

Efecto de las técnicas de estudio ondas binaurales y filtro nocturno en la memoria de trabajo de los estudiantes de Ciencias económicas de la Universidad de Costa Rica

Stephanie Vega López¹, Francisco Calderón Fonseca¹, Luis Alonso Madrigal Ramírez¹.

stephanie.vegalopez@ucr.ac.cr, luisalonso.madrigal@ucr.ac.cr, jose.calderonfonseca@ucr.ac.cr.

RESUMEN

Existen diferentes técnicas de estudio utilizadas actualmente, que permiten mejorar el rendimiento académico, aumentando la memoria de trabajo. El presente trabajo analiza el efecto de las ondas binaurales y el filtro nocturno sobre los aciertos obtenidos en la prueba “test del chimpancé”. Se utiliza un modelo mixto, en el cual la respuesta es considerada como una variable que toma valores de cero hasta infinito. Se encuentra que ninguno de los factores asociados posee un efecto significativo sobre la cantidad de aciertos obtenidos en la prueba por los estudiantes de Ciencias Económicas de la Universidad de Costa Rica.

PALABRAS CLAVE: Test del chimpancé, unidades aleatorias, experimento, modelo mixto.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el uso de dispositivos electrónicos (laptops, celulares, tabletas...) se ha vuelto fundamental en el aprendizaje, al punto que todo estudiante posee al menos uno de estos aparatos electrónicos, facilitando su experiencia educativa, pero esto trae consigo una larga exposición frente a una pantalla, que acompañado de ciertos distractores como el ruido del entorno, puede llegar a ocasionar el agotamiento del cerebro y la vista, disminuyendo la capacidad de concentración, atención y por ende la productividad.

Es por esto, que es importante abordar diferentes técnicas de estudio que permitan aumentar la atención y concentración con el fin de mejorar la memoria de trabajo e incrementar el rendimiento académico, Parra (2021) menciona que una de las técnicas más importantes es el uso de las ondas binaurales ,ya que, permiten mediante la liberación de frecuencias potenciar la concentración del individuo.

Según Valerdi, Mercado, Roa, Treviño y García (2018) las ondas binaurales permiten la exposición de los oídos a una combinación de dos pulsos emitidos en frecuencias diferentes, lo que crea un efecto de interferencia en el cerebro, este responde con la formación de frecuencias binaurales, las cuales benefician la parte cognitiva y emocional del individuo, incrementando los niveles de concentración y relajación.

A su vez Ccama (2015) encuentra que, las ondas binaurales aplicadas a estudiantes antes de rendir pruebas de admisión reduce el nivel de ansiedad y que, en el grupo control, el nivel de

¹ Estudiantes, Bachillerato en Estadística. Universidad de Costa Rica.

ansiedad incrementaba cercano a la fecha del examen, mientras que en el grupo expuesto a ondas el mismo se mantenía e incluso disminuía.

Por otro lado, el uso de filtros nocturnos en los dispositivos electrónicos reduce la emisión de luz azul, sobre lo cual Zelada y Vega(2022) indican, que se ha determinado que la exposición a la luz azul durante un tiempo prolongado reduce la producción de melatonina, la cual es la hormona encargada del sueño, por lo que utilizar dispositivos con algún tipo de filtro nocturno que reduzca este tipo de luz, hace que el cerebro produzca más melatonina, mejorando la calidad de sueño y con ello la capacidad durante el día.

Con lo anterior, se puede esperar que la utilización de las ondas binaurales produzcan un efecto positivo en el individuo propiciando la concentración y aumentando la capacidad de la memoria de trabajo, así como la aplicación del filtro nocturno en el dispositivo electrónico se espera ayude al cansancio visual y con ello aumente de igual manera la memoria de trabajo.

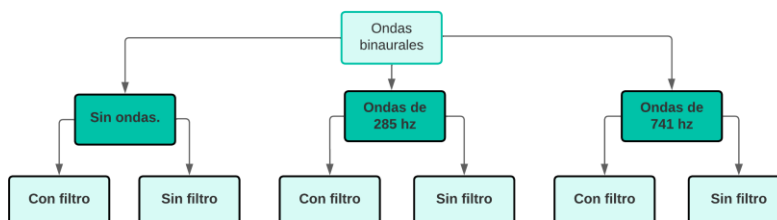
Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio es analizar el efecto que posee la combinación de las técnicas ondas binaurales y filtro nocturno sobre la memoria de trabajo. Por otra parte, el objetivo específico planteado es encontrar la combinación entre filtro nocturno y frecuencia de ondas binaurales que produzca el mejor resultado en el aumento de la memoria de trabajo.

