



Universidad Francisco de Vitoria

GRADO EN INGENIERÍA MATEMÁTICA

# Clasificador de expresiones auditivas en entornos sociales y de cuidado

EQUIPO:

*Miguel Egido Morales, Jonás Manuel García Vallejo, Alejandra Llord Muñoz de la Espada, Alfredo Robledano Abasolo*

Abril 2024

# Índice

<b>1. Resumen</b>	<b>1</b>
<b>2. Introducción</b>	<b>1</b>
2.1. Motivación . . . . .	1
2.2. Objetivos . . . . .	2
2.2.1. Objetivo general . . . . .	2
2.2.2. Objetivos específicos . . . . .	2
2.3. Alcance e impacto . . . . .	3
<b>3. Estado de la cuestión</b>	<b>3</b>
3.1. Investigaciones existentes . . . . .	5
3.2. Tabla resumen . . . . .	9
<b>4. Resolución</b>	<b>11</b>
4.1. Organización . . . . .	11
4.2. Desarrollo . . . . .	11
4.3. Implementación . . . . .	11
<b>5. Conclusión</b>	<b>12</b>

## 1. Resumen

Breve descripción de lo que se trata en el documento

## 2. Introducción

El reconocimiento y clasificación de sonidos en entornos sociales y de cuidado han emergido como áreas de investigación fundamentales con aplicaciones prácticas significativas. En este contexto, el presente proyecto se centra en la identificación precisa de sonidos específicos como tos, risas, lloros y suspiros. Estos sonidos, expresiones auditivas fundamentales en la comunicación humana, ofrecen un riquísimo campo de estudio con posibilidades de aplicación que van desde la salud hasta el bienestar emocional y la automatización del hogar.

### 2.1. Motivación

La motivación en este proyecto es impulsada por la necesidad de mejorar la calidad de vida y el cuidado de las personas a través de la tecnología. La identificación precisa de sonidos asociados con expresiones emocionales y estados de salud específicos proporciona una herramienta valiosa en entornos médicos, hogares de ancianos, y situaciones sociales diversas. Este proyecto aspira a crear un sistema robusto que no solo ofrezca un análisis acertado de los sonidos, sino que también pueda adaptarse a contextos

cambiantes, mejorando así la eficiencia y la efectividad en la toma de decisiones.

## 2.2. Objetivos

### 2.2.1. Objetivo general

Identificar y extraer diferentes tipos de sonidos a partir de fragmentos de audio para su posterior análisis e implementación en diferentes modelos sociales. Para ello aplicaremos la Transformada de Fourier para limpiar el sonido de nuestros fragmentos de audio. Posteriormente implementaremos un modelo de clasificación, el cual entrenaremos y haremos predicciones con nuevos datos.

### 2.2.2. Objetivos específicos

1. **Explorar y adquirir datos de audio:** Recopilar una amplia variedad de muestras de audio que representen diferentes tipos de sonidos relevantes para el análisis y modelado social.
2. **Preprocesamiento de datos de audio:** Utilizar herramientas de procesamiento de señales para preprocesar los datos de audio, realizando la normalización del volumen y la eliminación de ruido de fondo no deseados. Este último lo realizaremos mediante la aplicación de la transformada de Fourier para representar la señal en el dominio de la frecuencia, analizar este espectro de frecuencia para identificar las componentes de sonido deseadas y el ruido no deseado y por último realizar una eliminación selectiva de frecuencias no relevantes para mejorar la calidad de la señal y reducir el impacto del ruido.
3. **Implementar la Transformada de Fourier:** Utilizaremos la biblioteca *numpy* de Python, que permitirá transformar los datos de audio del dominio temporal al dominio de la frecuencia.
4. **Análisis de frecuencia de sonido:** Analizar los espectros de frecuencia resultantes para identificar las características espectrales distintivas de diferentes tipos de sonidos, como tonos, frecuencias dominantes y distribuciones de energía en diferentes bandas de frecuencia.
5. **Extracción de características relevantes:** Identificar y extraer características relevantes de los espectros de frecuencia que puedan ser útiles para la clasificación y análisis de diferentes tipos de sonidos, como la amplitud máxima, la frecuencia dominante o la dispersión espectral.
6. **Desarrollo de modelos de clasificación:** Utilizaremos técnicas de aprendizaje automático, como redes neuronales, para desarrollar un modelo que pueda clasificar automáticamente los diferentes tipos de sonidos basados en las características extraídas.
7. **Validación y evaluación del modelo:** Evaluaremos el rendimiento de los modelos de clasificación con nuevos datos para evaluar el rendimiento de nuestro modelo. Utilizando métricas como la precisión.

