

Esta limitación en el uso de los intervalos musicales viene a corroborar plenamente el empleo de la escala pentátona por nuestros aborígenes, así como las conclusiones que, respecto al uso de las flautas aztecas, hemos establecido.

Claro está que el teponaztli —instrumento musical, característico de las culturas precortesianas—, es susceptible de una gran evolución; y que la introducción de su timbre a la orquesta moderna no tiene ni siquiera el límite de su construcción práctica, que es relativamente sencilla.

Si las necesidades particulares de la música precortesiana no permitieron explotar los recursos de que es capaz el teponaztli, no es esta razón suficiente para que en la actualidad le tengamos aún en abandono; por el contrario, a nuestro juicio, se impone su introducción, por lo menos en la orquesta mexicana, pues su timbre —que es muy bello—, será un recurso inestimable de color para nuestros compositores.

Por esta razón, completaremos el estudio de LOS TEAPONAZTLIS EN LAS CIVILIZACIONES PRECORTESIANAS con un proyecto para introducir su timbre y sus recursos musicales, en forma cromática, a la orquesta mexicana.⁽¹⁰⁾

CAPITULO VIII

PROYECTO PARA LA CONSTRUCCION DE UN TEAPONAZTLALPILI

El objeto de este proyecto es introducir el timbre del teponaztli a la Orquesta Sinfónica Mexicana, adaptando el instrumento de que se trata a las necesidades contemporáneas de la misma.

Para las necesidades prácticas es suficiente con que el nuevo instrumento disponga de los doce sonidos temperados en una octava o duplo. Como el teponaztli solamente posee dos sonidos, será necesario emplear por lo menos seis teponaztlis, razón por la cual hemos llamado al instrumento completo *TEAPONAZTLALPILI*, agregando como desinencia al sustantivo *TEAPONAZTLI*, la palabra *TLALPILI*, que en lengua nahua significa haz o atadura, según la autorizada opinión del Prof. D. Mariano Rojas.

(10) Al terminar el presente estudio quedamos obligados y reconocidos a las siguientes personas, cuya colaboración nos fué de utilidad indiscutible. Al Sr. Lic. Alfonso Caso, Jefe del Departamento de Arqueología del Museo Nacional, quien, autorizado por la Dirección del mismo, nos permitió estudiar los ejemplares citados; a los Sres. Profs. Porfirio Aguirre y F. Gómez de Orozco, por las facilidades y atenciones que siempre tuvieron para nosotros; a la Academia de Ciencias de México, "Antonio Alzate", principalmente a su Secretario Perpetuo, Ingeniero D. Rafael Aguilar Santillán, por cuyo conducto tuvimos a nuestra disposición una magnífica bibliografía, perteneciente a la biblioteca de la citada Sociedad y a la de Geografía

Estudiemos cada una de las partes de este proyecto procurando resolver los diversos problemas que se presentan por medio de la técnica moderna, en punto a la construcción y a las necesidades acústicas, pero tomando como modelos fundamentales a los ejemplares precortesianos del Museo Nacional de Arqueología y como normas las conclusiones teóricas y prácticas, ya establecidas en el estudio de los capítulos anteriores.

I.—INTERVALOS QUE SE USARAN EN CADA UNO DE LOS SEIS

TEAPONAZTLIS DEL TEAPONAZTLALPILI

Ya hemos dicho que el teponaztlalpili constará cuando menos de doce sonidos temperados en el duplo y que cada teponaztli dará únicamente dos sonidos.

Numerosas son las posibilidades que se presentan para distribuir los doce sonidos temperados de que se trata, es decir, para distribuir los dos sonidos que debe tener cada uno de los seis teponaztlis que, como mínimum, se usarán; con la circunstancia de que no es indiferente usar una combinación u otra, pues a más de las necesidades prácticas de construcción, se encuentran las teóricas del timbre y de la caja acústica que sirve de resonador. Baste decir que, aun en el supuesto de que los seis teponaztlis se construyeran de la misma rama de árbol, los timbres —aunque idénticos en teoría—, serían diversos en la práctica y que de la combinación de sonidos que se adopte para cada par de lengüetas depende el cupo de aire de cada teponaztli, es decir, los armónicos que se utilicen para el refuerzo y, en consecuencia, el "color" del instrumento.