METODOLOGÍA

La unidad experimental del presente trabajo fue el estudiante de Ciencias Económicas de la Universidad de Costa Rica, se utilizó un diseño experimental con unidades aleatorias tipo bloque y con dos factores. Se contó como factor de diseño las ondas binaurales con sus respectivos tres niveles: sin ondas, 285 Hz de frecuencia y 741 Hz de frecuencia, y como segundo factor el filtro nocturno en el cual se plantearon dos niveles: sin filtro y con filtro. Así en total, se obtuvieron 6 tratamientos: sin ondas-sin filtro, sin ondas-con filtro, ondas 285 Hz-sin filtro, ondas 285 Hz-con filtro, ondas 741 Hz-sin filtro y ondas 741Hz-con filtro; estos tratamientos y su asignación se pueden observar en Figura 1.

Figura 1

Asignación de los factores del diseño



Se estudiaron 24 unidades aleatorias, donde una unidad aleatoria es una persona a la cual se le aplicaron dos tratamientos, de esta manera se obtuvieron un total de 48 observaciones, las cuales se dividieron en 8 observaciones por tratamiento.

En cuanto a la asignación del primer factor ondas binaurales, se eligió de manera aleatoria a cada participante hasta haber completado las 8 observaciones por cada nivel. De igual manera el orden en el cual cada persona debe realizar la prueba según el factor filtro nocturno (con y sin) se aplica mediante la asignación aleatoria y balanceada, es decir que dentro de cada nivel de ondas se aplica 4 con filtro primero y 4 sin filtro primero, para evitar que el orden de este afecte el estudio, tal y como se muestra en la Tabla 1, donde cada letra del código representa la unidad aleatoria, el primer dígito es el nivel del factor de diseño ondas binaurales y los dos últimos dígitos representan los niveles del factor filtro, donde 0 es sin filtro y 1 con filtro.

Tabla 1.

Asignación aleatoria de los tratamientos.

Sin ondas (0)	Ondas 285 hz(1)	Ondas 741 hz (2)
A010	I110	Q210
B001	J101	R201
C010	K110	S210
D001	L101	T201
E010	M110	U210
F001	N101	V201
G010	O110	W210
H001	P101	X201

La prueba con la cual se midió la memoria de trabajo es conocida como “test del chimpancé”, científicamente posee el nombre test Secuencial WOM-ASM, la cual según Matsuwaza (2019), permite medir la capacidad de retención de la información recibida, así mismo su capacidad de procesamiento y de respuesta. La prueba se basa en una secuencia de números que se van presentando de manera aleatoria y de menor a mayor complejidad, la persona debe dar clic en los números en orden de valor, pero al dar clic en el primero los demás se vuelven espacios en blanco y con ello se mide la memoria empleada (ver figura 1 en Anexos).

La persona cuenta con tres intentos de equivocarse, al final de la prueba se obtiene el dígito máximo que logró recordar entre sus tres intentos, número que va desde 0 hasta infinito, ya que no existe un límite de respuestas correctas, por lo tanto, esta cantidad se convierte en nuestra variable respuesta. La experta en psicopedagogía Arlyn Alfaro Ramírez nos menciona que las personas pueden recordar en promedio 7 dígitos y que una diferencia de ± 1 dígito puede llegar a ser relevante en el estudio.

La aplicación de la prueba se realizó en el laboratorio del cuarto piso del edificio de Aulas de la Universidad de Costa Rica, donde previo a iniciar la prueba, se asignaron aleatoriamente los códigos de la Tabla 1 a cada uno de los equipos disponibles, al finalizar la prueba, la cual tiene una duración entre 15 a 20 minutos en función del rendimiento de la persona, se anota el puntaje obtenido.

El modelo mixto teórico para el experimento de unidades aleatorias a realizar es:

$$\mu_{ijk} = \mu + \alpha_i O_i + \beta_j F_j + (\alpha\beta)_{ij} O_i F_j + \gamma_k;$$

donde:

$$\mu = \text{media general de la cantidad de aciertos}$$

$\alpha_i =$ efecto del i – ésimo tipo de onda, i puede tomar valores de 1 a 3, porque se tienen 3 tipos.

$$O_i = \text{coeficiente asociado a las ondas binaurales.}$$

$\beta_j =$ efecto del j – ésimo tipo de filtro, j puede tomar valores de 1 a 2, porque se tienen 2 tipos.

