

Intonación: Ubicación de Trastes

Original en inglés por John y William Gilbert

Traducción por Markus Schmid, Schupfart, Suiza

Para que al tocar, los instrumentos con trastes suenen afinados necesitan una compensación en la selleta por compensar el cambio de la tensión que sufre una cuerda al ser intonada (pisada). Desafortunadamente esta corrección en la selleta solamente es parte de la solución del problema.

La compensación que permite que la nota armónica de la octava de una cuerda específica suene perfectamente unísono a la misma nota obtenida por pulsar el respectivo traste del diapasón está solamente válida para una posición particular del diapasón.

Aquí se presenta un método que permite un ajuste simultáneo para la compensación de todos los demás trastes, manteniendo la compensación original en la octava.

Al final de este documento está incluido el enlace a una [calculadora en Excel](#) que está basado el sistema de compensación presentado. Para usarla es recomendable de haber entendido el sistema explicado en este artículo.

Primero algunas definiciones usadas en este artículo, y la discusión de algunas limitaciones en su orden. Por mantener mejor el vínculo al artículo original por J. y W. Gilbert seguimos con los términos en inglés y sus respectivas abreviaturas:

- La *Longitud Básica de Cuerda* **Basic String Length (BSL)** del instrumento se define como la distancia entre cejilla y traste 12 multiplicado por dos.
- Longitud Virtual de Cuerda que sirve de base para calcular las posiciones compensadas de los trastes (compensación original de la selleta = cierto aumento del tiro de cuerdas). *Saddle Setback Dimension (SSD* o "setback").
- La *Longitud Total de Cuerda* **Total String Length (TSL)** es la BSL + SSD
- Otro término es la *Base de Diapasón* **Board Basis (BB)** que está arreglando la ubicación de los trastes en el sistema de compensación que va explicada aquí. Para este sistema es de importancia vital de diferenciar entre BSL del instrumento (que es una cantidad física) y BB que sirve de referencia para construir el diapasón compensado. Tienen valores distintos, aunque la diferencia es poca. $BB = BSL \times 1.0025525$

Este sistema fue desarrollado para el uso de *guitarras acústicas con cuerdas de nylon*, y la discusión en sus detalles en este artículo se refiere a solamente este tipo de guitarras.

El principio general se podría aplicar también a otros cordófonos con trastes pero se debería reconsiderar factores como propiedades diferentes de tensión u otros materiales de cuerda tanto como la altura de las cuerdas sobre los trastes (inglés: "action") que influirá mucho el grado de los problemas de este tema.

(Nota del traductor: influirá el factor para calcular la BB.)

Nota del traductor: en este artículo/sistema no se toca el tema de la compensación de las cuerdas vibrantes sino solamente esta de los trastes. Con el factor determinado para calcular la BB ya debe estar incluido este efecto de las cuerdas vibrantes que requieren una compensación por sí.

Referencia a la [Figura I](#). El esquema del problema original.

El traste 12 está ubicado exactamente entre cejilla y selleta resultando que tanto la BSL como la TSL son 650mm. La BSL y TSL son iguales porque no hay ninguna compensación (SSD). Por supuesto, con esta configuración resulta un instrumento que al intonar las cuerdas suena demasiado agudo.

En la [Figura II](#), se indica la corrección inicial

En este caso la BSL quedó con 650 mm pero ha cambiado la TSL. Está incrementada por la nueva SSD de 1.26 mm a 651.26 mm. Esta SSD está calculada para corregir la condición de amento de la nota intonada en el traste 12 y la nota armónica sobre el traste 12 son idénticas en sus frecuencias.

Eso funciona bien para el traste 12 pero la SSD afecta también los demás trastes. Seguimos con las figuras III y IV para entender:

La [Figura III](#) demuestra las condiciones cuando una cuerda está intonada en el primer traste.

La cuerda tiene que expansionarse, y unos 94% de esta expansión tiene lugar en la parte vibrante de la cuerda. La SSD es insuficiente para poder compensar la expansión y la cuerda suena demasiado aguda. Por bajar la frecuencia que produce la cuerda en este traste, la cuerda intonada tiene que ser más larga. Como la selleta está fija (nota del traductor: y ya compensada para el traste 12) hay que mover el traste 1 un poco hacia la cejilla para corregir la nota demasiado aguda.

[Figura IV](#) demuestra la situación en el otro extremo del diapasón.

