11] Institut Nacional de Seguretat i Higiene en el Treball (INSHT). (2022). Guia tècnica per a l'avaluació i prevenció dels riscos relacionats amb l'exposició al soroll en els llocs de treball. <https://www.insst.es/documentos/94886/2927460/Gu%C3%ADa+t%C3%A9cnica+para+la+evaluaci%C3%B3n+y+prevenci%C3%B3n+de+los+riesgos+relacionados+con+la+exposici%C3%B3n+al+soroll+en+los+lugares+de+trabajo+2022.pdf/491842fd-cdf3-09bc-09b6-acc88279eea4>
- [12] Butlletí Oficial de l'Estat. (1995, 10 de novembre). Llei 31/1995, de 8 de novembre, de prevenció de riscos laborals (BOE-A-1995-24292). <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1995-24292>
- [13] Gabinet Jurídic. (1997, 14 d'abril). Reial decret 486/1997, de 14 d'abril, pel qual es regulen les disposicions mínimes de seguretat i salut en els llocs de treball. BOE-A-1997-8669. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-8669>
- [14] Instituto de Normas Técnicas de España. (2008). UNE-ISO 2631-1:2008 Vibraciones y choques mecánicos. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero. Parte 1: Requisitos generales. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0041539>

- [15] Instituto de Normas Técnicas de España. (2013). UNE-ISO 2631-1:2008/Amd.1:2013 Vibraciones y choques mecánicos. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0041539>
- [16] Instituto de Normas Técnicas de España. (2011). UNE-ISO 2631-2:2011 Vibraciones y choques mecánicos. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero. Parte 2: Vibración en edificios (1 Hz a 80 Hz). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0041551>
- [17] Instituto de Normas Técnicas de España. (2014). UNE-ISO 2631-4:2014 Vibraciones y choques mecánicos. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas al cuerpo entero. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0044856>
- [18] Instituto de Normas Técnicas de España. (2002). UNE-EN ISO 5349-1:2002 Vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0001818>
- [19] Instituto de Normas Técnicas de España. (2002). UNE-EN ISO 5349-2:2002 Vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0019337>
- [20] Instituto de Normas Técnicas de España. (2016). UNE-EN ISO 5349-2:2002/A1:2016 Vibraciones mecánicas . Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano (Corrección de errores de la versión EN ISO 5349-2:2001). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0040471>
- [21] Instituto de Normas Técnicas de España. (1999). UNE-EN ISO 13090-1:1999 Vibraciones mecánicas y choques. Directrices sobre los aspectos de seguridad en los ensayos y experimentos realizados con personas. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0001530>

- [22] Instituto de Normas Técnicas de España. (2009). UNE-EN 14253:2004+A1:2009 Vibraciones mecánicas. Medidas y cálculos de la exposición laboral a las vibraciones de cuerpo completo con referencia a la salud. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0048362>
- [23] Asociación Española de Normalización. (2017). UNE-ISO 5805:2017 Vibracions mecàniques i xocs. Mesura i avaluació de l'exposició humana a les vibracions mecàniques i als xocs. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0054672>
- [24] Asociación Española de Normalización. (2009). UNE-EN ISO 9612:2009 Acústica. Determinación de la exposición laboral al ruido. Método de ingeniería. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0011093>
- [25] Asociación Española de Normalización. (2011). UNE-EN ISO 9612:2009 ERRATUM:2011 Acústica. Determinació de l'exposició al soroll en el treball. Mètode d'enginyeria. (ISO 9612:2009 ERRATUM:2011). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0041144>
- [26] Asociación Española de Normalización. (2014). UNE-EN ISO 11200:2014 Acústica. Ruido emitido por máquinas y equipos. Directrices para la utilización de las normas básicas para la determinación de la emisión sonora. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0022551>
- [27] Asociación Española de Normalización . (2021). UNE-EN ISO 11200:2014/A1:2021 Acústica . Ruido emitido por máquinas y equipos. Directrices para la utilización de las normas básicas para la determinación de la emisión sonora . <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0073882>
- [28] Asociación Española de Normalización. (2022). UNE-EN 12464-1:2022 Luz e iluminación. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en