$$F_j = \text{coeficiente asociado al tipo de filtro.}$$

$(\alpha\beta)_{ij} =$ interacción del i – ésimo tipo de onda respecto al j – ésimo tipo de filtro

$$\gamma_k = \text{efecto fijo del } k \text{ – ésima unidad aleatoria (persona);}$$

se tienen las restricciones de suma nula:

$$\alpha_3 = -(\alpha_1 + \alpha_2)$$

$$\beta_2 = -\beta_1$$

$$\sum_{i,j} (\alpha\beta)_{ij} = 0 \text{ para todo } i \text{ y } j$$

Se realiza la verificación del supuesto de homocedasticidad mediante la prueba Bartlett, la cual según Huertas (2012) permite probar la hipótesis de que hay una misma varianza en cada una de las distribuciones condicionales al tratamiento, además se probó el supuesto de normalidad mediante un gráfico cuantil-cuantil de los residuales del modelo, ya que según James, Witten, Hastie y Tibshirani (2021), este nos permite comparar los cuantiles de los datos observados con los cuantiles que se esperarían de una distribución normal teórica, además se utilizan los residuales, ya que, si estos tienen un comportamiento normal, el modelo también lo será.

Una vez verificados los supuestos, se procede a probar la hipótesis de interacción planteada como $(\alpha\beta)_{ij} = 0$ en la cual se espera que el efecto de las ondas binaurales sobre el promedio de aciertos sea independiente del tipo de filtro utilizado, esta prueba se realiza tanto gráficamente como bajo un análisis de varianza del modelo completo, donde se espera obtener el estadístico F, así como su probabilidad asociada, la cual nos ayuda a rechazar o no la hipótesis nula.

Para concluir con el análisis realizado, se procede a calcular la potencia de la prueba (ver Tabla 3 en Anexos), la cual indica la probabilidad de encontrar diferencias de ± 1 entre los promedios de aciertos, en caso de que dichas diferencias existan.

Para probar la potencia de la prueba se establecieron medias poblacionales hipotéticas de manera que se tuviera en cuenta la diferencia relevante planteada y la interacción entre los factores. Se realizaron 1000 iteraciones del modelo y del análisis de varianza, se extrajo el valor F asociado y a partir del mismo se calculan las probabilidades asociadas, dicha probabilidad fue almacenada al

finalizar cada iteración para calcular la proporción de veces en las cuales está probabilidad fue menor al nivel de significancia establecido en 5%.

Para la elaboración de los análisis y pruebas se utilizó el software estadístico R (R Core Team, 2021), junto con las librerías readxl (Wickham y Bryan, 2023), lme4 (Bates et al., 2015), ggplot2 (Wickham, 2016) y car (Fox y Weisberg, 2019).

RESULTADOS

Con el fin de identificar resultados generales, se realizó un análisis descriptivo de los datos obtenidos, donde resultó que la media de los aciertos de las personas fue de 11 dígitos, con un valor mínimo de 7 y un máximo de 16. En la Tabla 1 se presentan los datos de acuerdo con el tipo de tratamiento.

Tabla 2

Medidas de tendencia central y dispersión para los distintos tratamientos

Tratamiento	Media	Variancia	Mínimo	Máximo
Sin ondas - Con filtro	11.00	3.71	9	13
Sin ondas - Sin filtro	11.12	8.41	7	16
Ondas 285 - Con filtro	10.50	0.86	9	12
Ondas 285 - Sin filtro	11.88	4.41	10	16
Ondas 741 - Con filtro	11.50	4.85	9	15
Ondas 741 - Sin filtro	11.38	5.41	9	15

En relación con las medidas de tendencia central se observa que la media de los tratamientos ronda los valores de 10 a 11 puntos, en cuanto a la variancia se observa que el tratamiento sin ondas-sin filtro posee la variancia más alta (8.41), lo cual evidencia que los datos que tienen este tratamiento tienen mucha variabilidad, mientras que el tratamiento ondas 285- con filtro posee la menor variabilidad (0.86). En cuanto a los mínimos y máximos, el tratamiento sin ondas-sin filtro posee el menor valor de 7 puntos y además posee también uno de los valores más altos, así como el tratamiento ondas 285-sin filtro posee también un valor máximo de 16 puntos.

Ahora bien, una vez realizado el análisis descriptivo se verifican los supuestos necesarios para llevar a cabo el análisis del experimento.