8. **Implementación y despliegue del modelo:** Integraremos el modelo de clasificación final en una aplicación para su implementación práctica (de manera únicamente teórica), lo que llegará a poder realizar una detección y clasificación a tiempo real en entornos sociales específicos.

### 2.3. Alcance e impacto

El equipo está compuesto por cuatro ingenieros matemáticos que se enfrentan al objetivo de desarrollar un modelo de aprendizaje automático, para clasificar audios con diferentes sonidos como tos, risa, estornudos... etc; dado que no se dispone de un presupuesto, lo realizarán mediante recursos gratuitos y códigos abiertos para llevar a cabo el proyecto.

Los objetivos propuestos por el equipo del proyecto tratan del desarrollo de un modelo de aprendizaje automático, esto conllevará la recopilación de datos, la selección de características relevantes de los audios, el entrenamiento del modelo y la comprobación de su rendimiento, por último se hará un análisis de los resultados obtenidos para sacar conclusiones sobre las aplicaciones del modelo que puedan llegar a generar un impacto significativo, además se identificarán posibles mejoras para futuras iteraciones del proyecto.

Las fechas de los objetivos estarán bien definidas en el diagrama de Gantt, anteriormente definidas, que será utilizado para la planificación del progreso del proyecto. Este diagrama será una herramienta que verificará con eficiencia con el cumplimiento de los plazos establecidos y se consiga así un avance constante en todas las etapas del proyecto.

El proyecto tiene el potencial de generar impactos significativos para la sociedad, la tecnología, beneficios sociales y medioambientales. Al reconocer y detectar eventos de sonidos relevantes, podría aplicarse en mejoras en sistemas de seguridad y análisis de datos para sacar la información más relevante, un ejemplo sería en las llamadas de atención al cliente para comprobar si el cliente está satisfecho o no con la empresa, también podría ser empleado por médicos para realizar un seguimiento de sus pacientes extrayendo los sonidos relevantes y facilitando diagnósticos más precisos

En términos medioambientales el proyecto podría tener un impacto significativo, por ejemplo, en la mejora de detección de sonidos esto podría ayudar a la seguridad pública, al poder dar respuestas más rápidas y eficientes en situaciones de emergencias.

## 3. Estado de la cuestión

El análisis y procesamiento de señales de audio han experimentado avances significativos gracias a la aplicación de técnicas matemáticas y computacionales. En este contexto, la Transformada de Fourier y las Redes Neuronales emergen como herramientas esenciales, impulsando innovaciones en el reconocimiento de patrones de audio, el procesamiento de señales y la mejora de sistemas de diagnóstico.

## **Transformada de Fourier**

La Transformada de Fourier juega un papel crucial en el desglose de señales de audio en sus componentes frecuenciales, facilitando el análisis y la clasificación detallada de las señales. Aguirre Martín (2017), en su trabajo sobre el desarrollo y análisis de clasificadores de señales de audio, destaca la importancia de esta herramienta para el procesamiento efectivo de señales de audio, especialmente en la identificación de características únicas dentro de señales complejas.

## **Redes Neuronales**

Por otro lado, las Redes Neuronales, particularmente las Convolucionales (CNNs), han demostrado ser excepcionalmente eficaces en el reconocimiento y clasificación de señales de audio. Su capacidad para aprender de grandes cantidades de datos y extraer características significativas sin la necesidad de preprocesamiento detallado ha revolucionado el campo. Chachada y Kuo (2014) proporcionan una revisión exhaustiva sobre el reconocimiento de sonidos ambientales, resaltando cómo las técnicas basadas en aprendizaje automático han avanzado en la clasificación y el análisis de sonidos no musicales y no verbales.

