

APLICACION DE METODOS NO DESTRUCTIVOS EN EL DIAGNOSTICO DE ESTRUCTURAS

Ing. Róger Esquivel B., Gerente
TECNOCONTROL, S. A.

RESUMEN

Se presenta en este trabajo la aplicación de ensayos in situ para el diagnóstico de estructuras, mediante alta tecnología.

La aplicación y funcionalidad de "Métodos no destructivos" mediante equipos tales como el ultrasonido para determinar la calidad de los concretos y el profómetro para determinar la posición y diámetro del acero de refuerzo, se han constituido en una valiosa herramienta para los casos de revisión de obras que se desean reestructurar, remodelar o ampliar.

Se incluyen distintos casos los que se analizan en cuanto a la importancia de los mismos y a la conveniencia o beneficios obtenidos con la aplicación de la metodología anteriormente apuntada.

INTRODUCCION

Los métodos "No destructivos" ofrecen a la ingeniería actual la posibilidad de determinar el estado o condición de un material o componente sin necesidad de afectar su servicio.

El avance reciente de los "Métodos no destructivos" en la inspección de obras e inclusive en el control de la calidad de las mismas, gozan en la actualidad de un gran auge debido a su utilidad práctica en la industria en general.

En la industria de la construcción su uso aún limitado siendo su principal aplicación para el examen de estructuras de concreto con problemas estructurales y/o remodelaciones o ampliaciones.

Es evidente que con los avances recientes en este campo la potencialidad de su uso es aún mayor para aplicaciones rutinarias tales como el control de calidad del concreto fresco, el que aún se encuentra a nivel de investigación de laboratorio.

En nuestro país se ha tenido recientemente una buena experiencia en el análisis y diagnóstico estructural de distintas obras tales como puentes y edificios en los cuales se ha aplicado la técnica del "ultrasonido", que permite conocer la condición física de los materiales y detectar fallas en los mismos y el "profómetro" que permite determinar la posición, profundidad y diámetro del refuerzo de acero en estructuras de concreto.

La extensión del uso de equipos de alta tecnología se puede incrementar en función del conocimiento práctico que de los usuarios puedan tener al respecto, razón por la cual a continuación se presenta la función y descripción de cada uno de ellos:

A. ANALISIS ULTRASONICO

El análisis ultrasónico consiste en la transmisión de ondas mecánicas de una frecuencia mayor de 20.000 Hz a través de un sólido.

Estas ondas son producidas por un transductor generador y recibidas por un transductor receptor, así que cualquier interferencia que desvíe la misma producirá un mayor recorrido o reflexión de la misma, lo que sería indicada necesariamente en el equipo de medición, el cual convierte la energía mecánica en un impulso eléctrico, el que es digitalizado como tiempo de transmisión de la onda.

Es claro que ya que disponemos de las dimensiones de los elementos en estudio, es posible obtener la velocidad de transmisión de onda, la que en definitiva será el parámetro de comparación para determinar la condición física o calidad del material en estudio. Además es posible mediante el empleo de correlaciones empíricas de elasticidad obtener el módulo dinámico de elasticidad con base en la velocidad ultrasónica, tal y como se muestra en la figura 1 (ref. 1).

Sin embargo, las anteriores correlaciones deben ser comprobadas para casos específicos en el concreto, ya que en lo anterior influye no solamente la resistencia, sino también la relación agua-cemento, la relación de vacíos y la edad del concreto entre las más importantes.

Procedimiento de empleo

Como ya se explicó el impulso ultrasónico se produce en un transductor a través del medio o sólido por analizar y es recibido por otro transductor el que convierte el impulso en una señal eléctrica.