- interiores. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0075001>
- [29] Asociación Española de Normalización. (2016). UNE-EN 12464-2:2016 Acústica . Iluminación. Iluminación de lugares de trabajo. Parte 2: Lugares de trabajo exteriores. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0040897>
- [30] Brüel & Kjær. (2021, 20 de gener). Mesurament de vibracions. [Entrada de blog]. Recuperat de <https://www.bksv.com/es/knowledge/blog/vibration/measuring-vibration>
- [31] Brüel & Kjær. (s.d.). Calibració d'acceleròmetres [Entrada de blog]. Recuperat de <https://www.bksv.com/es/knowledge/blog/vibration/accelerometer-calibration>
- [32] Fisicalab. (s.d.). Principi fonamental. Recuperat de <https://www.fisicalab.com/apartado/principio-fundamental>
- [33] Marta Arenas Mas, Diseño e implementación de un sistema de adquisición de aceleraciones con procesamiento mediante microcontrolador, Sevilla, Capítulo 4. Pag. 39 - 54, (2008).
- [34] Genovese, P. (2022). Apuntes de medición de vibraciones. Validación y ensayo de máquinas. [Universitat Tecnocampus]
- [35] Manzanares del Moral, A. (s.d.). Estudio de modelos matemáticos d'acceleròmetres comercials [Treball final de grau, Universitat de Sevilla]. Biblioteca de la Universitat de Sevilla. Recuperat de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/11669/>
- [36] Bruel & Kjaer. (2021, 5 de maig). Efectes ambientals en les mesures de vibració. Bruel & Kjaer. Recuperat de <https://www.bksv.com/es/knowledge/blog/vibration/environmental-effects-on-measurements>
- [37] Saavedra, P. N. (s.d.). La medición y análisis de las vibraciones como técnica de inspección de equipos y componentes, aplicaciones, normativas y certificación

- [Article]. Facultad de Ingeniería - Universidad de Concepción. Recuperat de <https://www.academia.edu/8088611/>
- [38] Institut Nacional de Seguretat i Salut en el Treball. (s.d.). Riscos físics: Soroll [Pàgina web]. Recuperat de <https://www.insst.es/materias/riesgos/riesgos-fisicos/ruido#:~:text=¿Qué%20es%20el%20ruido%3F,sentido%20humano%20de%20la%20audición?>
- [39] Wikipedia. (s.d.). Potència acústica. Recuperat el 19 d'abril de 2021, de https://es.wikipedia.org/wiki/Potencia_acústica
- [40] Wikipedia. (s.d.). Pressió sonora. En Wikipedia, l'enciclopèdia lliure. Recuperat el 7 de juny de 2021, de https://es.wikipedia.org/wiki/Presión_sonora
- [41] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2016). Aspectes ergonòmics, soroll i vibracions [Document tècnic d'ergonomia]. Recuperat de <https://www.insst.es/documentos/94886/509319/DTE-Aspectos+Ergonomicos+RUIDO+y+VIBRACIONES.pdf/f19b4be7-4f7d-4f11-9d12-b0507638290f>
- [42] Mager Stellman, J. (1998). Capítulo 47. Ruido. En C. Dufresne (Ed.), Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo (Tomo II, parte IV, pp. 1-20). Recuperado de <https://www.insst.es/tomo-ii>
- [43] DEWESoft. (s.d.). Mesura de so amb micròfons. Recuperat el 13 d'agost de 2021, de <https://dewesoft.com/es/daq/medicion-de-sonido-con-microfonos#what-is-microphone>
- [44] Micròfon. En Wikipedia. Recuperat el 30 de març de 2021, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Micrófono>
- [45] Genovese, P. (2022). Apuntes de medición del ruido. Validación y ensayo de máquinas. [Universitat Tecnocampus]
- [46] Khan Academy. (s.d.). Llum i espectre electromagnètic [Pàgina web]. En Ciència: Química avançada: Estructura electrònica dels àtoms (AP). Recuperat de

<https://es.khanacademy.org/science/ap-chemistry/electronic-structure-of-atoms-bohr-model-hydrogen-ap/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum>

