



**“EL ACERO ELECTROSTÁTICO COMO REFUERZO EN  
ESTRUCTURAS DE CONCRETO”**

**“UN MODELO DE ANÁLISIS SISMORRESISTENTE”**

TESIS QUE PRESENTA

**JORGE VÉLEZ CARBAJAL**

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN ARQUITECTURA  
Campo de Conocimiento “Tecnología”

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES HISTÓRICAS**

**2006**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**DIRECTOR DE TESIS**

**DR. HUMBERTO ACEDO ESPINOZA**

**SINODALES**

**DRA. GEMMA VERDUZCO CHIRINO**

**MTRO. FRANCISCO REYNA GÓMEZ**

**MTRO. ANTONIO BAUTISTA KURI**

**MTRO. MIGUEL ARZATE PÉREZ**

## **DEDICATORIAS.**

ESTA TESIS REALIZADA CON GRAN ESFUERZO LA DEDICO ESPECIALMENTE A MIS PADRES **ANTONIO VÉLEZ DE LA TORRE Y JUANA CARBAJAL ROJAS**, AMBOS ME DIERON LA EXISTENCIA Y HASTA ESTE MOMENTO ESPERO DARLES UNA SEGUNDA SATISFACCIÓN AL CONCLUIR MIS ESTUDIOS DE MAESTRÍA Y SOBRE TODO POR HABERME DADO LA DICHA DE SER UN ESTUDIANTE SERIO Y DEDICADO A MIS COSAS; SUS DESVELOS Y ESFUERZOS HAN SIDO ALGO MUY VALIOSO PARA MÍ Y GRACIAS A ELLOS HE PODIDO CUMPLIR CADA UNO DE MIS SUEÑOS Y OBJETIVOS QUE ME PROPONGO.

TAMBIÉN QUIERO AGRADECER A MIS HERMANOS: SANTA VÉLEZ CARBAJAL, ANGÉLICA VÉLEZ CARBAJAL, ARACELI VÉLEZ CARBAJAL, GUADALUPE VÉLEZ CARBAJAL, VERÓNICA VÉLEZ CARBAJAL, LOURDES VÉLEZ CARBAJAL Y ANTONIO VÉLEZ CARBAJAL POR SU APOYO Y LEALTAD A MÍ.

## **AGRADECIMIENTOS.**

EL PRINCIPAL AGRADECIMIENTO ES PARA LA **DGEP DE LA UNAM** (DIRECCIÓN GENERAL DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO) Y EN ESPECIAL PARA EL **COMITÉ TÉCNICO DE BECAS**, QUE SIN SU APOYO ECONÓMICO NO HUBIERAN SIDO POSIBLES LOS ENSAYOS EXPERIMENTALES SOBRE EL ACERO ELECTROSTÁTICO, Y POR LO TANTO A TRAVÉS DE ESTE APARTADO LE AGRADEZCO INFINITAMENTE SU APOYO, ESPERANDO NO HABER DEFRAUDADO A TODA LA COMUNIDAD UNIVERSITARIA, Y SOBRE TODO QUE GRACIAS A ELLOS PUDE VALIDAR UN NUEVO CONOCIMIENTO EN BENEFICIO DE LA INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA PARA LA ARQUITECTURA.

ADEMÁS DEBO COMENTAR QUE ME SIENTO MUY ORGULLOSO DE QUE LA **DGEP** APOYE BUENAS CAUSAS EN BENEFICIO DE LA INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA, POR LO CUÁL PIDO QUE ÉSTA NUNCA DEJE DE ESTIMULAR A LAS NUEVAS GENERACIONES QUE DÍA CON DÍA CREAN Y DESCUBREN COSAS QUE A NOSOTROS COMO MEXICANOS NOS INTERESAN Y CON EL PASO DEL TIEMPO NOS LLEVEN A UNA SUPERACIÓN SOCIAL Y ESPIRITUAL.

**GRACIAS POR TODO..... INFINITAMENTE GRACIAS POR TODO**

AGRADEZCO TAMBIÉN AL **DR. JOSÉ LUIS PALACIO PRIETO**, POR HABERME ABIERTO LAS PUERTAS AL SISTEMA DE POSGRADO DE LA UNAM Y PERMITIRME DEMOSTRARLE QUE NOSOTROS COMO UNIVERSITARIOS DE CORAZÓN TAMBIÉN PODEMOS INNOVAR CONOCIMIENTOS EN BIENESTAR DE LA COMUNIDAD Y DE NUESTRA PROPIA UNIVERSIDAD QUE PARA MÍ ES INFINITAMENTE QUERIDA.