Normalmente la máxima energía se obtiene cuando se coloca el transductor normal a la pared del elemento por analizar, aunque existen dispositivos para realizar tal operación en otros sentidos, como pueden ser:

- Transmisión directa
Transductores colocados en caras directas
- Transmisión semidirecta
Transductores colocados en caras adyacentes, a 90° uno del otro
- Transmisión indirecta
Transductores colocados en la misma cara

Aplicaciones en concreto reforzado

Las aplicaciones del análisis ultrasónico se puede usar para los siguientes casos:

- Determinación de la homogeneidad del concreto
- Determinación de vacíos, grietas u otras irregularidades
- Cambios en la resistencia del concreto con el tiempo
- Estimación del módulo elástico dinámico del concreto
- Determinación de espesores afectados en el concreto en caso de haber sido expuesto al fuego.

En todos los casos anteriormente citados se debe medir la velocidad ultrasónica con una gran precisión ($\pm 2\%$) ya que los cambios en la misma podrían ser indicaciones de cambios fuertes en la calidad del concreto.

Para lo anterior se debe tener seguridad de contar con un adecuado contacto entre el transductor y la pared del elemento por analizar, debiéndose en general emplearse grasa en dicho conducto, tal y que se garantice un adecuado acomple sin presencia de vacíos, hasta que se obtenga un valor mínimo y consistente.

Limitación del método

La velocidad ultrasónica puede verse influenciada por:

- Rugosidad de la superficie
- Temperatura del medio
- Espaciamiento de los transductores
- Presencia de acero de refuerzo
- Contenido de humedad
- Edad del concreto

Aplicaciones en acero

Las aplicaciones generales para el caso de metales pueden ser las siguientes:

- Determinación de microfisuras o debilidades internas
- Determinación de espesores
- Verificación de la calidad de la soldadura en elementos soldados longitudinalmente

Es necesario mencionar que para el caso de metales se emplean equipos de altas frecuencias distintos a los utilizados para el análisis del concreto.

B. ANALISIS MEDIANTE EL PROFOMETRO

Este equipo es un instrumento diseñado para la inspección y/o verificación del acero de refuerzo en el concreto reforzado. Por medio de campo magnético producido por el equipo, se miden las variaciones debidas a un material magnético externo figura 2. La magnitud de esta variación es indicada en el instrumento el cual está calibrado para leer el diámetro de la varilla de acero y la distancia del recubrimiento.

Procedimiento de empleo

La localización del acero tanto longitudinal como transversal se realiza moviendo la probeta a lo largo de la cara del elemento a estudiar. El equipo indicará la máxima deflexión cuando la probeta se encuentre directamente paralela sobre el eje de la varilla de acero o del grupo de varillas.

Una vez realizada la etapa anterior se determina el espesor o recubrimiento el cual se indica en el equipo, lo mismo que el diámetro correspondiente de la varilla. Para un tipo de recubrimiento dado de concreto la deflexión se incrementará en función del aumento del área de la varilla y con la disminución de la resistencia al acero.

En casos de concretos con agregados magnéticos será necesario determinar su magnitud, la que deberá ser restada respecto a las deflexiones que se vayan a obtener posteriormente.

Aplicaciones

El equipo se puede usar para los siguientes casos:

- Determinación del acero principal, así como la de los traslapes y su longitud
- Determinación del acero secundario, aros y su espaciamiento
- Localización de tendones y sus empalmes en concreto pre-esforzado
- Localización de tuberías, ductos metálicos
- Medición de espesores de recubrimiento refractario en hornos, etc.

Limitaciones del equipo

La aplicación de este equipo está limitada en los siguientes aspectos:

- Recubrimiento máximo de concreto para operar: 15-20cm dependiendo del diámetro del acero
- Disponibilidad de espacios abiertos en los elementos por estudiar
- Magnetismo de los agregados que introducen una magnitud adicional en el equipo, lo que debe ser considerado al inicio de las operaciones
- Necesidad de verificación de los datos iniciales mediante la exposición del acero en algún punto de las estructuras por ser analizadas.