Las posibles soluciones de este problema pueden dividirse en dos grandes categorías.

- a.—De intervalos *iguales* para cada teponaztli; y
- b.—De intervalos *distintos* para cada teponaztli.

Sin ocuparnos por ahora de la segunda categoría —cuyo estudio presenta complicados problemas de acústica musical, con resultados poco satisfactorios y prácticos—, nos limitaremos a considerar tres de las posibilidades que pertenecen a la primera categoría, por parecernos que son las que reúnen mayores ventajas teóricas y prácticas.

y Estadística; al Sr. Ing. Salvador Guerrero, Perito Forestal, quien bondadosamente nos acompañó al Museo para la clasificación de las maderas usadas en los teponaztlis; al Sr. Ing. Luis Estrada Madrid, por su bondadosa colaboración respecto al instrumental precortesiano, existente en el Museo de Morelia, Michoacán, a los CC. Directores de los Museos Regionales de Puebla Sres. Manuel Larre y Genaro Ponce y de Morelia, quienes nos proporcionaron todos los medios y facilidades para el estudio de los instrumentos precortesianos que se guardan en sus respectivos Museos, y por último a los CC. Profs. Francisco Domínguez por su colaboración en lo relativo al importante teponaztli tepozteco y Mariano J. Rojas por su colaboración en este mismo asunto.

1.—*Teponaztlis afinados por quintas. (Gama diatónica).*

Consiste esta disposición en usar los teponaztlis afinados por quintas en la forma esquemática que se ve con claridad en la fig. 1, con la circunstancia de que su empleo implica el uso de *siete* teponaztlis.

La disposición de que trata presenta las siguientes características y ventajas:

a.—Cada teponaztli entrega, por sí solo, un "pedal de quinta", cuyo uso, en un instrumento de percusión, es de práctica corriente y de utilidad innegable.

b.—La afinación por quintas en cada teponaztli permite el empleo del refuerzo acústico que utiliza los primeros armónicos naturales, ya sean de la serie ascendente (arm. 2 y 3) o de la serie descendente (arm. 2 y 3). Este refuerzo produce un timbre lleno, como de órgano, e indudablemente es el más apropiado para la prolongación de los sonidos, es decir, el que permitirá el uso práctico de valores musicales de mayor duración.

c.—Por el frente inmediato aparece la mitad de la gama temperada, que se complementa, por el frente mediato, siguiendo exactamente la misma disposición común y corriente del piano, órgano e instrumentos similares. Esta disposición facilitará, sin duda, la ejecución en el teponaztlalpili, por la educación y costumbre que se tiene para tocar en los instrumentos de teclado y sus afines.

2.—*Teponaztlis afinados por quintas. (Gama por tonos).*

Consiste esta disposición en usar únicamente seis teponaztlis, también afinados por quintas, pero de suerte que en el frente inmediato aparezca la gama por tonos, lo mismo que en el mediato, tal como se ve en forma esquemática en la fig. 2.

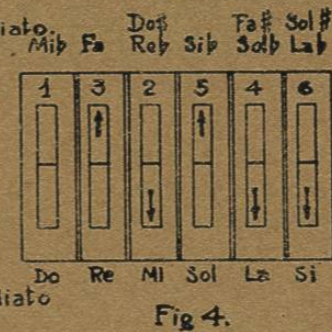
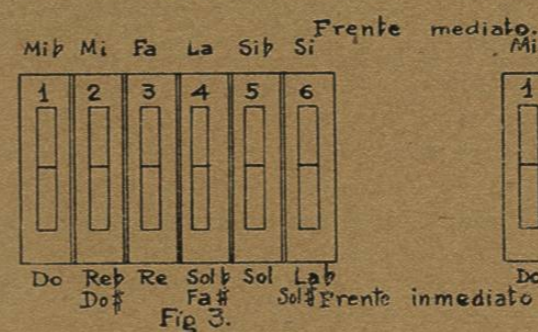
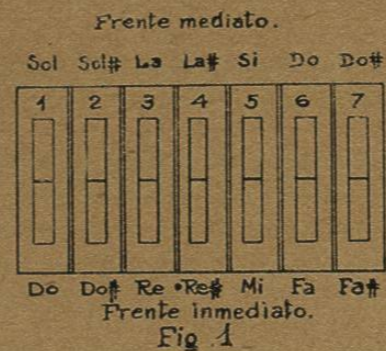
Esta disposición presenta las siguientes características y ventajas:

a.—Las mismas que las señaladas con las letras *a* y *b* de la disposición anterior, pero cambiando las tonalidades de DO sostenido, RE sostenido y FA por las de FA sostenido, SOL sostenido y LA sostenido.

b.—Por ambos frentes presenta, en las tonalidades de DO y SOL la gama por tonos, característica de la escala tarasca y muy usada por los compositores modernos.

3.—*Teponaztlis afinados por terceras menores.*

Esta disposición, que se ve esquemáticamente en la fig. 3, carece de las ventajas (a) y (b) señaladas para las dos anteriores, pero presenta las siguientes características muy de tomarse en consideración desde el punto de



Proyecto para la construcción del Teponaztlalpili.



vista de nuestra música aborigen, especialmente desde el que se refiere al empleo de la gama pentáfona.

a.—Como cada teponaztli está afinado con una tercera menor, que es el intervalo doblemente característico de la gama pentáfona básica (de la octava a la sexta mayor y de la quinta a la tercera: DO 2 -LA y SOL-MI, con tónica DO 1) es factible, con un solo timbre, hacer patente, a cada paso, la típica pentafonía de nuestros músicos precortesianos (flautas aztecas) en las seis tonalidades del frente mediato (tercera menor descendente).

b.—Modificando la colocación de los teponaztlis así afinados, tal y como se ve en la fig. 4: El número 3 en lugar del número 2 y el 5 en lugar del 4 y poniendo el 2, el 4 y el 6 en sentido inverso, aparece por el frente inmediato la gama pentáfona básica (azteca) y la exáfona con sensible a la tónica, que fué el resultado de la segunda modificación que la técnica europea hizo a nuestra música primitiva, por medio de las escuelas de canto profano (cadencia del V al I) y cuya gama tiene extraordinaria importancia en la formación de nuestro folk-lore del coloniaje.

c.—Para la disposición de que se trata el refuerzo de la caja acústica, en forma ascendente o descendente, sólo puede hacerse por las combinación de armónicos 5-6 ó 3-7 (abatido de una octava), pues de lo contrario hay que limitarse a reforzar un solo sonido del teponaztli, utilizando cualquiera de los primeros armónicos. Esta circunstancia, ya sea por el empleo de los altos armónicos o por el refuerzo de un solo sonido, hace que el timbre del teponaztli sea menos "lleno" (de órgano), lo "aflauta" y entristece, llevando al sentimiento musical, como de la mano, al empleo frecuente de las terceras menores, en forma descendente, es decir, lo pone de acuerdo con el uso de la gama pentáfona básica.

Claro está que desde el punto de vista de la acústica, del mayor "lleno" de los timbres (arm. 2 y 3) y de las necesidades de la música clásica (gama mayor) la primera disposición (por quintas) ocupa el primer lugar; pero buscando precisamente lo que debe caracterizar a nuestra música y siguiendo con fidelidad las huellas de nuestra tradición musical y de nuestra historia, creemos que para construir el primer teponaztlalpili debemos seguir la tercera disposición, sin perjuicio de que se construyan —si así lo piden las necesidades del futuro—, los de la primera y segunda.

II.—INDÍCE DE LOS SONIDOS EMPLEADOS

En teoría, la "octava" que tratamos de utilizar en el teponaztlalpili puede ser cualquiera de las que forman el diapason musical en uso, pero debiendo por ahora precisar la que utilizaremos, nos parece que el criterio para elegirla debe ser el de la tradición.