# **AGRADECIMIENTOS**

## **AGRADECIMIENTOS A MIS TUTORES Y AMIGOS**

EN PRIMER LUGAR QUIERO CITAR A TRES PERSONAS AL MISMO TIEMPO, PORQUE SU APOYO FUE INCONDICIONAL PARA LA EJECUCIÓN Y ELABORACIÓN DE ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN, Y ELLOS SON EL **DR. HUMBERTO ACEDO ESPINOZA**, LA **DRA. GEMMA VERDUZCO CHIRINO** Y EL **MTRO. FRANCISCO REYNA GÓMEZ**.

AHORA ENUNCIANDO SU PARTICIPACIÓN AGRADEZCO A EL **DR. HUMBERTO ACEDO ESPINOZA**, POR HABERME ENCAMINADO DENTRO DEL CAMPO DE LAS ESTRUCTURAS Y SOBRE TODO LA PROPOSICIÓN DIRECTA DE LLEVAR A CABO LA INVESTIGACIÓN SOBRE EL ACERO ELECTROSTÁTICO POR UN CAMPO VIABLE QUE ES LA GEOMETRIZACIÓN Y LOS PATRONES DINÁMICOS A LAS QUE ESTE PUEDE ESTAR SUJETO EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO. GRACIAS A SU PROFESIONALISMO PUDIMOS LOGRAR UNA PEQUEÑA Y GRAN APORTACIÓN A LA VEZ, DEMOSTRANDO QUE EL ACERO ELECTROSTÁTICO ES UN REFUERZO MUY PROMETEDOR PARA TODO EL CAMPO DE LA ARQUITECTURA E INGENIERÍA. EL **DR HUMBERTO ACEDO** PARA MÍ HA SIDO ALGO MÁS QUE UN SIMPLE ASESOR, A TRAVÉS DE ESTOS AÑOS DE CONVIVENCIA SE HA CONVERTIDO EN UN AMIGO Y CONFIDENTE MUY APRECIADO Y LA VERDAD ME ENCUENTRO MUY ORGULLOSO DE HABERLO ENCONTRADO EN MI CAMINO DENTRO DEL POSGRADO, ESTOY MUY AGRADECIDO CON ÉL SOBRE TODO POR BRINDARME SU PACIENCIA Y ENTREGA A ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.

A LA **DRA GEMMA VERDUZCO CHIRINO**, PRIMERAMENTE PORQUE ME DIO LA OPORTUNIDAD DE ACERCARME A ELLA Y A SU VEZ DE COMPARTIR TODOS SUS CONOCIMIENTOS Y EXPERIENCIAS EN EL CAMPO DE LA INVESTIGACIÓN, GRACIAS A ELLA PUDE REALIZAR LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES EN SU PARTE INICIAL A TRAVÉS DEL CENTRO TECNOLÓGICO DE LA FES ARAGÓN, ADEMÁS PUEDO MENCIONAR QUE A TRAVÉS DE SU GRAN NOBLEZA, ELLA CREYÓ EN MÍ Y EN MI INVESTIGACIÓN Y GRACIAS A ELLO PUDIMOS LLEGAR A RESULTADOS NOTABLES QUE NOS DIERON MUCHAS SATISFACCIONES AL TERMINAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN. FINALMENTE TAMBIÉN PUEDO MENCIONAR QUE LA **DRA GEMMA** ES UNA GRAN PERSONA, RESPONSABLE, ESTRICTA Y SOBRE TODO UNA GRAN AMIGA, POR ELLO LE DOY LAS GRACIAS PORQUE DEBIDO A SU GRAN DISCIPLINA LOS ALUMNOS QUE HA TENIDO A SU CARGO HAN LOGRADO TRABAJOS CON MUCHA CALIDAD EN BIENESTAR DE LA TECNOLOGÍA Y SOBRE TODO DEL CAMPO DE CONOCIMIENTO EN EL PROGRAMA DE ESTUDIOS.

AL **MTRO FRANCISCO REYNA GÓMEZ**, YA QUE COMO COORDINADOR DEL CAMPO DE CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍA, PUDO APORTARME ALGO MUY VALIOSO ADEMÁS DE SU CONOCIMIENTO, QUE FUE SU CONFIANZA Y AMISTAD; GRACIAS A ÉL PUDE REFINAR PASO A PASO EL TEMA DE INVESTIGACIÓN Y TAMBIÉN DEBIDO A SU GRAN EXPERIENCIA COMO PERSONA DOCENTE ENCAMINÓ EL TRABAJO HACIA UNA DIRECCIÓN NETAMENTE EXPERIMENTAL, EVITANDO QUEDAR DE ESTE SOLAMENTE EN LA TEORÍA. ESTOY SUMAMENTE ORGULLOSO DE CONTAR CON PERSONAS COMO EL, PRINCIPALMENTE PORQUE ES UN HOMBRE HUMILDE E INTELIGENTE; GRACIAS A ESA HUMILDAD NOS HA ABIERTO LAS PUERTAS PARA CREAR NUEVOS CONOCIMIENTOS EN BIENESTAR DE LA TECNOLOGÍA