## **Integración de ambas técnicas**

La integración de la Transformada de Fourier con Redes Neuronales ha permitido el desarrollo de sistemas de reconocimiento de audio altamente efectivos y eficientes. Esto es debido a la capacidad de aplicar la Transformada de Fourier en entornos ruidosos y complejos para disminuir las interferencias y ampliar la frecuencia de interés. De esta forma, se pueden optimizar todos los datos independientemente del entorno y así aprovechar al máximo la capacidad de las redes neuronales para desarrollar diferentes modelos. Este enfoque combinado se ha aplicado en una variedad de aplicaciones, desde el diagnóstico médico hasta la seguridad y la interacción hombre-máquina.

## **Aplicaciones destacadas**

### **diagnóstico médico**

La capacidad para clasificar y analizar señales de voz y sonidos cardíacos con precisión tiene implicaciones significativas en el campo médico, permitiendo el desarrollo de herramientas de diagnóstico no invasivas y altamente efectivas.

### **Seguridad y monitoreo ambiental**

El reconocimiento preciso de sonidos ambientales puede ser utilizado para mejorar sistemas de seguridad y monitoreo, ofreciendo métodos rápidos y confiables para la detección de eventos inusuales o peligrosos.

## Desafíos y futuro

A pesar de los avances logrados, persisten desafíos significativos, particularmente en la mejora de la precisión del reconocimiento en entornos ruidosos y la gestión eficiente de grandes volúmenes de datos. La investigación futura se beneficiará de un enfoque multidisciplinario, combinando conocimientos de acústica, matemáticas, y ciencias de la computación, para desarrollar soluciones innovadoras que aborden estos desafíos.

### 3.1. Investigaciones existentes

#### Artículo 1

**Título:** “Desarrollo y análisis de clasificadores de señales de audio”

**ID:** [1]

**URL:** <https://riunet.upv.es/handle/10251/90005>

**Resumen:**

El artículo ofrece un análisis sobre la clasificación y reconocimiento de señales de audio, donde podemos descartar su relevancia en aplicaciones modernas que combinan procesamiento de audio y aprendizaje automático. En el artículo se mencionan temas bien establecidos como el reconocimiento de voz y la música, así como un campo emergente, la clasificación automática de ruidos ambientales. Para el aprendizaje automático emplea un modelo supervisado, donde los datos de audio están etiquetados en clases. Se describe un proceso de clasificación, que abarca desde la extracción de características del audio hasta la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático para la tarea. También, se proporciona un sistema de clasificación y etiquetado de audio en tiempo real como ejemplo concreto de aplicación práctica, incluyendo una estructura de clasificación jerárquica.

**Por qué es útil:**

Esta información puede ser muy útil para orientación del proyecto en el desarrollo de un modelo que diferencie audios de tos, estornudos y risas. También es importante para el proyecto la extracción de características del audio y el uso de algoritmos de aprendizaje automático para la clasificación. Además, se menciona un enfoque supervisado, que es importante cuando tienes datos etiquetados en clases. Por último, el artículo menciona el desarrollo de un software para la clasificación de audio en tiempo real, lo cual puede ser útil para implementar el modelo en un entorno práctico.

#### Artículo 2

**Título:** “Environmental sound recognition: a survey”

**ID:** [3]

**URL:** <https://www.cambridge.org/core/journals/apsipa-transactions-on-signal-and-information/article/environmental-sound-recognition-a-survey/96211C365DC7B250CEEFFB15026A5CDF>

**Resumen:**

El artículo ofrece una revisión detallada y comprensible de los avances más recientes en el campo del reconocimiento de sonidos ambientales, organizada en cuatro secciones principales. Estas incluyen una explicación de los enfoques básicos de procesamiento

de sonidos ambientales, técnicas para manejar sonidos ambientales estacionarios y no estacionarios, así como una comparación del rendimiento entre diferentes métodos. Por último, el artículo discute las conclusiones obtenidas y señala las tendencias futuras en la investigación y desarrollo de este campo específico.

**Por qué es útil:**

Este artículo es útil porque proporciona revisión detallada de los avances de campo del reconocimiento de sonidos ambientales. Al revisar las técnicas presentadas en el artículo, podrás identificar técnicas relevantes que podrían ser aplicables a tu proyecto de diferenciar entre audios de tos y risa. Por ejemplo, podrías encontrar métodos para manejar aspectos no estacionarios de los sonidos, lo cual puede ser relevante para identificar características distintivas de la tos y la risa en los audios.