Los sonidos de los teponaztlis que hemos estudiado en el Museo N. de Arqueología van desde LA 4 + $\frac{1}{4}$ de tono (teponaztli de Malinalco) has-

ta RE sostenido 6 (teponaztli de "Palo de Rosa"). Podemos, pues, tomar la octava central de DO 5 a SI 5, sin alejarnos mucho de los límites superior e inferior usados por nuestros aborígenes.

III.—PROPORCIONES CONSTRUCTIVAS

Para definir las proporciones constructivas fundamentales del teponaztli, nada mejor ni más indicado que aprovechar la experiencia de los constructores precortesianos. Para ello hemos formado el cuadro de la fig. 5, cuyas siete primeras columnas entregan las medidas promediadas (en milímetros) de los principales elementos constructivos empleados en cada uno de los catorce ejemplares estudiados. Los elementos de que se trata pueden verse con toda claridad en el esquema adjunto al cuadro citado de la fig. 5.

He aquí los resultados de la comparación entre esos elementos:

1.—Relación entre la longitud de la lengüeta (l) y su ancho (a).

En la columna (l/a) hemos calculado, para cada teponaztli, el valor de la relación entre la longitud de la lengüeta y su ancho. Tomando el promedio de los 14 ejemplares estudiados, encontramos:

$$l/a = 2.757$$

Prescindiendo de los teponaztlis números 7 y 8, que son teponaztlis de guerra, y del número 14, cuyas proporciones a este respecto nos parecen exageradas, el promedio vale:

$$l/a = 2.966, \text{ o prácticamente: } l/a = 3.000$$

es decir, que:

La relación entre el ancho (a) y el largo (l) de las lengüetas debe ser como 1:3

2.—Relación entre la longitud total del teponaztli (L) y su peralte (h).

El promedio de esta relación, prescindiendo de los teponaztlis números 7 y 8, es de $L/h = 3.425$, siendo de advertir que en los teponaztlis tallados hemos tomado la longitud (L) sin contar con la parte de la talla que manifiestamente no desempeña ningún papel constructivo. (Por ejemplo el hocico del Cipaetli número 40-35 B.)

No tomando en consideración al teponaztli número 6, que nos parece exagerado por defecto en punto a su longitud total, la relación es:

$$L/h = 3.536, \text{ o prácticamente: } L/h = 3.500 \quad (2)$$

es decir que:

La relación entre el peralte (h) y el largo total del teponaztli (L) debe ser como 1: 3.5.

Como la sección transversal del teponaztli, cuyo tipo aceptamos, es una circunferencia, podemos decir que las proporciones entre el diámetro y la longitud del cilindro que contenga al teponaztli son como 1: 3.5.

3.—Relación entre la longitud total del teponaztli (L) y la longitud del cabezal (C).

Claro está que el valor de esta relación depende de la resistencia de la madera empleada y del valor de la sección de empotramiento y que puede ensayarse su cálculo con bastante precisión, pero estimamos que es preferible, como ya se dijo, aprovechar la experiencia de los constructores precortesianos.

El promedio de la relación de que se trata vale:

$$L/C = 5.634, \text{ o prácticamente: } L/C = 5.600 \quad (3)$$

es decir que:

La relación entre la longitud del cabezal (C) y la longitud total del teponaztli (L) debe ser como 1: 5.6

4.—Espesor de las incisiones.

El espesor de las incisiones es muy variable para cada teponaztli e indudablemente dependía de los métodos usados para la construcción de los instrumentos. Su promedio da $e = 4.100$ milímetros. Nos parece práctico tomar un centésimo de la longitud de la lengüeta.

$$e = 0.01 (1).$$

Refiriendo las proporciones encontradas a la longitud de la lengüeta, tendremos:

$$\text{Espesor de la incisión} = e = 0.01 (1) \quad (I)$$

$$\text{Ancho de la lengüeta} = a = 0.333 (1) \quad (II)$$

$$L = 2 (1) + 2 C + 1/100 = 2.01 (1) + 2 C:$$

$$\text{Sustituyendo en (3) y despejando a C,} \\ \text{Longitud del cabezal} = C = 0.558 (1) \quad (III)$$

$$\text{Sustituyendo por C su valor y despejando a L:}$$

$$\text{Longitud del teponaztli} = L = 3.126 (1) \quad (IV)$$

$$\text{Sustituyendo en (2) y despejando a h:}$$

$$\text{Peralte del teponaztli} = h = 0.893 (1) \quad (V)$$

Estas cinco fórmulas nos entregan las proporciones constructivas fundamentales del teponaztli, en función de la longitud de la lengüeta.