ARQUITECTÓNICA Y A TRAVÉS DE ESTE PEQUEÑO APARTADO QUIERO PEDIRLE QUE NUNCA DEJE DE APOYAR A LAS NUEVAS GENERACIONES DE ALUMNOS QUE REQUIEREN DE UNA LUZ PARA PODER GUIAR MEJOR SUS CONOCIMIENTOS HACIA LAS NUEVAS INNOVACIONES TECNOLÓGICAS

TAMBIÉN LE DOY LAS GRACIAS AL **DR EN METALURGIA DANIEL ALDAMA ÁVALOS**, POR LLEVAR A CABO LA ETAPA EXPERIMENTAL SOBRE LA LIMPIEZA Y CORRUGACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO ELECTROSTÁTICO, PERMITIÉNDONOS DE LA MANERA MÁS AMABLE USAR LOS LABORATORIOS DE METALURGIA DEL CENTRO TECNOLÓGICO DE ARAGÓN, DONDE ACTUALMENTE TIENE FUNCIONES DE SECRETARIO ACADÉMICO; GRACIAS A ÉL SE CONVIRTIERON EN REALIDAD LOS PROCESOS EXPERIMENTALES DE ESTE TEMA, Y EN PARTE CASI TODO EL CAPÍTULO V DE ESTA TESIS, SE REFLEJARON SUS CONOCIMIENTOS Y EXPERIENCIAS SOBRE EL TRATAMIENTO DE MATERIALES METÁLICOS ANTES DE SER DEPOSITADOS EN SOLUCIONES O ALEACIONES POSTERIORES; ESTE HOMBRE, TAMBIÉN CREYÓ EN EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN Y ADEMÁS DE PERTENECER A OTRA ENTIDAD ACADÉMICA, LE DOY LAS GRACIAS INFINITAMENTE POR SU VALIOSO TIEMPO QUE DEDICÓ A ESTE TRABAJO Y SOBRE TODO POR SUS CONOCIMIENTOS QUE FUERON DE GRAN AYUDA EN LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO.

ASÍ COMO TAMBIÉN LE DOY LAS GRACIAS AL **ING. ALFREDO DÁVILA** POR HABER LLEVADO A CABO LA SEGUNDA PARTE DE LA EXPERIMENTACIÓN, LAS FUNDICIONES DE METALES DENTRO DE LOS HORNOS DE INDUCCIÓN; ASÍ COMO DE REALIZAR LA SUMERSIÓN DE LAS PROBETAS EN DICHOS METALES FUNDIDOS; SU TRABAJO FUE INDISPENSABLE PARA DEMOSTRAR QUE EL ACERO ES REALMENTE DÚCTIL Y RESISTENTE; FUE LA PARTE TORAL DE LA INVESTIGACIÓN; DE IGUAL FORMA AGRADEZCO SU TIEMPO Y DEDICACIÓN A ESTE TRABAJO.

FINALMENTE AGRADEZCO SU COMPAÑÍA A LA **SRA IRMA ROJAS**, SECRETARIA DEL CAMPO DE CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍA, POR SU AMISTAD, Y SOBRE TODO POR SUS CONSEJOS QUE FUERON DE GRAN AYUDA, DEBO SEÑALAR QUE NO HAY PERSONA TAN HUMANA, EFICIENTE Y BUENA AMIGA COMO ELLA, QUE SIN INTERÉS ALGUNO ES UNA DE LAS PERSONAS MÁS AMABLES Y CONFIABLES DE ESTE CAMPO DE CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍA, Y A TRAVÉS DE ESTE APARTADO LE DOY LAS GRACIAS POR TODA SU AMISTAD BRINDADA.

TAMBIÉN A MIS AMIGOS **LUIS DIONISIO JERÓNIMO GONZÁLEZ, CRISTINA SÁNCHEZ GARCÍA, DANIEL RUÍZ CONDE, JUAN CARLOS APARICIO CASTILLO Y JOSÉ ALFREDO SAAVEDRA RODRÍGUEZ** AMIGOS CONOCIDOS EN ESTE CAMPO DE CONOCIMIENTO, POR TODO SU APOYO Y COMPENSIÓN, POR SUS CONSEJOS, POR LOS MOMENTOS TAN AGRADABLES QUE PASAMOS JUNTOS, POR LOS MOMENTOS DIFÍCILES POR LOS QUE ATRAVESAMOS Y SOBRE TODO POR SU LEALTAD, CONFIANZA Y GENEROSIDAD; MIL GRACIAS POR TODO.