### Artículo 3

**Título:** “Clasificación automática de sonidos utilizando lenguaje máquina”

**ID:** [5]

**URL:** <https://idus.us.es/handle/11441/101412>

**Resumen:**

Este artículo realiza la implementación de dos modelos para clasificar sonidos ambientales mediante aprendizaje automático. Ambos resaltan la importancia del procesamiento del espectrograma de audio y el preprocesamiento de datos. La finalidad de este artículo es crear un sistema para clasificar sonidos ambientales con precisión aceptable, explorando métodos de extracción de características y utilizando inteligencia artificial.

**Por qué es útil:**

Este trabajo es útil ya que aborda un tema muy conectado al nuestro, nuestro objetivo es la clasificación de sonidos producidos por las personas. Aunque este artículo clasifique sonidos ambientales nos puede ayudar a relacionar el enfoque que podemos darle a nuestro trabajo. Además utiliza la transformada de fourier, luego también es útil para empezar a conocerla para poder trabajar con ella.

### Artículo 4

**Título:** “Reconocimiento automático de instrumentos mediante aprendizaje máquina”

**ID:** [7]

**URL:** <https://idus.us.es/handle/11441/91372>

**Resumen:**

Este proyecto aborda el reconocimiento de instrumentos musicales mediante múltiples algoritmos de aprendizaje automático, incluyendo KNN, redes neuronales, PCA, LDA y Random Forest. Se evalúan distintos enfoques y se concluye que, en algunos casos, los algoritmos más simples, como KNN, ofrecen resultados óptimos. Se destaca la importancia de la reducción de dimensiones y se exploran las dificultades asociadas con instrumentos específicos.

**Por qué es útil:**

La utilidad de la información del estudio de instrumentos se refleja en la experiencia adquirida en el procesamiento de datos de audio y en la selección de algoritmos eficaces

para la clasificación, realizando un contraste de estos para elegir el mejor candidato. Además, conceptos como la reducción de dimensiones y la adaptabilidad a contextos cambiantes pueden aplicarse al reconocimiento de sonidos en nuestro proyecto.

## Artículo 5

**Título:** “Classification of Nonverbal Human Produced Audio Events: A Pilot Study”

**ID:** [2]

**URL:** <https://espace2.etsmtl.ca/id/eprint/17579/>

### Resumen:

En este estudio piloto, se plantea la necesidad de avanzar en el estado del arte sobre las capacidades de procesamiento en micro-controladores de sonidos no verbales como la tos y carraspeo. La correcta clasificación de este tipo de sonidos no verbales captados a través de un pequeño dispositivo intra-aural podría mejorar la atención médica. Las técnicas propuestas que se evalúan en este estudio piloto son Gaussian Mixture Model (GMM), Support Vector Machine y Multi-Layer Perceptron.

### Por qué es útil:

El estudio trata técnicas que se adecuan enormemente al tipo de problema que se quiere resolver. Entender su funcionamiento y complejidad permite aumentar el abanico de posibilidades en la tarea de desarrollar un modelo clasificador de sonidos no verbales.

## Artículo 6

**Título:** “A Bag-of-Audio-Words Approach for Snore Sounds’ Excitation Localisation”

**ID:** [8]

**URL:** <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7776181/>

### Resumen:

En esta publicación se estudia como mejorar la calidad del sueño y tratar patologías graves en personas que padecen de ronquidos y de apnea del sueño, a partir del análisis de sonidos. Se trata de un campo de estudio eminentemente práctico que destaca por la importancia y los riesgos en la salud que generan este tipo de enfermedades. Se utilizan técnicas como Bag-of-audio-words para mejorar la eficiencia en clasificadores de sonidos.

### Por qué es útil:

El enfoque que se da al análisis de sonidos es muy práctico y aunque tal vez muy específico, permite hacerse a la idea de como puede ser una aplicación práctica de un clasificador de sonidos, además de mejorar la precisión con la técnica Bag-of-audio-words.

## Artículo 7

**Título:** “Eliminación de ruido en sonidos cardíacos mediante técnicas de aprendizaje profundo”

**ID:** [6]

**URL:** [https://rsc.cic.ipn.mx/2023\\_152\\_9/Eliminacion%20de%20ruido%20en%20sonidos%20cardiacos%20mediante%20tecnicas%20de%20aprendizaje%20profundo](https://rsc.cic.ipn.mx/2023_152_9/Eliminacion%20de%20ruido%20en%20sonidos%20cardiacos%20mediante%20tecnicas%20de%20aprendizaje%20profundo).