Aquí también, la cuerda al intonar tiene que expansionarse, pero en este caso 32% de la expansión tiene lugar en la parte vibrante de la cuerda.

En este sistema está importante de entender la relación entre BSL y BB.

La *Base de Diapasón (BB)* no tendrá otras manifestaciones físicas que las distancias entre los trastes después de haber hecho el ajuste para hacer la distancia de la cejilla al traste 12 lo mismo como la mitad de la BSL! (Nota de traductor: aquí "ajuste" = considerar la SSD correcta para llegar a la TSL)

Este término es aparentemente el punto crucial en la explicación de este sistema.

Seguimos con una tabla que indica las distancias de cejilla a traste para los "diapasones" explicados "A", "B" & "C". La columna "D" indica la diferencia entre un diapasón con posiciones detraste basadas a la BSL ("A") y uno con posiciones de trastes determinadas por el sistema ("C").

Dimensiones de ejemplo para esta tabla:

$TSL = 651.26 \text{ mm}$ (no entra a los cálculos de esta tabla pero es una dimensión física de la respectiva guitarra)

$BSL = 650 \text{ mm}$

$BB = 650 \text{ mm} \times 1.0025525 = 651.659 \text{ mm}$

$(BB - BSL) / 2 = 0.8295 \text{ mm}$

Número de traste	"A"	"B"	"C"	"D"
(nr.)	Traste _(nr.) + BSL _(nr.) /17.81715	Traste _(nr.) + BB _(nr.) /17.81715	"B" - (BB-BSL)/2	"C" - "A"
1	36.48	36.57	35.75	-0.73
2	70.92	71.10	70.27	-0.65
3	103.42	103.68	102.85	-0.57
4	134.10	134.44	133.61	-0.49
5	163.05	163.47	162.64	-0.41
6	190.38	190.87	190.04	-0.34
7	216.18	216.73	215.90	-0.28
8	240.53	241.14	240.31	-0.22
9	263.51	264.18	263.35	-0.16
10	285.20	285.93	285.10	-0.10
11	305.68	306.46	305.63	-0.05
12	325	325.83	325	0.0000
13	343.24	344.12	343.29	+0.05
14	360.46	361.38	360.55	+0.09
15	376.71	377.67	376.84	+0.13
16	392.05	393.05	392.22	+0.17
17	406.53	407.56	406.73	+0.20
18	420.19	421.26	420.43	+0.24
19	433.09	434.19	433.36	+0.27

- Tabla 1 -

Diapasón "A" basado en:

- 650 mm BSL &
- 650 mm BB para posicionar trastes

Diapasón "B" basado en:

- 651.659 mm BSL
- 651.659 mm BB para posicionar trastes

Diapasón "C" basado en:

- 650 mm BSL
- 651.659 mm BB para posicionar trastes

- "A" es el diapasón 650 mm BSL
 - "B" es el diapasón basado a la BB (en teoría un tiro de cuerdas de 651.659 mm)
 - "C" es diapasón "B" con dimensiones ajustadas así que la distancia de la cejilla al traste 12 es la misma como en diapasón "A"
 - "D" es la diferencia entre "A" y "C", y demuestra el monto de la compensación gradualmente cambiando en los trastes
- Números negativos significan que la distancia entre cejilla y traste en el diapasón "C" es más corta que en el diapasón "A".
Números positivos significan que la distancia entre cejilla y traste en el diapasón "C" es más larga que en el diapasón "A".

La altura de las cuerdas sobre los trastes (ingles: "action") es un factor importantísimo en seleccionar la BB porque está determinando el monto de la extensión de la cuerda al pisarla. Poca altura requiere menos compensación que más altura. La altura de los mismos trastes también es un factor importante porque trastes altas (gordas) van a causar un incremento de la frecuencia cuando la cuerda está pisada relativamente fuerte. (P.D.: Esos factores también juegan un rol en determinar la SSD).

Asumiendo que el instrumento tiene una longitud de cuerdas bastante "normal" y que la altura de las cuerdas sobre los trastes también es "normal", además asumiendo que las cuerdas sean de nylon, se puede usar un factor de 1.0025525 para determinar la BB.

Nota del traductor: pensando en otros instrumentos que la guitarra clásica sería útil de tener a la mano una fórmula para calcular este factor. Supongo que incluiría características de material de a cuerda y/o la tensión de la cuerda afinada, y por supuesto la altura de la cuerda ("action").