FINALMENTE TAMBIÉN AGRADECER EL APOYO Y LA CONFIANZA DE UN AMIGO PROFESOR DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA DEL TALLER TRES, **ARQ. JAVIER SEVILLA RAMÍREZ**, POR SUS CONOCIMIENTOS Y EXPERIENCIA AL PARTICIPAR COMO GUÍA EN LA ELABORACIÓN DE ESTE TEMA, ADEMÁS DE SU AMISTAD, GENEROSIDAD Y CREDIBILIDAD.

INTRODUCCIÓN	1
• <b>CAPÍTULO I “CONTEXTO MUNDIAL SOBRE LA INVESTIGACIÓN ”</b>	
1.1 Marco teórico	8
1.2 Antecedentes Históricos	10
• <b>CAPÍTULO II “SISMOS Y TIPOS DE DEFORMACIONES ESTRUCTURALES”</b>	
2.1 Definición de sismo	13
2.2 Ondas sísmicas (origen, comportamiento y consecuencias)	13
2.3 Análisis de los tipos de deformaciones más comunes por sismo	14
2.3.1 Efectos por Cortante	15
2.3.2 Efectos por Aplastamiento	16
2.3.3 Desplazamientos Horizontales	17
2.3.4 Efectos por Torsión	18
2.3.5 Giros de nodos o nudos de unión	20
2.3.6 Rotación y curvatura en columnas	21
2.3.7 Flexión y Deflexión en trabes	22
2.4 Conclusiones y Observaciones	23
• <b>CAPÍTULO III “ANÁLISIS DE NUEVAS ALTERNATIVAS DE REFUERZO ESTRUCTURAL EN EL CONCRETO ARMADO”</b>	
3.1 Diseño de Estructuras de concreto armado en zonas sísmicas	26
3.2 El uso de la fibra de vidrio sensorial con polímeros	29
3.3 La fibra de carbono en estructuras de concreto	32
3.4 El uso de ceniza volante industrial como material resistente antisísmico.	35
3.5 Los amortiguadores sísmicos	37
3.6 Conclusiones y análisis	38
• <b>CAPÍTULO IV “ EL ACERO ELECTROSTÁTICO COMO REFUERZO EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO”</b>	
4.1 Definición y Antecedentes	41
4.2 Propuesta Tecnológica	43
4.3 Características Físicas	44
4.4 Funcionamiento Estructural	45
4.5 Tipos de armado	46
4.6 Sistema con alto grado de Tecnología	47
4.7 Propuesta integral definida	49
4.8 Ventajas del diseño	50
4.9 Composición Química del Acero	51
4.10 Orden Específico para la fabricación del Acero Electrostático	55
4.11 El Acero aplicado a la Arquitectura	58
4.12 Su estandarización en diámetros nominales	59



• <b>CAPÍTULO V “ PASOS DE ELABORACIÓN Y FABRICACIÓN DEL ACERO ELECTROSTÁTICO EN LABORATORIO EXPERIMENTAL”</b>	
5.1 Características de la base de hierro.	62
5.2 Procedimientos de preparado – cortado y torneado	64
5.3 Proceso de Limpieza en las probetas de hierro	65
5.4 Proceso de Corrugación en las probetas de hierro	69
5.5 Proceso de amalgamación concéntrica directa por baños de metales	71
5.6 Realización de pruebas de laboratorio por “Esfuerzo – Deformación”	76
5.7 Resultados	78
• CONCLUSIONES	I
• REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	IV
• GLOSARIO	

## INTRODUCCIÓN

El interés por desarrollar la investigación estructural en arquitectura, específicamente en el ramo de diseño estructural sismo - resistente, surgió por la inquietud de solucionar los problemas de estructuras antisísmicas, aplicando nuevos materiales y formas de estructuración que fueran más eficientes para soportar ondas y movimientos sísmicos diversos (fuerzas horizontales).

“Como sabemos los sismos representan uno de los más graves peligros naturales para la vida en este planeta; a través del tiempo han causado la destrucción de incontables ciudades y poblaciones en cada uno de los continentes”.<sup>(1)</sup> Por esta razón el interés que han despertado es por su magnitud; que puede ocasionar graves pérdidas tanto humanas como materiales, es por ello que al proponer nuevas alternativas estructurales resistentes a estos eventos, se podrían salvar un gran número de vidas y de bienes inmuebles

Es de importancia reconocer que un sismo puede provocar una devastación instantánea en cualquier población y desencadenará un impacto psicológico, económico y social único lo que siempre desequilibra la vida normal de las personas.