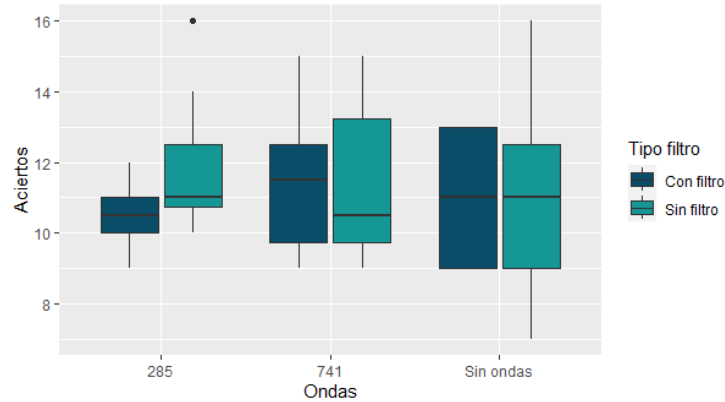
1. Normalidad: mediante el gráfico cuantil-cuantil de residuales (ver Figura 2 en Anexos), se observa que los puntos se encuentran dentro de las bandas de confianza y la mayoría de ellos se ajustan a la línea recta, lo cual nos indica que los cuantiles de los datos y los cuantiles teóricos se ajustan bien, por lo que se sugiere el cumplimiento de este supuesto.
2. Homocedasticidad: Al cumplir con el supuesto de normalidad en el modelo, se analiza homocedasticidad mediante la prueba de Bartlett y se observa que la probabilidad asociada es de un 0.10 con un $\alpha=0.05$ por lo que no existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula de varianzas iguales, es decir que se asume homocedasticidad.

Gráficamente en la Figura 2 se observa que la variabilidad de los aciertos en los distintos tratamientos al eliminar el efecto de la unidad aleatoria no es tan parecida en todos los casos,

especialmente el grupo que se encuentra sin ondas y en el grupo de ondas 285. Esta evidencia no es tan fuerte como para asumir heterocedasticidad, por lo que, en este caso se sigue el resultado de la prueba formal.

Figura 2

Variabilidad de los aciertos según el tratamiento, sin el efecto de las unidades aleatorias



Tras el cumplimiento de los supuestos se plantea el modelo inicial propuesto, cuya ecuación estimada es:

$$\hat{\mu}_{ijk} = 11.23 - 0.04O_1 + 0.21 O_2 - 0.23 F_1 - 0.46 O_1F_1 + 0.29 O_2F_1 + 0.88\gamma_k;$$

donde:

O_1 : Ondas 285 Hz.

O_2 : Ondas 741 Hz.

F_1 : Con filtro.

O_1F_1 : Interacción entre Ondas 285 y Con filtro.

O_2F_1 : Interacción entre Ondas 741 y Con filtro.

γ_k : efecto fijo del k – ésima unidad aleatoria (persona);

se tienen las restricciones de suma nula:

$$\alpha_3 = -(\alpha_1 + \alpha_2), \alpha_3: \text{Sin ondas.}$$

$$\beta_2 = -\beta_1, \beta_2: \text{Sin filtro.}$$

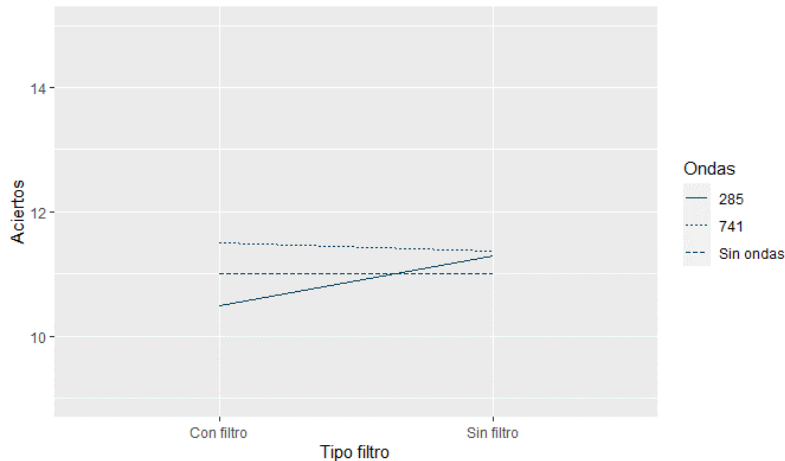
$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 (\alpha\beta)_{ij} = 0 \text{ para todo } i \text{ y } j$$

Cabe mencionar que para el análisis de las comparaciones se evaluó la presencia de interacción entre ambos factores ondas y filtro, la cual gráficamente se espera que exista interacción tal y como se observa en la Figura 3. Tras realizar la prueba de análisis de varianza, se asume que no existe interacción ya que se tiene una probabilidad asociada de 0.475 con un

nivel de significancia de 0.05. Por lo que el efecto del tipo de onda aplicado sobre la cantidad de aciertos es independiente del tipo de filtro.