IV.—LONGITUD DE LAS LENGÜETAS

Fijar la longitud de las lengüetas es el punto capital de este proyecto. Como ya quedó sentado en el estudio de los teponaztlis del Museo Nacional, $N = F (L, S, P)$ es una función que no pudo determinarse, por cuya ra-

zón aparentemente existe una contradicción entre el teponaztli de Malinalco con $L = 232.0$ milímetros para LA 4 y el teponaztli de Tercera Mayor, con $L = 256.5$ milímetros para LA 5, contradicción que toma su verdadero sentido cuando se tienen en cuenta las tres variables de la función: Longitud, Sección de Empotramiento y Peso.

Para resolver prácticamente el problema de que se trata admitiremos como buenos los datos de la experiencia precortesiana, aceptando:

1.—Que las longitudes de las lengüetas para cada teponaztli serán exactamente iguales;

2.—Que para variar la altura del sonido entre una y otra lengüeta se procederá por variaciones de su sección de empotramiento y de su peso;

3.—Que el tipo de lengüeta (sección longitudinal) que usaremos será el marcado con el número 4 del estudio ya citado, y

4.—Que la longitud de la lengüeta que produzca el do 5 será de *doscientos cincuenta milímetros*, con una sección de empotramiento de $0m.05 \times a$.

Y por último, admitiremos que la ley que gobierna las variaciones de las longitudes está expresada por la relación:

$$N = 1/1^2$$

En estas condiciones, para los dos sonidos graves de dos teponaztlis tendremos:

$$n = 1/1^2 ; n' = 1/1'^2$$

dividiendo y despejando a $1'$:

$$1' = 1 \sqrt{n/n'}$$

y tomando como base al do 5 de 517.2 vibraciones con una longitud de lengüeta de 25.00 centímetros, tendremos en definitiva:

$$1' = 25.00 \sqrt{517.2/n'}$$

En la lámina número 1, correspondiente al Proyecto del Teponaztlalpili, se consigna el cuadro de las *dimensiones constructivas* en el que aparecen por hileras los datos para la construcción de cada uno de los seis teponaztlis, que se obtuvieron como sigue: sustituyendo por n' los seis valores respectivos, que obran en la tercera columna, encontramos las longitudes (1) de cada lengüeta grave, y con este resultado, aplicando las fórmulas I, II, III, IV y V hemos calculado, para cada uno de los seis teponaztlis, los valores del espesor de la incisión (e), del ancho de la lengüeta (a), de la longitud del cabezal (C), de la longitud total del teponaztli (L) y de su altura ($h=D$), cuyos valores se consignan en las columnas respectivas del citado cuadro de dimensiones constructivas.

V.—TIPO DEL RESONADOR Y DETERMINACION DEL CUPO DE AIRE

La fig. 6 muestra las cinco posibilidades de refuerzo armónico que pueden darse al intervalo de TERCERA MENOR, utilizando los primeros parciales de la serie ascendente. En ella hemos puesto en "redonda" el fundamental

Cuadro de las proporciones constructivas de los 14 teponaztlis del Museo Nacional.

Dimensiones en milímetros.