Los cálculos se efectúan de la siguiente manera:

- Determinar la TSL deseada.
- $TSL - SSD = BSL$
- $BSL \times 1.0025525 = BB$
- usar el procedimiento de $BB / 17.81715$ para determinar la distancia *no ajustada* de la cejilla al primer traste.
Calcular las dimensiones para todos los trastes para el diapasón entero. (El procedimiento es idéntico a la calculación de las posiciones partiendo de una BSL. En vez de usar la BSL se usa la BB que tiene la función de una BSL virtual para generar las posiciones según el sistema descrito aquí). (Columna "B" de la **Tabla 1**).
- Más bien que cortar un pedacito del diapasón en su extremo de la cejilla, de las dimensiones obtenidas arriba (basando a la BB) hay que restar la mitad de la diferencia de BB y BSL:
 $(BB - BSL) / 2$ (columna "C" de la **Tabla 1**).

En breve: se genera un diapasón basado a una longitud de cuerda más larga, y después se recupera las posiciones de la cejilla y del traste 12 a estas determinadas por la BSL física del instrumento.

Un ejemplo 1: queremos que la TSL de nuestra guitarra será 650 mm.

- La SSD diseñada será 1.25 mm.
- $BSL = TSL - SSD = 650 \text{ mm} - 1.25 \text{ mm} = 648.75 \text{ mm}$.
- $BB = BSL \times 1.0025525 = 648.75 \text{ mm} \times 1.0025525 = 650.4059 \text{ mm} = \text{ca. } 650.41 \text{ mm}$
- Se calcula las dimensiones "cejilla-traste" de acuerdo a la fórmula reiterativa $\text{traste} = BB / 17.81715$ (según columna "B" de **Tabla 1**)
- Las dimensiones "cejilla - traste", cadauna se reducirá por $d_{(\text{traste})} = (650.41 - 648.75) / 2 = 0.83 \text{ mm}$ (según columna "C" de **Tabla 1**)

A pesar de que en este ejemplo tenemos ligeramente otra SSD que en la tabla (1.25 en vez de 1.26), los resultados son bien parecidos:

- En **Tabla 1**: $(\text{"B"} - \text{"C"}) / 2 = (651.659 - 650) / 2 = 0.8295 \text{ mm}$
- En este ejemplo: $(650.41 - 648.75) / 2 = 0.8300 \text{ mm}$

O sea, estamos hablando de una diferencia de $5/10'000 \text{ mm}$ por traste...

Ejemplo 2: instrumento existente

Aplicar este método en un instrumento existente requiere algunos requisitos:

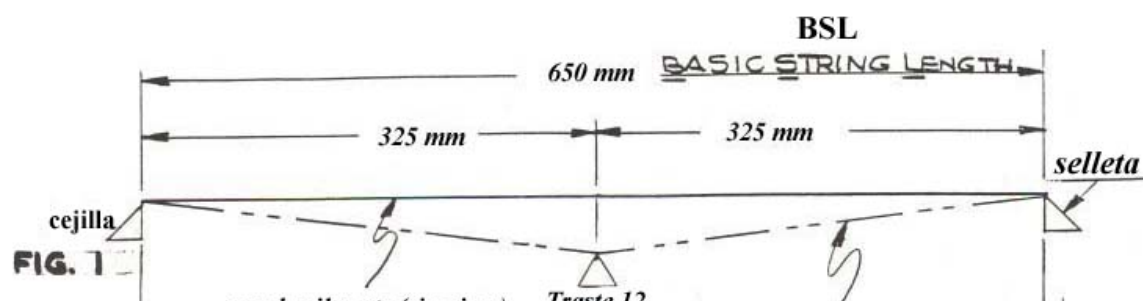
- La ubicación original de los trastes debe ser razonablemente precisa.
 - La SSD debe ser precisa (o ajustable). El traste 12 intonado y el respectivo armónico debe ser de la misma frecuencia.
 - Debe haber espacio en la selleta para "cortar" la longitud de cuerda ligeramente.
1. Hay que determinar la BSL midiendo la distancia entre cejilla y traste 12 y duplicando esta distancia por 2.
 2. Chequear la SSD midiendo la TSL (distancia "cejilla a selleta") y restando la BSL ($SSD = TSL - BSL$).
 3. Si la SSD es muy poca o mucho, a veces es posible de corregir al momento de aplicar el sistema.
 4. Calcular la nueva BSL: $BSL_{(\text{nueva})} = BSL_{(\text{antigua})} / 1.0025525$ (la $BSL_{(\text{antigua})}$ corresponde a la BB "nueva")
 5. Aquí está la parte esencial: Para que el traste 12 esté en su posición relativa precisa, hay que quitar el mismo monto de ambos extremos del diapasón (o sea de la cuerda vibrante: de cejilla y selleta). Este monto es igual a $(BB - BSL) / 2 = (BSL_{(\text{antigua})} - BSL_{(\text{nueva})}) / 2$
 6. Brevemente: Se cambia la TSL por hacer la BB existente más larga que la BSL nueva. La compensación anterior (SSD) estaba bien para el traste 12, por eso ahora es necesario de cortar la longitud de cuerda en la selleta por conservar esta compensación. Si faltaba algo de compensación (SSD), todo está bien y puede ser que dejar la selleta como es, y que la cantidad que hubiera estado por quitar puede servir para aumentar la SSD a su dimensión correcta.

