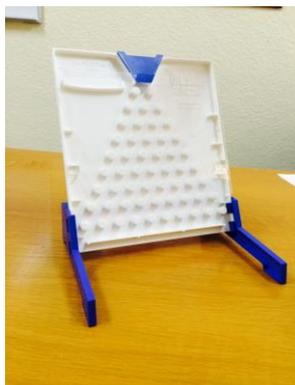


DEMO 114

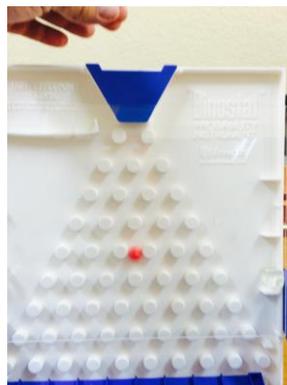
APARATO DE GALTON



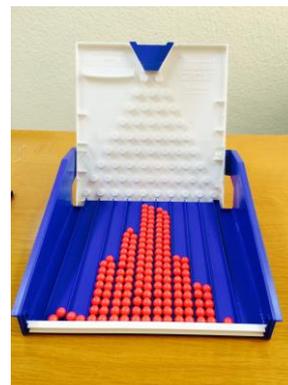
[1]



[2]



[3]



[4]

<b>Autor/a de la ficha</b>	Ramón Cases y Juan Zúñiga (30/4/14)
<b>Palabras clave</b>	Distribución Binomial, Distribución de Gauss, Errores aleatorios, Teorema del Límite Central
<b>Objetivo</b>	Ilustrar, utilizando el aparato de Galton, la distribución gaussiana como resultado de la acumulación de efectos aleatorios de tipo binario.
<b>Material</b>	Aparato de Galton y esferas de plástico
<b>Tiempo de Montaje</b>	5 minutos (contando el lanzamiento de las bolitas)

**Descripción**

El aparato de Galton (también llamado *Quincunx*), inventado por Sir Francis Galton, primo de Charles Darwin, es un sencillo aparato mecánico formado por una matriz de clavos o tacos dispuestos de forma triangular. Si se dejan caer canicas sobre el taco superior, éstas van rebotando sucesivamente hasta la parte inferior donde se recogen en pequeños contenedores. Cada vez que una canica golpea en un taco puede irse hacia la derecha o hacia la izquierda. Si la probabilidad de que la canica siga un camino u otro es la misma, las canicas recogidas en los contenedores forman una campana de Gauss, alrededor del contenedor central.

**Montaje**

Se monta el aparato de Galton. Para ello se insertan las patas azules en la bandeja blanca, como indica la fotografía 1 (la pata marcada con un 1 a la izquierda y la pata marcada con 2 a la derecha). Después se introduce la bandeja azul por la parte superior de la bandeja blanca hasta dejarla apoyada contra la mesa (fotografía 2). Las guías de la bandeja azul deben quedar alineadas con los huecos de la última fila de tacos, con el fin de que las bolas puedan caer por dichas guías.

**Funcionamiento:**

Se van echando las bolas rojas por el embudo superior. Cada bola, en su caída, va chocando contra uno de los tacos de cada una de las nueve filas (fotografía 3), y al final es recogida y almacenada en alguno de las nueve guías de la bandeja azul, según el camino que haya seguido. Cuando se lanzan todas las bolas observaremos un histograma de nueve intervalos correspondientes a las nueve filas de tacos, y en ellos las bolas que se han ido acumulando (fotografía 4). El número de bolas de cada intervalo se corresponde con la frecuencia asociada a dicho intervalo.

Para recoger las bolas se utiliza una bandeja blanca adicional que se sitúa sobre la mesa a continuación de la bandeja azul como se ilustra en la fotografía 2. Si levantamos la regleta blanca que sostiene a las bolas éstas caerán hacia la bandeja de recogida.

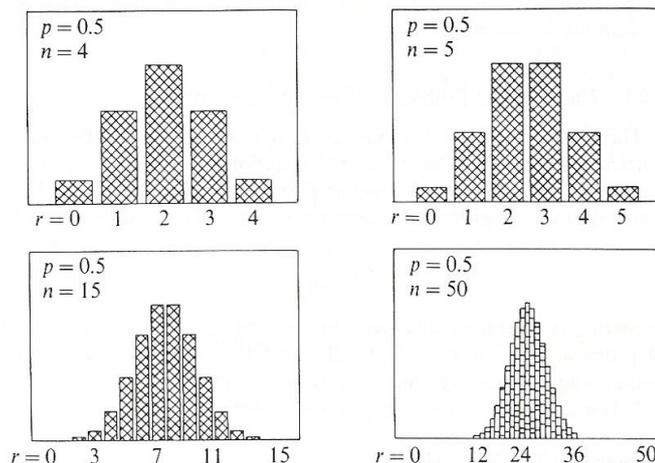
**Explicación:**

Una bola que se desvíe hacia la derecha  $n$  veces acabará en la guía  $n$ -ésima contando desde la izquierda. Si el número de filas de tacos es  $n$ , la probabilidad de que la bola aparezca en la guía  $n$ -ésima es igual a la probabilidad de obtener  $n$  desviaciones hacia la derecha de un total de  $n$  ensayos, probabilidad que viene dada por la **distribución binomial**

$$P = \binom{n}{v} p^v (1-p)^{n-v}$$

siendo  $p$  la probabilidad de que la bola se desvíe hacia la derecha en cada choque.

Cuando crece el número de ensayos, esta distribución tiende a una distribución de Gauss de media  $\mu = np$  y varianza  $\sigma^2 = np(1-p)$ . En la figura siguiente se observa cómo a medida que crece el número  $n$  de ensayos la distribución binomial (en este caso con  $p=1/2$ ) se aproxima mejor a una distribución gaussiana. En realidad  $p$  puede tomar cualquier valor, y el resultado sigue siendo una gaussiana tal y como explica el *teorema del límite central*



El proceso de medida de una magnitud física podemos imaginarlo sujeto a un número  $n$  grande de fuentes de error independientes de tipo aleatorio (efectos de paralaje, tiempos de reacción, etc.), que empujarían con igual probabilidad el resultado hacia arriba o hacia abajo alrededor del valor verdadero. Al repetir la medida muchas veces los resultados estarían distribuidos de forma gaussiana como consecuencia de la acumulación de un número  $n$  grande de errores aleatorios, tal como sucede en el aparato de Galton.

<p><b>Comentarios y sugerencias</b></p>	<p>Se pueden contar el número de canicas de cada intervalo para calcular la media y la varianza, de una distribución particular. Luego se puede estimar el <math>\chi^2</math> de esta distribución para cuantificar su grado de similitud con una gaussiana con la misma media y varianza.</p>
<p><b>Advertencias</b></p>	<p>Se pueden lanzar varias bolas al mismo tiempo por el embudo superior. Al recoger las canicas se ha de ser cuidadoso para que no se pierdan.</p>