"Los riesgos impuestos por sismos son únicos en muchos aspectos y consecuentemente, la adecuada planeación conducente a reducir los riesgos de sismos requiere de un enfoque especial desde el punto de vista del movimiento y comportamiento de los mismos. Una característica importante del fenómeno sísmico es que provoca primeramente los deslizamientos del suelo generando el desequilibrio en diversos inmuebles y así posteriormente desencadenarán derrumbes en los mismos, lo que asocia completamente el riesgo de perder la vida con las estructuras construidas por el hombre”<sup>(2)</sup>

El tema incide en que los experimentos científicos y tecnológicos para hacer estructuras resistentes a efectos sísmicos, son para el bienestar de los usuarios y de su entorno interno; además la investigación estructural ha descubierto día a día más sobre el comportamiento sísmico, lo que se traduce en la tecnología e innovación en materiales y estructuras de inmuebles más resistentes a dichos efectos, mejorando medidas de seguridad, estabilidad de instalaciones, acabados y de efectos externos como vientos, resonancias, respuesta sísmica (fuerzas horizontales) e impactos aislados.

Cabe señalar que en la actualidad las estructuras de concreto reforzado que todos conocemos con varillas y anillos de acero (que contienen hierro + carbono), tienen una capacidad relativamente aceptable para resistir movimientos sísmicos, pero por diseño y armado pueden fallar a flexión, cortante y torsión, lo que en muchas ocasiones las han llevado al colapso total; es por eso que en este trabajo de tesis se elaboró un modelo de análisis de comportamiento con nuevos sistemas de refuerzo como es el **“acero electrostático”** que tiene su fuente de origen en forma experimental en la Universidad de Nevada en Estados Unidos con la intención de innovar estructuras de concreto resistentes a las altas y bajas temperaturas que reinan en latitudes cercanas al polo norte; y es por ello que se retomó el tema para crear un acero electrostático pero resistente a eventos sísmicos que se han vuelto un grave problema en México y así generar una propuesta tecnológica idónea para mitigar los daños que pudieran ocasionarse con los sismos.

(1). Cita textual del libro “Diseño de Estructuras Resistentes a Sismos” por D.J DOWRICK, pp 5

(2). Ibid

En primera instancia este acero tiene la función de sustituir a los refuerzos que actualmente conocemos como son las varillas y estribos de hierro con carbono, en edificios de gran magnitud.

Este nuevo material se propuso, porque ha sido estudiado e investigado en la Universidad de Nevada (EU) con la finalidad de diseñar un refuerzo estructural óptimo para nuevas estructuras de concreto que resistan mejor a los altos cambios de temperaturas en verano e invierno; así como en Canadá en la Universidad de Toronto se ha investigado y construido un material similar como son los refuerzos de acero con fibra de vidrio polisensorial que persiguen la misma finalidad de soportar temperaturas extremas y evitar finalmente la corrosión de los refuerzos de acero que en los últimos años han sufrido grandes obras de infraestructura civil en aquellas latitudes cercanas al polo norte. Uno de los investigadores más importantes de la Ingeniería Estructural mundial el Dr. A. Aftab Mufti ha realizado grandes obras de infraestructura civil en Canadá utilizando aceros ricos en fibras de vidrio polisensoriales lo cual ha disminuido significativamente la corrosión de los aceros en estructuras de concreto ante las inclemencias del tiempo <sup>(3)</sup> (ver figura 1)



Figura 1: Puente "The Beddington Trail" de Concreto con Fibra de vidrio polisensorial en Toronto Canadá por A.A Mufti

Entre otras innovaciones tecnológicas dentro del campo de la ingeniería estructural se encontraron las siguientes:

Los **polímeros con sensores de fibra de vidrio** en estructuras de infraestructura civil investigadas y fabricadas en la universidad de Toronto en Canadá, por el Dr. en Ingeniería A. A Mufti, son básicamente refuerzos de acero (hierro + carbono) con ciertos aditamentos o materiales dentro de su estructura que les permite tener una gran flexibilidad y mayor resistencia a la tracción; las ventajas que brinda este refuerzo en estructuras de concreto es para soportar grandes cargas dinámicas por efecto de automóviles, ferrocarriles o maquinaria pesada en industrias, además de que esta fibra de vidrio reduce los índices de corrosión ante frío o calor extremo; y los claros que soportan entre columna y columna son mayores a los 30 metros debido a la elasticidad de la fibra de vidrio

(3). Ver Ponencias del XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Conferencia Magistral del Dr A. A. Mufti sobre Nuevos aceros de refuerzo estructurales.