C. APLICACIONES PRACTICAS DE LOS METODOS NO DESTRUCTIVOS

Son numerosas las aplicaciones realizadas en Costa Rica, entre las principales podemos citar:

- Evaluación de puentes existentes para el MOPT como fueron los casos de: Tiribí (Anonos), Colima (Tibás) y Tempisque (Guardia) en donde se analizaron las estructuras tanto de acero como de concreto, para determinación de la condición física (calidad) de los elementos principales, determinación del refuerzo de acero en elementos de concreto, con el propósito de rediseñar dichas estructuras.
- Evaluación de edificios públicos y privados en los que se ha estudiado la condición física en los elementos estructurales tales como vigas, columnas y muros en donde existían evidencias de fallas o grietas, así como la verificación de la posición y cantidad del acero de refuerzo.

En estos casos se realizaron estas labores para fines de revisión estructural así como para distintos casos de remodelación.

- Evaluación de daños de estructuras que han estado expuestas al fuego por incendios, en donde se han obtenido buenas correlaciones en las zonas en donde han existido altas temperaturas y el porcentaje de pérdida en la velocidad ultrasónica.

Experiencias obtenidas en estos casos indican además la posibilidad de obtener correlaciones para estimar la resistencia residual del concreto después de estar expuesto al fuego, por medio de ensayos ultrasónicos.

D. CONCLUSIONES

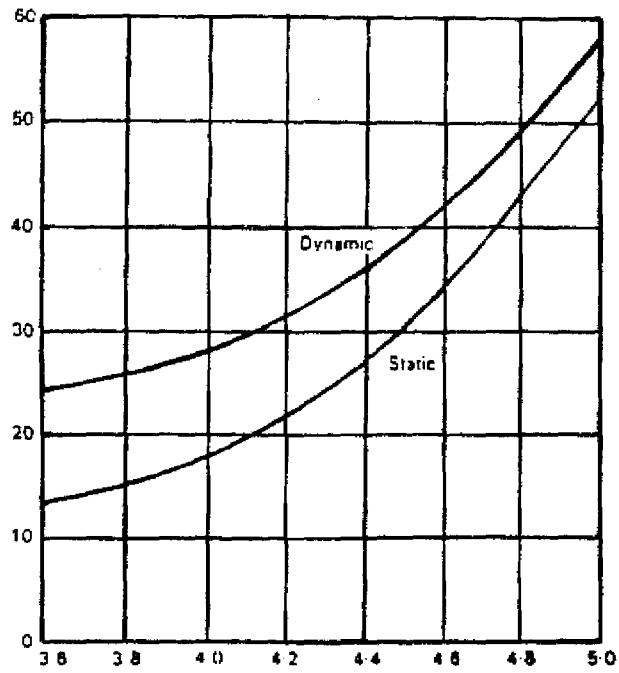
Es claro que la alta tecnología permite en la actualidad realizar en ensayos in situ en las estructuras, que permiten obtener un mejor conocimiento de las mismas.

Posteriores avances a la fecha a nivel de experimentos podrán permitir evaluar el comportamiento de las mismas en condiciones críticas, lo que permitirá mejorar el conocimiento al respecto y desde luego obtener obras más seguras y económicas.

REFERENCIAS

- (1) Controls SpA. Ultrasonic Testing of Concrete, Cat. E0046, 1987, pg. 1, fig. 1
- (1) Tames Instrument Inc. Instruction Manual for R-Meter, Model C-4956, pg. 3.

Módulo Elástico
KN/mm²



Velocidad Sónica Km/s. Figura 1 (Ref.1).

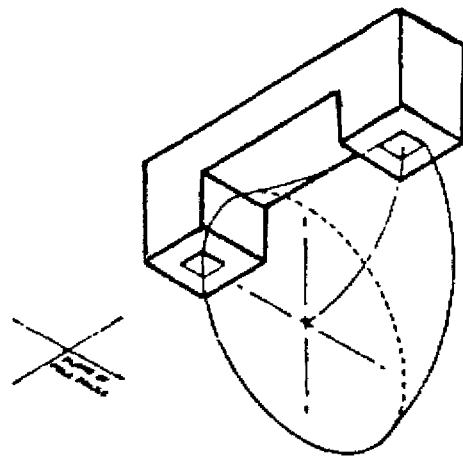


Figura 2 (Ref. 2).

SISTEMA PREFABRICADO "CONSTRURRAPID P.C."