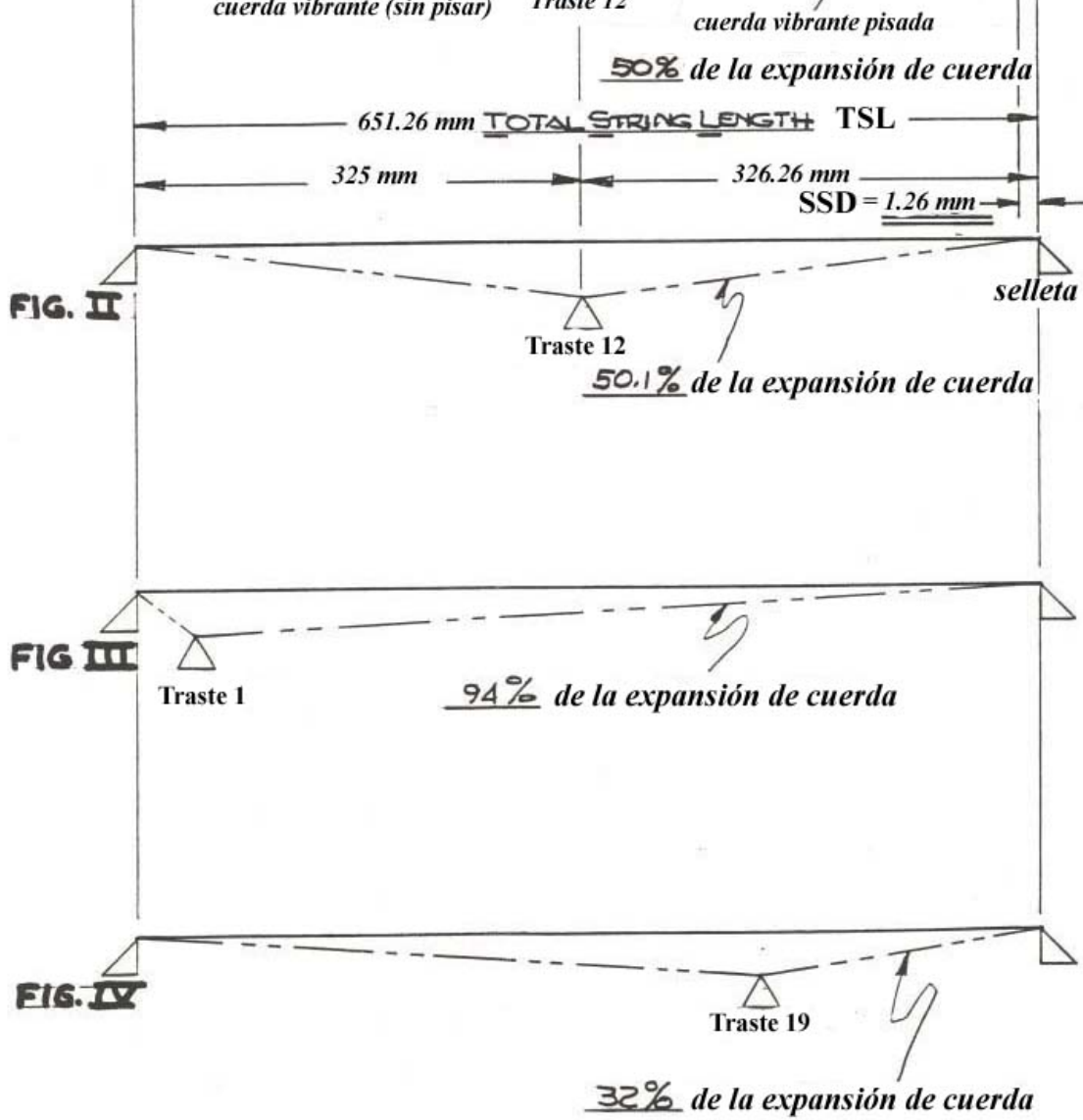
Por terminar, para la 3era cuerda se puede aumentar approx. 0.25mm ta 0.5mm SSD adicional.