[pdf](#)

**Resumen:**

El artículo aborda la problemática del ruido en grabaciones de sonidos cardiacos y propone una solución mediante el uso de técnicas avanzadas de aprendizaje profundo. Se enfoca en mejorar la calidad de estas grabaciones para facilitar diagnósticos más precisos y eficaces en el ámbito médico. La investigación destaca por su enfoque innovador en el procesamiento de señales y su potencial para contribuir significativamente a la cardiología y la medicina diagnóstica.

**Por qué es útil:**

**Artículo 8**

**Título:** Clasificación de voces a través de series de Fourier y redes neuronales”

**ID:** [4]

**URL:** <file:///C:/Users/j0n4s/Downloads/2023-24-ETSII-A-2178-2178050-m.gomezma.2017-MEMORIA.pdf>

**Resumen:**

El objetivo principal es desarrollar un método matemático que permita clasificar las voces según si padecen algún tipo de afección o no, utilizando para ello series de Fourier y redes neuronales convolucionales (CNN). El trabajo se divide en dos grandes bloques: la clasificación mediante series de Fourier y la clasificación utilizando redes neuronales. En el primer bloque, se escogen voces sanas y voces con nódulos para comparar su frecuencia fundamental media y la amplitud de sus oscilogramas. Se plantean hipótesis sobre las diferencias entre voces sanas y con patología, proponiendo ajustar distribuciones gaussianas a las características de las señales de voz para confirmar o deshechar estas hipótesis.

En el segundo bloque, se propone el uso de redes neuronales, específicamente la red neuronal convolucional (CNN), para la clasificación de las voces. Se identifica un problema de desbalance en el conjunto de datos, ya que hay muchas más muestras de voces sanas que de voces con patología. A pesar de que la exactitud del modelo es alta, la precisión y el recall son muy bajos para las muestras patológicas, lo que indica que el modelo tiende a clasificar todas las señales de voz como sanas. Para intentar solucionar este problema, se propone un entrenamiento de bajo y sobremuestreo de las entradas de la red.

**Por qué es útil:**

El manejo de redes neuronales en sintonía con la transformada de Fourier es el foco principal del proyecto. Estas herramientas permitirán una correcta limpieza y extracción de características del dataset de sonidos no verbales.

### 3.2. Tabla resumen

Artículo	Título	Análisis	Objetivo del estudio	Relación y aportación
1	Desarrollo y análisis de clasificadores de señales de audio	Crear un sistema de clasificación de sonidos ambientales. Una vez implantado el modelo estudiar los parámetros de decisión.	Explorar métodos de extracción de características de audio. Conseguir una precisión aceptable. Elegir el mejor modelo de inteligencia artificial.	Clasificador de sonidos y Transformada de Fourier
2	Environmental sound recognition: a survey	Desarrollar métodos para el reconocimiento de instrumentos musicales utilizando algoritmos de aprendizaje automático	Identificar qué algoritmo es más óptimo para la clasificación. Se exploran aspectos como la reducción de dimensiones y las dificultades asociadas a cada instrumento	Contraste de algoritmos de clasificación y analogía de los instrumentos musicales con sonidos producidos por las personas.
3	Clasificación automática de sonidos utilizando lenguaje máquina	Crear un sistema de clasificación de sonidos ambientales. Una vez implantado el modelo estudiar los parámetros de decisión.	Explorar métodos de extracción de características de audio. Conseguir una precisión aceptable. Elegir el mejor modelo de inteligencia artificial.	Clasificador de sonidos y Transformada de Fourier