Teponaztli	$e =$ espesor de la incisión.	$l =$ longitud de la lengüeta.	$a =$ ancho de la lengüeta.	$L =$ Longitud total.	$C =$ longitud del cabezal.	$h =$ altura total.	L/a	L/h	L/c
1. Tloaxcala	3.0	151.0	55.0	600	146	155	2.745	3.871	4.110
2. Malinalco	9.5	232.0	61.0	762	146	202	3.803	3.772	5.219
3. Cipactli de México	4.0	224.0	84.0	650	102	216	2.667	3.010	6.372
4. Macuil- xochitl.	4.0	270.0	86.0	780	112	240	3.140	3.250	6.964
5. Cipactli No 7.	3.5	202.0	62.0	644	117	139	3.258	4.633	5.504
6. Cipactli No 4035.	2.5	123.0	49.0	450	100	195	2.510	2.308	4.500
7. Restros Multibidos.	1.5	116.0	49.5	395	72	110	2.362	3.591	5.486
8. Cuauhli- Ocelotl.	2.0	98.0	49.0	335	68	104	2.000	3.221	4.926
9. Sellos Españoles.	3.0	190.5	100.0	566	87	202	1.905	2.802	6.505
10. Palo de Rosa.	3.5	226.0	78.0	775	150	187	2.896	4.144	5.167
11. NR 1040	5.0	246.0	73.0	728	116	219	3.370	3.324	6.276
12. Tercera Menor.	3.0	253.0	81.0	794	142	204	3.122	3.598	5.591
13. Tercera Mayor.	10.0	256.5	80.0	756	120	210	3.206	3.600	6.300
14. Dos Coatlís.	3.0	116.0	99.0	495	95	179	1.667	2.765	5.210

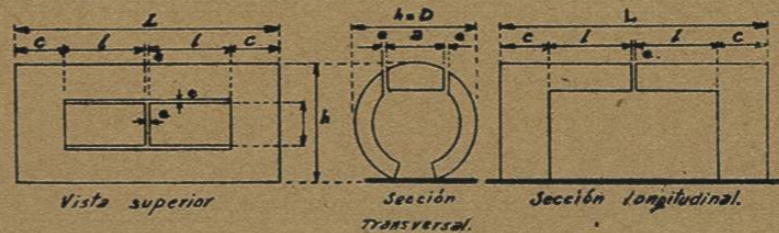


Fig. 5.

Proyecto para la construcción del Teponaztlalpili:

do 4, en "negras" la serie de los armónicos y en "triples corcheas", los dos sonidos del teponaztli.

El tipo de refuerzo armónico (a) corresponde al teponaztli de Tlaxcala, el (c) es el tipo teórico del teponaztli de los Sellos Españoles, el (d) corresponde al teponaztli de Tercera Menor, el (e) al número 1040-B y respecto al tipo (b) no hemos encontrado hasta la fecha ninguna aplicación práctica en los teponaztlis precortesianos del Museo Nacional de Arqueología, Historia y Etnografía.

De estos tipos de refuerzo el más lógico, en teoría, es el (c), aunque en la práctica no se puede juzgar de sus resultados por las razones apuntadas cuando se estudió el teponaztli de los Sellos Españoles, le siguen los tipos (b) y (a), el segundo de los cuales responde a la espléndida sonoridad del teponaztli de Tlaxcala. Para el proyecto de que se trata nos decidimos por el tipo (c), por ser el más lógico, aunque hasta la fecha no hayamos tenido la comprobación práctica de su verdadero efecto sonoro (timbre), pues ya dijimos al tratar del teponaztli de los Sellos Españoles que este ejemplar no puede tomarse en consideración desde el punto de vista de la Música.

Así pues, el resonador reforzará:

Con el armónico tres (3) al sonido más alto del teponaztli; y con el armónico cinco (5), abatido de una octava, al sonido más grave.

Para determinar los volúmenes de los seis resonadores, apliquemos la fórmula de Sundhauss:

$$N = K \sqrt{\frac{\sqrt{S}}{U}}$$
 y para la cual tomando el centímetro como unidad $K = 5240$.

Despejando a U:

$$U = (K^2/N^2) \sqrt{S}$$

Para el caso de que se trata:

$$N = u/3 ; S = 0.353 (1) \times 2.01 (1) = 0.70953 \text{ 1}^2$$

Sustituyendo:

$$U = (9 K^2/n^2) \times 0.84233$$

Como la caja acústica estará limitada precisamente al ras de los empotramientos, llamando C a la superficie de la base del cilindro recto que forma la caja, tendremos:

$$U = 2.01 \times 1 \times C$$

Si por construcción C es un círculo, llamando d al diámetro:

$$C = 0.7854 d$$

Igualando los valores de U, sustituyendo por C su valor y finalmente despejando a d, tendremos:

$$d = 11482.83/n$$