La **fibra de carbono MBrace™** como refuerzo en estructuras con gran altura en Brasil, revolucionada por el Dr. Roberto C.D, consiste en un recubrimiento plástico que se adhiere o pega sobre la superficie de trabe, losa o columna dañada por efectos gravitacionales o sísmicos; este recubrimiento plástico es muy delgado, fácil de usar y de menor mantenimiento sus dimensiones son con hojas de 60 centímetros de ancho X varios metros de largo según especificaciones de los clientes; y ha sido usado en obras de gran magnificencia en la Ciudad de Brasilia como en el primer puente vehicular de América Latina construido hace 80 años y en el edificio de oficinas más alto de Brasilia con más de 70 pisos de altura

El **concreto con alto contenido de ceniza volante** como alternativa sismorresistente experimentado en todo el país, con la finalidad de que el concreto sea mucho más resistente a los sulfatos externos y sean mucho más resistentes a la humedad y corrosión; el uso de estas cenizas inciden en brindar al concreto una mejor trabajabilidad y durabilidad del mismo, y las ventajas que brinda es la utilización de menor cantidad de pasta o cemento, incrementando los agregados y aditivos que en este caso son la grava y la arena así como el uso de esta ceniza; en este caso la ceniza también sustituye en parte la función del agua; generando así una utilización menor de la misma

Y los **amortiguadores sísmicos** que fueron han sido utilizados en la construcción de muchos edificios alrededor del mundo, y un ejemplo de estos lo encontramos en el sistema estructural de la torre mayor que se encuentra en la Ciudad de México; estos amortiguadores se clasifican en dos partes: que son los amortiguadores de base que se sitúan entre la cimentación y la estructura y los disipadores de energía que se ubican en la parte de la superestructura de los inmuebles, estos amortiguadores funcionan con materiales como el plomo, ácidos viscosos y elementos plastificantes como el neopreno para disipar la energía sísmica que se presenta, y así al disiparla disminuyen los efectos por cortante en las uniones de trabes y columnas, así como equilibran la flexión en las mismas

Todas estas alternativas fueron de gran importancia, porque aportaron a la investigación ciertos parámetros y enfoques de protección a estructuras sismorresistentes, con la finalidad de que estas pudieran soportar grandes sismos; y así al analizarlas en el capítulo III, se tomaron ciertas recomendaciones sobre los efectos que se deben evitar en las estructuras ante un fuertes sismos y así con estas pudimos llegar a definir la composición final del acero electrostático resistente a sismos y sobre todo fabricarlo en forma de probetas de manera exitosa.

En este caso se retomó la investigación del acero electrostático que se estudia en la Universidad de Nevada; pero con un enfoque diferente y una aportación tecnológica viable que consiste en diseñar un acero electrostático resistente a EFECTOS SÍSMICOS, que disminuya las fuerzas horizontales que estos puedan producir y sobre todo que evite las deformaciones internas y externas de la estructura ante magnitudes mayores a 9° Richter; incluso cuando se han presentado sismos mayores a esta magnitud han deteriorado y marcado a las naciones en todos los aspectos como a nivel cultural, social, económico y psicológico; por tal motivo en este trabajo de tesis no se copió fielmente un sistema constructivo nuevo inventado en el extranjero para aplicarlo en inmuebles de México; sino que se retomó y se estudiaron sus características para crear un sistema distinto que tuvieran funciones específicas para nuestro país ya que se encuentra ubicado en zonas de alta sismicidad.

Y más que soportar altas y/o bajas temperaturas, se fabricó un acero de refuerzo que nos ayudara a impedir colapsos o agrietamientos leves o graves en estructuras de concreto de cualquier inmueble siendo este de pequeña o gran magnitud.

La realización de dicho tema de investigación porque es importante?

Si recordamos los acontecimientos ocurridos en la Ciudad de México en 1957 y 1985 así como en otras tantas partes del mundo citando a Japón (Kobe 1995), y Oriente Medio (1990 y 2001) en mi opinión; muchas construcciones se desplomaron en parte por la deficiencia con que fueron construidas, ya que no soportaron las vibraciones inducidas y explosiones por incendio a causa de los movimientos sísmicos inesperados; otros aspectos importantes fueron **la intensidad, duración y tipo de terreno**, en este caso la intensidad que se refiere al grado de sacudimiento en un sitio determinado, fue un aspecto que desencadenó los colapsos de muchas estructuras, la duración también es de suma importancia ya que si los tiempos varían algunos minutos pueden fatigar demasiado a las estructuras y llevarlas al colapso; finalmente el tipo de terreno es un factor importante, ya que mientras sea más blando o arcilloso, los efectos de sismo serán más intensos y podrán llevar al desplome total de las mismas.