Figura 3

Promedios de los aciertos según tipo de onda y filtro



Al no encontrar interacción, se procede a observar la relevancia de los factores estudiados en la explicación de la cantidad de aciertos mediante un modelo sin la interacción, donde se obtiene tal y como se muestra en la Tabla 2 que los factores ondas y filtro no son significativos en la explicación del promedio de aciertos en la prueba y que la variabilidad se encuentra asociada al sujeto de estudio.

Tabla 3

Relevancia de los factores

Factor	AIC	p(Chi)
Ondas	212.23	0.88
tipo filtro	210.93	0.4

Con el fin de verificar la seguridad de obtener las respuestas correctas, se realizó la potencia de la prueba, para determinar la probabilidad de encontrar diferencias, cuando en realidad las hay. Para encontrar una diferencia de ± 1 entre las medias de la cantidad de aciertos, se tiene una potencia de 0.74.

Finalmente se encuentra que el valor necesario de repeticiones dentro de cada nivel de ondas para obtener una potencia de la prueba de un 0.95 es de 12 repeticiones, es decir que se necesitan en total 36 unidades aleatorias para la replicación del experimento.

CONCLUSIONES

Primeramente, se logra determinar que el tipo de onda binaural utilizada a la hora de resolver un ejercicio para evaluar la memoria de trabajo y el tipo de filtro utilizado son independientes; es decir, que el efecto, si lo hubiera, de las ondas binaurales sobre el promedio de aciertos es independiente del filtro utilizado.

Se obtuvo además que, el tipo de filtro utilizado (sin filtro y con filtro) no es relevante en la explicación de la cantidad de aciertos de la persona, es decir que no posee efecto sobre la cantidad de aciertos obtenidos en la prueba.

De igual manera, en cuanto al uso de las ondas binaurales se obtuvo que las mismas no tuvieron relevancia. Sin embargo, los efectos del filtro podrían estar relacionados con el uso constante. En comparación al trabajo de Zelada y Vega (2022), ellos indicaron que la exposición a la luz azul tiene un efecto negativo en la producción de melatonina y al agregar el filtro nocturno de manera constante reduce el efecto de la luz azul. Es importante destacar que, esta diferencia pudo haber sucedido porque el sujeto del experimento realizado no estuvo expuesto por más de 15 minutos.

En el estudio realizado la exposición a las ondas binaurales se dio al momento de realizar la prueba, sin tomar en cuenta una exposición previa para que la sincronización de las neuronas se diera de manera correcta, además la exposición a las ondas binaurales posee un mayor efecto si es de manera recurrente tal y como lo menciona Vinuesa (2016) se requiere un lapso de tiempo para que la frecuencia a la cual se encuentra trabajando el cerebro cambie y se sincronice con la frecuencia de las ondas binaurales, este proceso conlleva más de 20 minutos en algunos casos; incluso la exposición por periodos largos de tiempo conllevan a mejores resultados.

Por último, este diseño experimental tomó en cuenta 24 personas como unidades de estudio, sin embargo, al realizar la potencia de prueba se recomienda utilizar como mínimo 36 personas para obtener una potencia de 0.95 lo cual indicaría con seguridad se estaría tomando la decisión correcta, además se recomienda realizar un estudio de seguimiento donde los sujetos sean expuestos a las ondas por un tiempo más extenso para observar si el uso constante de las ondas binaurales produce un efecto en el rendimiento académico de los estudiantes.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso-Valerdi, L. M., Mercado-García, V. R., Roa-Huertas, J. L., Treviño-Herrera, D. A., y García-García, V. C. (2018). ¿Se puede controlar el Estrés Estudiantil a través de Sonidos Binaurales?: Estudio basado en el Análisis de la Actividad EEG. *Memorias Del Congreso Nacional De Ingeniería Biomédica*, 5(1), 74–77. <https://memoriascnib.mx/index.php/memorias/article/view/543>
- Bates, D, Martin Maechler, Ben Bolker, Steve Walker (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48. doi:10.18637/jss.v067.i01
- Ccama, L. (2015). *Sonidos binaurales y niveles de ansiedad ante los exámenes en postulantes a la universidad* (p. 1:64). <https://core.ac.uk/download/pdf/198127503.pdf>
- Fox J, Weisberg S (2019). *_An R Companion to Applied Regression_*, Third edition. Sage, Thousand Oaks CA. <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>