PARA NAVES INDUSTRIALES

1. Resumen

Se presenta en este trabajo un sistema constructivo desarrollado por Productos de Concreto S.A. para Naves Industriales que tengan como fin almacenar material a granel.

El sistema estructural utiliza fundamentalmente marcos rígidos a los cuales se les da la pendiente necesaria para que el material pueda estabilizarse de acuerdo con su propio ángulo interno de reposo. Con este sistema se puede lograr luces entre columnas de hasta 24 m. y una pendiente de los elementos que puede llegar a ser del 120%.

Se describe también el uso de muros de retención externos e internos, así como una estructura para soporte de una batería de tolvas.

Se describe en el proyecto de la Nave Industrial de CAFESA en Puntarenas.

2. Introducción

La necesidad de estructuras que permitan desarrollar en ellas trabajos especiales, diferente a los que comúnmente se realizan en las naves industriales ha llevado a Productos de Concreto a desarrollar un sistema constructivo de naves prefabricadas para almacenar materia prima a granel.

Este sistema llega a complementar los sistemas existentes en el país, permitiendo mayores luces entre columnas y alturas más grandes que las que se logra con los sistemas anteriores, teniendo por consiguiente una mayor capacidad de almacenaje.

La gran ventaja que tiene este sistema de naves consiste en que los materiales a granel tienen ángulos de reposo internos de cerca de 35° , por lo que con naves convencionales se desperdicia la mayoría del volumen que es capaz de almacenarse en ella. Por la forma de estas naves especiales se logra dar pendientes en las vigas de hasta 50° , lo que implica que se forma una nave con una sección transversal similar a la forma en que el material busca naturalmente su ángulo de reposo, y por consiguiente un aprovechamiento mucho mayor de la capacidad de almacenaje de la nave.

Otra ventaja importante es el hecho de que gran cantidad de los materiales que se almacenan en ellas producen fácilmente corrosión en el acero; al ser estas naves de concreto se logra

ampliar considerablemente la vida útil de la nave con un muy bajo costo comparativo de mantenimiento.

Este nuevo sistema constructivo comprende la estructura principal de la nave, muros exteriores, muros interiores, paredes externas e internas y una estructura para soporte de una batería de tolvas.

3. Estructura principal

La estructura principal se logra a base de marcos tanto en el sentido transversal como en el longitudinal.

3.a Marco transversal

El marco transversal está formado de dos secciones: una sección en "A" y otra lateral, tal como se muestra en la fig. 1.

El marco de la sección en "A" se logra por medio de la unión rígida de placas de fundación, pedestales, vigas en "A" y vigas de banda transportadora.

La unión entre la placa de fundación, pedestal y viga en "A" se logra por medio de postensión, de la manera indicada en las figuras #2. El anclaje fijo de los cables se deja en las placas de fundación antes de colarlas, posteriormente se coloca el pedestal prefabricado donde algunos de los cables se anclan a este nivel para darle el soporte necesario al pedestal para resistir las cargas debidas al montaje. Los cables que aún quedan sin tensar pasan por ductos previstos en la viga para poderse anclar y tensar. Estos cables que se anclan en la viga se pasan lo suficiente para lograr la longitud de traslape y así obtener una conexión rígida.

En la parte superior donde se unen las dos vigas en "A" se hace una unión de gozne por medio de un perno uniendo las dos vigas, de la manera indicada en la fig. #3.

La unión entre la viga en "A" y la viga de Banda se logra por medio de una unión húmeda tal como se indica en la fig. #4.

La sección lateral de la sección transversal consta de placas de fundación, columnas y vigas de carga.

La unión entre la placa de fundación y la columna es una conexión de tipo húmeda por medio de la cual se logra una unión rígida entre la columna y el suelo (Ver fig. #5). En la parte superior de la columna la conexión columna-viga es una unión tipo gozne que se logra al dejar una varilla

anclada en la columna y posteriormente colocar la viga de modo que la varilla transmita únicamente cortante y tensión.