4	Reconocimiento automático de instrumentos mediante aprendizaje máquina	Desarrollar métodos para el reconocimiento de instrumentos musicales utilizando algoritmos de aprendizaje automático	Identificar qué algoritmo es más óptimo para la clasificación. Se exploran aspectos como la reducción de dimensiones y las dificultades asociadas a cada instrumento	Contraste de algoritmos de clasificación y analogía de los instrumentos musicales con sonidos producidos por las personas.
5	Classification of Nonverbal Human Produced Audio Events: A Pilot Study	Evaluación de la técnicas GMM, SVM y Perceptrón Multicapa en el análisis de sonidos no verbales.	En 10 categorías de sonidos no verbales, medir la eficiencia de 3 técnicas comúnmente utilizadas en el procesamiento de sonidos.	Guía útil en la elección del algoritmo utilizado en el desarrollo de un clasificador de sonidos no verbales.
6	A Bag-of-Audio-Words Approach for Snore Sounds' Excitation Localisation	Análisis de sonidos relacionados con el sueño (ronquidos, apnea del sueño, ...).	Realizar un enfoque en la clasificación basado en la técnica Bag-of-Audio-Words.	Entender un caso práctico de uso y el enfoque mediante la técnica Bag-of-Audio-Words.
7	Eliminacion de ruido en sonidos cardíacos mediante tecnicas de aprendizaje profundo	Estudia la efectividad de las técnicas de aprendizaje profundo para eliminar el ruido de las grabaciones de sonidos cardíacos.	El estudio busca mejorar la calidad de los registros de sonidos cardíacos, lo que permitiría un diagnóstico más preciso y confiable de las condiciones cardíacas.	Clasificador de sonidos, técnicas avanzadas de aprendizaje profundo y Transformada de Fourier

8	Clasificación de voces a través de series de Fourier y redes neuronales	Se centra en el desarrollo y evaluación de un método matemático para clasificar voces según la presencia de alguna afección.	El estudio busca identificar diferencias significativas en las características de las señales de voz entre voces sanas y voces con patología, con el fin de proporcionar una herramienta precisa y eficaz para el diagnóstico temprano de trastornos vocales.	Series de Fourier y Redes Neuronales Convolucionales (CNN).
---	---	--	---	---

## 4. Resolución

### 4.1. Organización

Organización temporal y de trabajo

### 4.2. Desarrollo

Desarrollo y resolución completa

### 4.3. Implementación

Para la implementación del proyecto, se ha desarrollado una aplicación que ofrece una solución práctica para la detección en tiempo real de varios tipos de sonidos, como tos, aclaración de garganta, risas, suspiros, esnifar y estornudos.

La aplicación se inicia importando los módulos necesarios y configurando la detección de los tipos de sonidos, además de cargar un modelo previamente entrenado con una efectividad del 85 %. Luego, utiliza Matplotlib para mostrar las formas de onda de audio en tiempo real y capturar las muestras entrantes para su procesamiento. Mediante una función definida, la aplicación detecta los diferentes tipos de sonidos utilizando el modelo cargado y los presenta en un gráfico para una fácil comprensión.

El flujo de audio se inicia mediante SoundDevice y se crea una animación continua para visualizar de manera fluida las muestras de audio y sus clasificaciones. Esta implementación puede ser muy útil en diversos ámbitos profesionales, como en las llamadas

telefónicas (para evaluar el nivel de satisfacción del cliente durante la llamada) y en servicios sanitarios (para supervisar el bienestar del paciente).

## 5. Conclusión

## Referencias

- [1] Fabián Aguirre Martín et al. «Desarrollo y análisis de clasificadores de señales de audio». En: (2017).
- [2] Rachel E Bouserhal et al. «Classification of nonverbal human produced audio events: a pilot study». En: (2018).
- [3] Sachin Chachada y C-C Jay Kuo. «Environmental sound recognition: A survey». En: *APSIPA Transactions on Signal and Information Processing* 3 (2014), e14.
- [4] Mercedes Gomez Martin et al. «CLASIFICACIÓN DE VOCES A TRAVÉS DE SERIES DE FOURIER Y REDES NEURONALES». En: (2023).
- [5] Patricio Rodríguez Ramírez. «Clasificación automática de sonidos utilizando aprendizaje máquina». En: (2020).
- [6] Cristóbal González Rodríguez, Miguel A Alonso Arévalo y Eloisa Garcia Canseco. «Eliminación de ruido en sonidos cardiacos mediante técnicas de aprendizaje profundo». En: ().
- [7] Aurora Salgado Díaz del Río. «Reconocimiento automático de instrumentos mediante aprendizaje máquina». En: (2019).
- [8] Maximilian Schmitt et al. «A bag-of-audio-words approach for snore sounds' excitation localisation». En: *Speech Communication; 12. ITG Symposium*. VDE. 2016, págs. 1-5.