Resumiendo: El sistema permite la corrección de errores de intonación provocados por la variación de tensión de de las cuerdas al momento de intonarlas (= pisarlas). La corrección resulta por usar:

- la corrección estándar de la selleta que produce el unísono perfecto entre la nota armónica y la nota intonada en la octava y
- modificando las posiciones de los demás trastes para permitir la expansión variada de la cuerda intonándola en otro traste que el traste 12
- Se puede aplicar el sistema tanto en la nueva construcción de un diapasón como en instrumentos existentes.

Dibujo 1

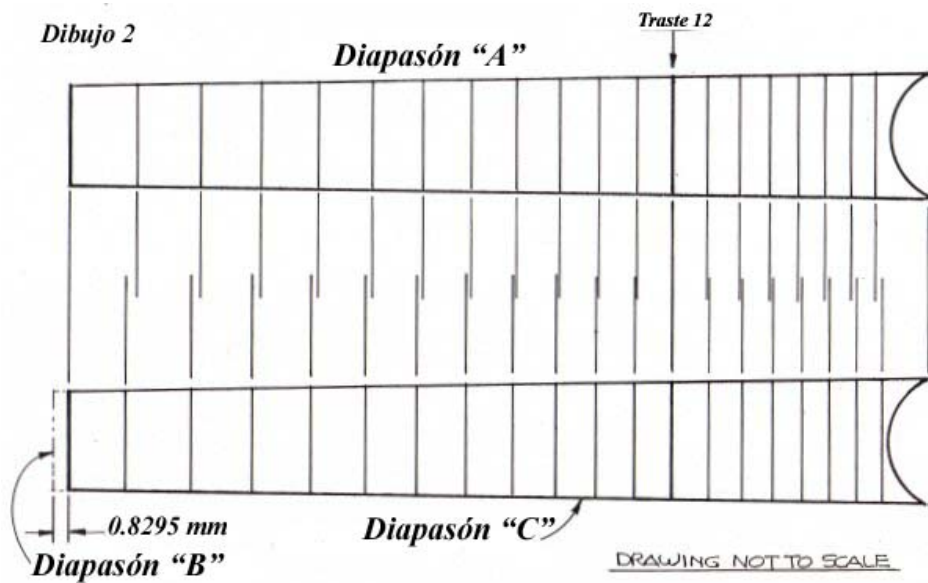




(sistema métrico y traducción M.Schmid 2008)

J.GILBERT '84

- Dibujo 1 -



Diapasón "A" es un diapasón estandar con trastes calculadas haciendo la división $650 / 17.81715$ como demostrado en columna "A" de la **Tabla 1**

Diapasón "B" es el diapasón generado haciendo la división $651.659 / 17.81715$ como demostrado en columna "B" de la **Tabla 1**

Diapasón "C" es el Diapasón "B" con 0.8295mm cortado al extremo de la cejilla, como indicado. Eso es el diapasón que vamos a usar.

Nos podemos dar cuenta que al final del proceso del ajusto no hemos cambiado las posiciones de cejilla, traste 12 y selleta.

Observaciones por Markus Schmid, www.straordinaria.ch

Terminología:

BSL: Basic String length (Longitud Básica de Cuerda)

SSD: Saddle Setback Dimension (Compensación en la selleta respectivo el traste o la octava). Lamentablemente, en este artículo falta la fórmula como calcular la SSD. Las únicas indicaciones obtenemos [aquí](#) (después de la leyenda de **Tabla 1**: "La altura de las cuerdas sobre los trastes (ingles: "action")...").