- [47] Institut Nacional de Seguretat i Higiene en el Treball. (s.d.). Il·luminació en el lloc de treball [Fullet informatiu]. Recuperat de <https://www.insst.es/documents/94886/96076/Iluminacion+en+el+puesto+de+trabajo/9f9299b8-ec3c-449e-81af-2f178848fd0a>
- [48] Luminancia. (s.d.). A Wikipedia, l'enciclopèdia lliure. Recuperat el 15 de setembre del 2021, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Luminancia>
- [49] Wikipedia. (s.f.). Luxómetro. En Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperado 15 de junio de 2023, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Luxómetro>
- [50] LTQ All Terrain. (s.f.). Luxòmetre. LTQ All Terrain. Recuperat el 15 de juny del 2023, de <https://ltqallterrain.com/herramientas/luxometro/>
- [51] Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (s.d.). Aspectes ergonòmics de les vibracions [Folleto]. Recuperat de <https://www.insst.es/documentacion/catalogo-de-publicaciones/aspectos-ergonomicos-de-las-vibraciones>
- [52] Institut Nacional de Seguretat i Salut en el Treball. (s.d.). Il·luminació. Recuperat de <https://www.insst.es/materias/riesgos/riesgos-ergonomicos/factores-ambientales/iluminacion>
- [53] DEKRA. (s.f.). Página principal. DEKRA. Recuperat el 15 de juny del 2023, de <https://www.dekra.es/es/home/>
- [54] Bureau Veritas. (s.f.). Bureau Veritas España. Recuperat el 15 de juny de 2023, de <https://www.bureauveritas.es/>
- [55] SGS. (s.f.). SGS España - Cuando necesite estar seguro. Recuperado el 15 de junio de 2023, de <https://www.sgs.com/es-es>
- [56] Applus+. (s. f.). In resum. Recuperat el 15 de juny de 2023, de <https://www.applus.com/global/es/about-us/in-brief/inbrief>

- [57] TUV SUD. (s.f.). TUV SUD España. Recuperado el 15 de junio de 2023, de https://www.tuvsud.com/es-es?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=15828714164&utm_term=tuv%20sud&s_kwid=AL!14017!
- [58] Intertek. (s.f.). Acerca de nosotros. Recuperado el 15 de junio de 2023, de <https://www.intertek.es/acerca/>
- [59] Eurofins Scientific. (s.f.). About Eurofins Scientific. Recuperado el 15 de junio de 2023, de <https://www.eurofins.com/about-us/>
- [60] TME. (s.f.). Vibrometros: consulte els nostres instruments de mesura de vibracions. Recuperat el 15 de juny de 2023, de <https://www.tme.eu/es/news/library-articles/page/42136/Vibrometros-consulte-nuestros-instrumentos-de-medicion-de-vibraciones-TME/>
- [61] Rodriguez, R. G., Paviglianiti, V. D., Dumit, C., & Pattini, A. E. (2021). Calibració de telèfons intel·ligents per a la mesura de l'il·luminació d'espais interiors. CONICET Digital, Recuperado el 15 de junio de 2023, de https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/160587/CONICET_Digital_Nro_3c379b13-aed9-436d-b6b3-42b82ee0d897_D.pdf.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- [62] Rodriguez, R. G., Dumit, M. C., & Pattini, A. (2019). Medició de nivells d'il·luminació amb telèfons intel·ligents. ¿Es pot reemplaçar a un luxòmetre? [Document PDF]. Recuperat el 15 de juny de 2023, de <https://es.scribd.com/document/492338282/CLERGO2019-VF>
- [63] González, O. A., Cadavid, L. F., Vásquez, J. M., & López, J. A. (2015). Ús de dispositius mòbils intel·ligents en la medició de soroll ambient i publicació en un geoportal. [Article]. Recuperat el 15 de juny de 2023, de https://www.researchgate.net/publication/299507505_Uso_de_Dispositivos_Mobiles_Inteligentes_en_la_medicion_de_Ruido_Ambiente_y_publicacion_en_un_Geoportal

- [64] Sigcha Guachamín, L. F. (2018). Estudi de la implementació dels indicadors de qualitat de l'aire en zones industrials de la ciutat de Madrid. [Treball de fi de màster, Universitat Politècnica de Madrid]. Archivo Digital UPM. <http://oa.upm.es/45075/>
- [65] Vanegas Lasso, J. M. (2018). Anàlisi dels sistemes de refrigeració per absorció [Treball de fi de grau, Universitat Autònoma Occidental]. Recuperat de <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/10413/T08081.pdf?sequence=5>
- [66] Economipedia. (s.d.). Mètode comparatiu. Recuperat el 15 de juny de 2023, de <https://economipedia.com/definicions/metode-comparatiu.html>
- [67] Wikipedia. (s.d.). Cuasi experiment. [Entrada de l'enciclopèdia en línia]. Recuperat el 15 de juny de 2023 de https://es.wikipedia.org/wiki/Cuasi_experimento
- [68] CompraSmartphone. (s.d.). Los smartphones más vendidos. [Llista]. Recuperat el 15 de juny de 2023 de <https://comprasmartphone.com/listas/telefonos-top-ventas>
- [69] Kimovil. (s.d.). Donde comprar Samsung Galaxy Note 9 8GB EU: Preu i ofertes. [Llista]. Recuperat el 15 de juny de 2023 de <https://www.kimovil.com/es/donde-comprar-samsung-galaxy-note-9-8gb-eu>
- [70] Kimovil. (n.d.). Comprar OnePlus 9 Pro 12GB/256GB: Precio y ofertas. [List]. Retrieved June 15, 2023, from <https://www.kimovil.com/es/donde-comprar-oneplus-9-pro-12gb-256gb>
- [71] Kimovil. (n.d.). Comprar Xiaomi Mi 10T Pro 256GB: Precio y ofertas. [List]. Retrieved June 15, 2023, from <https://www.kimovil.com/es/donde-comprar-xiaomi-mi-10t-pro-256gb>
- [72] QuestionPro. (s.f.). Muestreo no probabilístico: definición, tipos y ejemplos. [Blog post]. Recuperado el 15 de junio de 2023, de <https://www.questionpro.com/blog/es/muestreo-no-probabilistico/>
- [73] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (s.f.). Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las vibraciones mecánicas . [Catálogo de publicaciones]. Recuperado el 15 de junio de 2023, de <https://www.insst.es/documentacion/catalogo-de-publicaciones/guia-tecnica->