3.b Marco transversal

En el marco transversal se unen los elementos como columnas, pedestales y vigas en "A" por medio de vigas de amarre. La conexión entre los elementos indicados es de tipo húmeda y es capaz de transmitir momentos, cortante y carga axial.

También en el sentido transversal se colocan tensores a nivel de cubierta con el fin de asegurar que las cargas horizontales sobre la cubierta se distribuyan realmente sobre los marcos longitudinales.

4. Muros Exteriores

Los muros exteriores se logran al colocar elementos tipo "DOBLE TE" entre los pedestales. Con estos muros se obtienen alturas de hasta 4.5 m; con el lógico aumento de la capacidad de la nave.

Debido a la gran carga que se provoca sobre el muro en 12 m de luz, las "DOBLE TE" son incapaces de soportar toda la presión; por lo que se fabrican los pedestales de muro, que son elementos de apoyo en un punto intermedio y disminuyen la luz de la "DOBL TE" a 6.0 m.

5. Muros Interiores

Estos muros cumplen la función de separadores de los diferentes tipos de material. Son muros que pueden tener hasta 11.0 m de altura.

A causa de las grandes presiones laterales que se obtienen con esta carga de material los muros se estructuran como marcos, de modo que puedan soportar la carga de un sólo núcleo, que es la condición crítica, donde los elementos horizontales funcionan básicamente como tensores. Los elementos en diagonal tienen la función de disminuir la luz tanto de la columna como de la viga, de modo que estos elementos puedan distribuir las cargas en una condición más favorable.

Los muros se forman con placas de fundación típicas de estructuras prefabricadas. Las columnas son elementos con los arranques para las vigas. Ver fig. # 6 y # 7.

La conexión entre las vigas y las columnas se hace por medio de una unión húmeda y posteriormente se postensa para lograr

soportar las cargas de tensión que se produce en los miembros diagonales y horizontales.

6. Bateria de Tolvas

La estructura para la bateria de tolvas consiste de una estructura a base de marcos con las alturas requeridas para que sirva de soporte a las tolvas de acero.

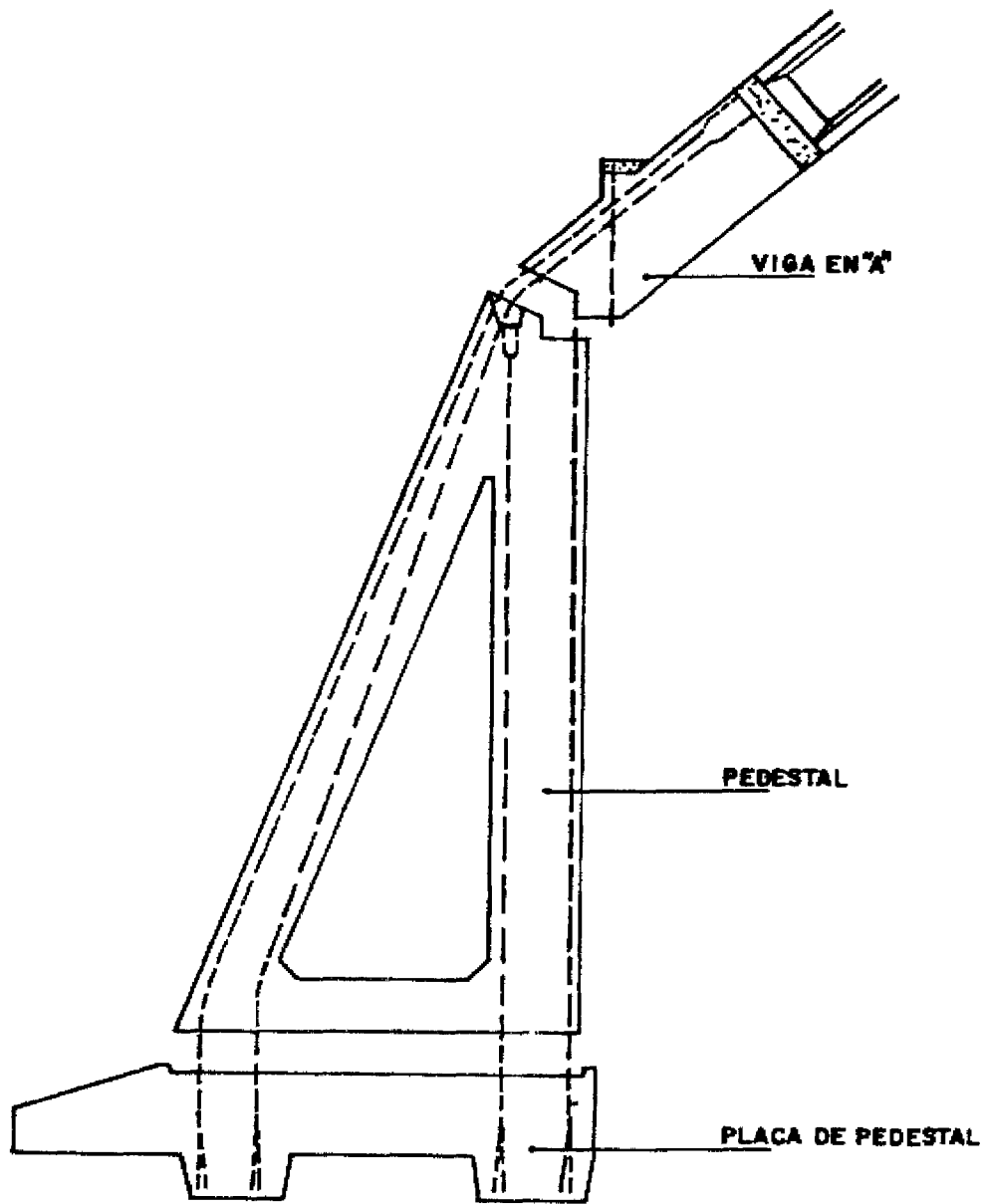
Esta estructura está compuesta de placas de fundación, oclumnas, vigas y largueros de soporte de la cubierta.