TSL: Total String Length (Longitud Total de Cuerda)

BB: Board Basis (Longitud Virtual de Cuerda que sirve de base para calcular las posiciones compensadas de los trastes)

BBF: Board Basis Factor. $BB = BSL \times BBF$. Este término he introducido yo (M. Schmid). Según las características de un instrumento determinado con sus cuerdas determinadas se puede ver el BBF como constante, en el caso de la guitarra clásica de tésitura "normál" con cuerdas de nylon, según Gilbert, el BBF es 1.0025525. Lamentablemente desconocemos de que fórmula matemática sacó este número impresionante. Las únicas indicaciones obtenemos [aquí](#) (después de la leyenda de **Tabla 1**: "La altura de las cuerdas sobre los trastes (ingles: "action")...").

Formulas:

1. $SSD = BSL / 514$ (donde 514 se considera como factor constante. Lo he extraído de la tabla de ejemplo en el artículo original. Supongo que depende de la altura sobre las cuerdas ("action") y factores de material y/o tensión de la cuerda afinada - Markus Schmid)
2. $TSL = BSL + SSD$
3. $BB = BSL \times 1.0025525$ (donde 1.0025525 es un factor [constante](#) (ver después de la leyenda de **Tabla 1**: "La altura de las cuerdas sobre los trastes (ingles: "action")..."). Supongo que depende de la SSD y sus subsecuentes factores - Markus Schmid)
4. $Traste1 = BB / 17.81715 - (BB - BSL) / 2$
 $Traste2 = (BB - Traste1) / 17.81715 - (BB - BSL) / 2$
 $Traste3 = (BB - Traste2) / 17.81715 - (BB - BSL) / 2$
 $Traste4 =$
etc.
...donde 17.81715 es una constante obtenida por la [fórmula](#) ([=<= enlace a wikipedia alemán](#)) para calcular la distancia para 1/12 de una octava en una cuerda vibrante.

El factor constante 17.81715 se obtiene como sigue:

$$a = b : \frac{1}{c}$$

donde:

- **a:** diferencia de longitud de una cuerda vibrante para subir la frecuencia por un semitono sin alterar la tensión de la cuerda.
- **b:** longitud de la cuerda vibrante, empezando los cálculos (frecuencia de base)
- **c:** *Kehrwert* de la constante buscada

$$\frac{1}{2} = (1 - c)^{12} \rightarrow c \approx 0,056125687...$$

- 1/2 (o 0.5) está por la octava que se obtiene dividiendo la longitud de la cuerda vibrante por 2.

$$\frac{1}{c} \approx 17,81715...$$

Crítica:

Los [factores SSD y BBF](#) se podría calcular. Lamentablemente en este artículo recibimos muy [pocas indicaciones](#) sobre de estos factores (ver después de la leyenda de

Tabla 1: "La altura de las cuerdas sobre los trastes (ingles: "action")..."). No obstante Gilbert nos impresiona con un BBF de una "exactitud" de 7 (siete) dígitos al lado derecho del punto decimal...

Actualizaciones:

- Última actualización de la página original (en inglés): 4 de mayo 2003 (ver: www.schrammguitars.com/intonation.html)
 - editado por Markus Schmid el 24 de marzo 2008 (Cambio a sistema métrico y cambios menores en la presentación. Añadido [resumen de formulas](#)). La versión en inglés no está bien, hay errores por mezclar diferentes documentos originales, lo que está degradando el artículo a un documento ilustrativo. Eso también es el caso con el artículo "original" situado en la página web [schrammguitars.com](http://www.schrammguitars.com).
 - traducido al español por Markus Schmid: 25.3.2008 - última actualización ver URL de esta misma página: www.straordinaria.ch/guests/gilbert/intonation/intonation-es.html
 - añadido *** => [calculadora en Excel](#) <= *** por Markus Schmid 25.3.2008: www.straordinaria.ch/guests/gilbert/intonation/diapason_compensado.xls
 - pequeñas correcciones de errores de redondeo por conevtir inch a milímetros en **Tabla 1**, arreglo de la nomenclatura de "fórmulas" en el encabezado de **Tabla 1** y en la "calculadora Excel".
-

Imágenes de las formulas cortesía wikimedia.org:

- <http://upload.wikimedia.org/math/e/0/b/e0b36ffc836ff15104c48d86c1adb8b6.png>
- <http://upload.wikimedia.org/math/b/3/7/b3716ae5f86b2a533d897f3799cf3706.png>
- <http://upload.wikimedia.org/math/c/b/d/cbde604649747cc5fbd782fdbd10145d.png>

Artículo original (recopilado de por lo menos dos documentos de diferentes años) por John y William Gilbert en www.schrammguitars.com