[para-la-evaluacion-y-prevencion-de-los-riesgos-relacionados-con-las-vibraciones-mecanicas](#)

- [74] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2022). Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición al ruido en los lugares de trabajo. [Catálogo de publicaciones]. Recuperado el 15 de junio de 2023, de <https://www.insst.es/documentacion/catalogo-de-publicaciones/guia-tecnica-para-la-evaluacion-y-prevencion-de-los-riesgos-relacionados-con-la-exposicion-al-ruido-en-los-lugares-de-trabajo-ano-2022>
- [75] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (s.f.). Il·luminació en el lloc de treball. Criteris per a l'avaluació i acondicionament dels llocs de treball. [Catàleg de publicacions]. Recuperat el 15 de juny de 2023, de <https://www.insst.es/documentacion/catalogo-de-publicaciones/iluminacion-en-el-puesto-de-trabajo.-criterios-para-la-evaluacion-y-acondicionamiento-de-los-puestos>
- [76] García-García, J. A., Reding-Bernal, A., & López-Alvarenga, J. C. (2022). Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica 1. [Investigación y Educación En Medicina], 30(2), 139-146. <https://doi.org/10.1016/j.riem.2022.05.003>
- [77] Organización Iberoamericana de Seguridad Social. (2019). Risc d'exposició laboral a vibracions mecàniques. [Guia Tècnica]. Recuperat el 15 de juny de 2023, de <https://oiss.org/wp-content/uploads/2019/06/MT19-Riesgo-de-exposicion-laboral-a-vibraciones-mecanicas.pdf>
- [78] Alcampo. (s.f.). Mini ventilador portatil QILIVE Q.5942 [Pàgina de producte]. Recuperat el 15 de juny de 2023, de <https://www.alcampo.es/compra-online/electrodomesticos/climatizacion/ventiladores-y-climatizadores/ventilador-de-suelo/qilive-q5942-mini-ventilador-portatil/p/477474>
- [79] MODEL DM-130B 135W Rotary tool [Pàgina de producte]. (s.f.). Alibaba.com. Recuperat el 15 de juny de 2023, de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/MODEL-DM-130B-135W-Rotary-tool-1600082892753.html>

- [80] Plaiber. (s.f.). Aspirador Karcher NT 20/1 Ap [Página de producto]. Recuperado el 15 de junio de 2023, de <https://www.plaiber.com/es/maquinaria-electrica/aspiradores/aspirador-karcher-nt-20-1-ap/>
- [81] Dietrichson, J. (s.f.). 7.3 Test de normalitat [Llibre electrònic]. Recuperat el 15 de juny de 2023, de <https://bookdown.org/dietrichson/metodos-cuantitativos/test-de-normalidad.html>
- [82] Dietrichson, J. (s.f.). 6.5.2 Prueba F de Fisher [Llibre electrònic]. Recuperat el 15 de juny de 2023, de <https://bookdown.org/dietrichson/metodos-cuantitativos/prueba-de-fisher.html>.
- [83] Dietrichson, J. (s.f.). 7.1 Prueba t de Student para muestras independientes [Llibre electrònic]. Recuperat el 15 de juny de 2023 12, de <https://bookdown.org/dietrichson/metodos-cuantitativos/prueba-t-de-student-para-muestras-independientes.html>.
- [84] RStudio. (s.f.). RStudio. Recuperat el 15 de juny de 2023, de <https://rstudio.com/>