En otros casos el mal acomodo de muebles o instalaciones especiales de gran peso que fueron colocados fuera de trabes o columnas, también ocasionaron el derrumbe de muchos otros edificios (cambio de carga viva) y un ejemplo de ello se originó en el sismo de la Ciudad de México en la calle de Chimalpopoca cerca del Centro Histórico, donde un edificio de tipo habitacional, se acondicionó como bodega de granos y así al manifestarse el sismo, se desplomo causando un gran número de víctimas humanas (ver figura 2)



Figura 2: Edificio con cambio de uso de suelo diseñado para uso habitacional y convertido en almacén de granos.

Así como también, los edificios no contaban con los armados de varilla adecuados en trabes y columnas ( diámetros nominales de varilla insuficientes), aunque estáticamente cumplían con cálculos y criterios sólidos de construcción, las estructuras se colapsaron por los efectos dinámicos que interactuaron en éstas (propagación de ondas sísmicas oscilatorias y trepidatorias), produciendo rotación y pandeo intolerantes en columnas, provocados por un desorden de sincronía en movimiento de todo el sistema estructural

(movimientos diferenciados a destiempo de traves y columnas); ya que las columnas de los inmuebles no contenían un diafragma rígido (armados de varillas no confinados), tenían discontinuidad en la rigidez y gran excentricidad de las cargas sobre traves y columnas.

Al investigar este material para crear nuevos diseños de estructuras sismo-resistentes, se reducirán notablemente los riesgos de colapso en grandes y medianos edificios, **ya que dentro de la investigación se estudiaron otras formas de conformar estructuras de concreto a través de otro tipo de acero que refuerce de mejor manera al mismo, que los simples armados de varillas y estribos; y por lo tanto resistan mejor los eventos sísmicos.**

Con la investigación estructural se cumplieron los siguientes objetivos:

- Se investigó y analizó de manera teórica todo a profundidad sobre el acero electrostático, posteriormente se fabricó determinando los materiales necesarios que lo compondrían y que verdaderamente resistieran aún más los efectos por sismo; y ya fabricado se sometió a pruebas de esfuerzo deformación para verificar el módulo de elasticidad que registraba siendo este mayor a  $2,100,000 \text{ Kg/cm}^2$  (Alcances de nivel Maestría)
- Después de registrar sus pruebas de esfuerzo y deformación verificar si el refuerzo al colarlo en concreto, es un elemento con mayor desempeño sismo-resistente en columnas y traves, **detectando el grado de deformación del concreto que sufre ante simulaciones sísmicas, comparando dichas deformaciones con los armados de varillas y estribos convencionales de estructuras comunes de concreto**; así como demostrar en una tabla impresa las diferentes resistencias y esfuerzos a compresión, flexión, pandeo y torsión que presenta este nuevo material. (Alcances de nivel Doctorado)

En este sentido al principio del trabajo de tesis se mencionaron dos hipótesis, y se pudo validar la segunda, ya que al realizar las pruebas de esfuerzo – deformación obtuvimos un acero electrostático con un módulo de elasticidad con  $3,142,150 \text{ Kg/cm}^2$  y una ductilidad por incremento de deformación del 17%

1. Si en la actualidad las estructuras de concreto reforzado con armados de varilla y estribos presentan problemas a flexión, rotación y pandeo para soportar movimientos sísmicos; las estructuras de concreto reforzadas con acero electrostático, reducirán las deformaciones del concreto en columnas y traves, contrarrestando los agrietamientos que provocan los sismos, aumentando la resistencia y durabilidad de las estructuras mismas. (Por validar en trabajo doctoral)

Hipótesis Validada:

2. Si el acero electrostático contiene mayor alternancia y resistencia a los efectos por sismo que los aceros de varilla convencionales de hierro + carbono; este acero deberá tener **altos módulos de elasticidad y una ductilidad aceptable** (20% de longitud por estiramiento de probeta como mínimo respecto a su longitud original) ya que al contemplar un alto módulo de elasticidad, su alternancia y resistencia serán mayores ante los esfuerzos por sismos.

El proceso de investigación se llevó a cabo en cinco capítulos; la primera parte consistió en entender lo que es un sismo, características y riesgos; así como los efectos que produce en función de la deformación interna y externa de las estructuras de concreto reforzado; por lo cual cada una de estas será analizada para entender el fenómeno de los posibles colapsos de las mismas a evitar <sup>(4)</sup>

En la segunda parte se mencionaron y analizaron los nuevos materiales alternativos de la ingeniería estructural actual, para evitar las deformaciones en estructuras de concreto armado; así como una crítica y reflexión sobre sus ventajas y desventajas en México.