7. Proyecto de Nave para CAFESA

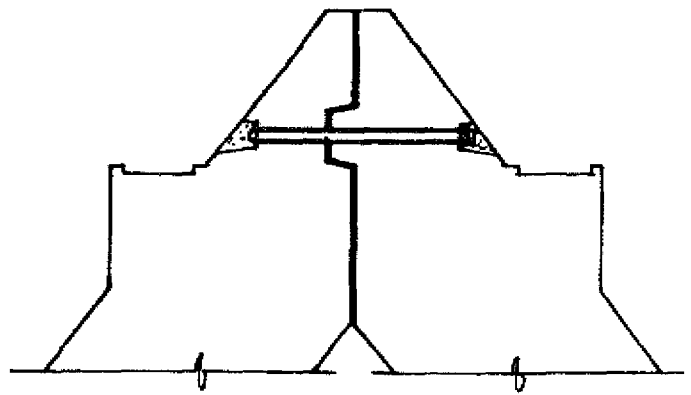
Esta nave se construyó en Barranca, Puntarenas. El área de construcción de la nave es de 4000 m², en ella se puede almacenar hasta 18000 m³ de material a granel, más 1200 m³ en producto terminado, lo que la convierte en una de las naves de mayor capacidad que hay en el país.

La figura 8 muestra la manera en que el material a granel se almacenará en la nave prefabricada.

En las figuras # 9 y # 10 se muestran dos fotografías del proyecto en mención.