- González Velasco, P. M. (2013). *Influencia de la estimulación sonora binaural en la generación de ondas cerebrales*. Estudio electroencefalográfico.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. <https://ggplot2.tidyverse.org>
- James, G., Witten, D., Hastie, T., Tibshirani, R. (2021). *An introduction to statistical learning*.
- Matsuzawa, T. (2019, 04 de junio). *Evolución de la mente humana vista desde el estudio de la mente de un chimpancé*. Humanos desde una mirada primate, Madrid, España. <https://www.youtube.com/watch?v=2uPqg-3Se3U>
- Parra, V. (2021). *El sonido binaural, una nueva experiencia de publicidad sonora*. Revista Científica Electrónica de Psicología, 24(3), 1-12
- R Core Team (2023). *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Vinueza Bonilla, C. A. (2016). *Sistema para monitoreo de ondas cerebrales en estudios de pulsos binaurales con ritmo theta sobre los procesos cognitivos y emocionales* (Bachelor's thesis, Quito: USFQ, 2016)
- Wickham H, Bryan J (2023). *_readxl: Read Excel Files_*. R package version 1.4.2, <https://CRAN.R-project.org/package=readxl>
- Zelada, R y Vega, M. (2022). *Uso nocturno de pantallas y calidad del sueño en estudiantes de una universidad de Piura*.

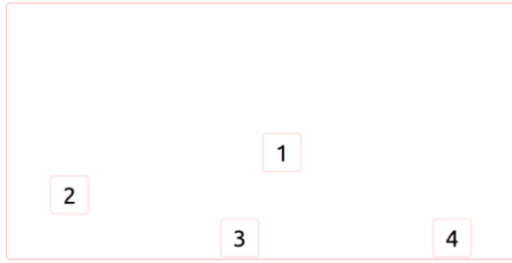
ANEXOS

Figura 4

Interfaz del “test del chimpancé”.

Interfaz en tiempo para memorizar.

Interfaz al dar el clic de inicio



<https://www.iqtests.org/es/otros-test/test-chimpance>

Tabla 4

Código utilizado en la simulación para la prueba de potencia

Simulación Potencia de la prueba	
Código	Explicación
<pre> r=8 p=3 t=2 b=r*2 n=b*p alfa1=-0.5 alfa2=0.5 alfa3=0 alpha=c(alfa1,alfa2,alfa3) alfa=rep(alpha,b) mod1=lmer(Aciertos~ Ondas*`Tipo filtro`+(1 ondas_2\$Observacion), data = ondas_2) vb=0.76 ve=3.84 b0=10.5 B=factor(rep(1:b,each=p)) P=factor(rep(1:p,b)) T=factor(rep(1:t,each=r*p)) prob=c() for(i in 1:1000){ eb=rnorm(b,0,sqrt(vb)) eb1=rep(eb,each=p) e=rnorm(n,sqrt(ve)) y=b0+alfa+eb1+e modsim=lmer(y~P+T+(1 B)) d=drop1(modsim,test="Chisq")[2,4] prob=c(prob,d) } mean(prob<0.05) </pre>	<p>Primero se definen las principales características que va a tener el diseño, como las réplicas por tratamiento (r), la cantidad de niveles de cada factor (p, t), tamaño de muestra (n) y las alfas de acuerdo con el delta sugerido</p> <p>Luego se plantea el modelo y del él se obtiene la varianza del error (ve), varianza de bloques (vb) y el intercepto (b0)</p> <p>Se hacen los vectores (B, P, T) que representan los bloques y los dos factores del diseño (Ondas biaurales y el filtro)</p> <p>Por último, se procede con la simulación, en la cual se realizan 1000 iteraciones, donde en cada iteración se calcula el efecto del bloque, el error y la estimación de la variable respuesta, esto con el fin de realizar un modelo con dicha estimación como variable respuesta, a este se le aplica la prueba del drop1, para extraer la probabilidad asociada a nuestro factor de diseño y guardarla en un vector vacío creado inicialmente (prob), este proceso se repite durante la cantidad de iteraciones deseadas, para finalmente tener un vector con i probabilidades y así obtener la media de</p>

aquellas probabilidades menores a 0.05, lo que nos indicaría la potencia de la prueba.

Figura 5

Supuesto de normalidad