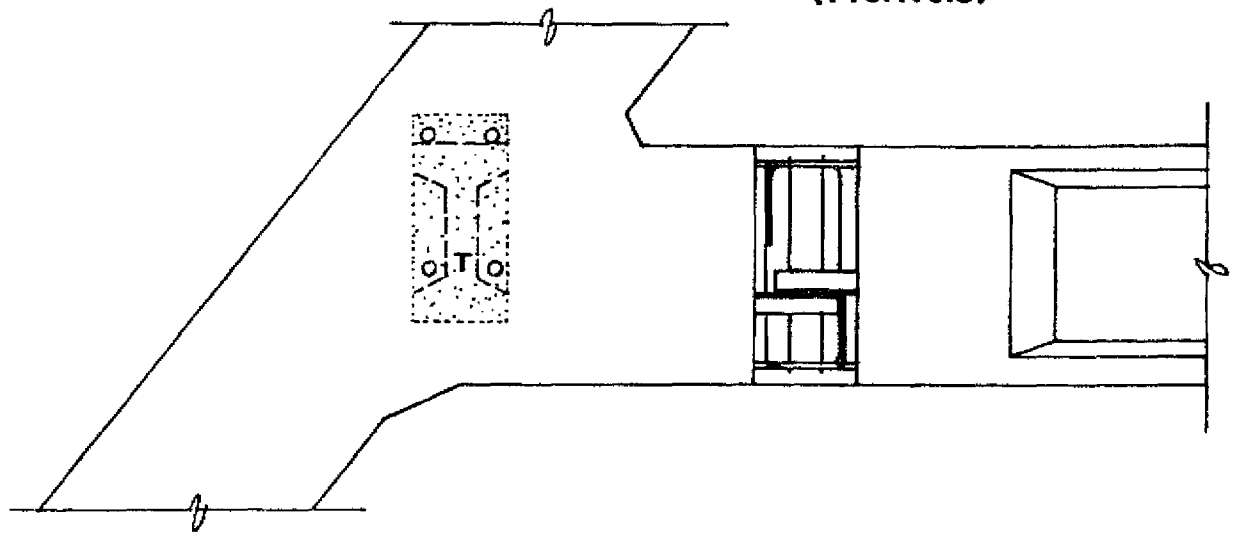


**CONEXION PLACA-PEDESTAL
Y VIGA EN "A"
(FIG. No.2)**



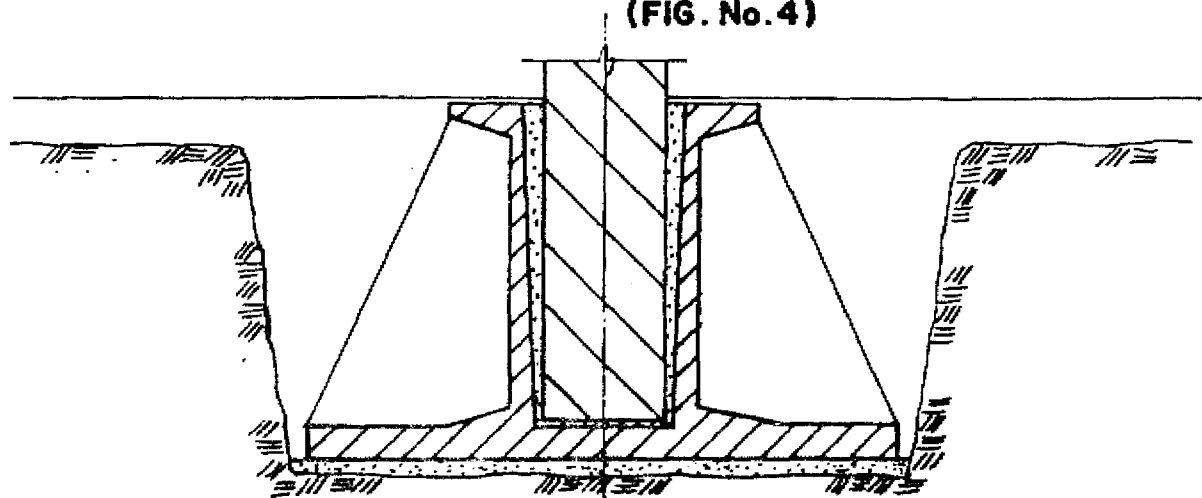
**DETALLE UNION VIGA PRINCIPAL -
VIGA PRINCIPAL**

(FIG. No.3)



DETALLE UNION VIGA PRINCIPAL-VIGA DE BANDA

(FIG. No.4)



DETALLE UNION PLACA DE FUNDACION-COLUMNA

(FIG. No.5)