En la tercera parte se llevó a cabo la búsqueda documental sobre el acero electrostático, a través de ciertas bibliografías de ingeniería eléctrica y electrónica, búsqueda por páginas en internet, revistas de ingeniería y a través de contactos directos a las universidades de Japón y Estados Unidos, para compartir ideales e información referente a este material.

De igual forma se recopiló información sobre otros materiales propuestos como alternativas sismorresistentes, se analizaron, y depuraron que ventajas y desventajas contenían, determinando la factibilidad de poder usarlos en determinado momento.

Y finalmente en la cuarta y quinta parte del trabajo de investigación se llevaron a cabo los trabajos de experimentación, que consistieron en fabricar el acero, someterlo a pruebas de esfuerzo – deformación y descubrir el módulo de elasticidad que presentaba, obteniendo resultados muy favorables.

Con estos resultados, este trabajo de tesis abre diversos caminos y puertas para siguientes trabajos de tipo doctoral donde el Acero Electroestático promete ser todo un material revelador de alta tecnología como refuerzo en estructuras de concreto.

*(4). Ver Capítulo II" SISMOS Y TIPOS DE DEFORMACIONES ESTRUCTURALES" Para información complementaria*

# **CAPÍTULO I “CONTEXTO MUNDIAL SOBRE LA INVESTIGACIÓN”**



## 1.1 MARCO TEÓRICO.

En este sentido, el tema de investigación consistió en analizar los diferentes tipos de deformaciones estructurales que pueden presentar trabes y columnas de concreto reforzado con acero o varillas convencionales después de un evento sísmico como son el cortante, aplastamiento, desplazamientos horizontales, torsión, giros de nodos, rotación y curvatura y flexión - deflexión y así en función del conocimiento de dichas deformaciones se realizó un modelo de análisis con la fabricación del **acero electrostático** como elemento alternativo de refuerzo en el concreto, para después someter las estructuras a simulaciones sísmicas y determinar el tipo de deformaciones que presentan con este nuevo material y finalmente comprobar que las deformaciones con el acero electrostático son casi inexistentes, demostrando así que esta nueva tecnología es una alternativa muy conveniente para evitar deformaciones y colapsos en estructuras ante movimientos sísmicos.

Porque propongo el acero electrostático como armado alternativo sismorresistente?

La exposición de conocimientos científicos y filosóficos validaron que este es un material estudiado y analizado dentro de los laboratorios de electrónica y estructuras en la Universidad de Nevada en (Estados Unidos), además es considerado como un conductor excelente de la energía eléctrica, demostrando así también su gran resistencia ante esfuerzos a tensión, por lo cual dentro de las mismas investigaciones abrieron la idea de que este material podría ser utilizado como una alternativa sismorresistente, por sus características morfológicas<sup>(5)</sup>

Cabe señalar que dentro de las investigaciones que se realizaron en diversas bibliografías sobre conductores eléctricos, el acero electrostático es un material con altos valores de módulo de elasticidad, debido a los diversos tipos de aleación de metales que lo componen, lo que significa que puede funcionar mejor que los armados convencionales de varillas y estribos; por lo tanto al tener un alto módulo de elasticidad, significa que este acero tiene también gran capacidad de alternancia ante ciertos efectos dinámicos, como son los impactos o movimientos por sismo.

Es por ello que nació la inquietud por investigar este tipo de acero y se realizaron las pruebas pertinentes para su investigación.

Cabe señalar que en la Universidad de Nevada se han realizado estructuras con este material, pero de forma experimental, donde el acero electrostático sirve como elemento **anticorrosivo**, sólo para resistir las altas temperaturas en verano y las bajas en invierno; en estructuras de concreto, lo que evita que estas se erosionen y fisuren con el paso del tiempo; cabe señalar que en las investigaciones de la Universidad de Nevada, al acero electrostático no se le ha considerado en cuestiones antisísmicas<sup>(6)</sup> y por ello me di a la tarea de investigar que tipo de aleaciones de metales compondrían la morfología química del mismo mediante un estudio metalúrgico; para evitar los esfuerzos por sismos en estructuras de concreto y demostrar el alto módulo de elasticidad que tiene el acero para contrarrestar cualquier evento sísmico

(5). Fuente: University of Nevada(EEUU), Área de Investigaciones Especializadas en Eléctrica y Electrónica 2004

(6). Fuente: University of Nevada (EEUU), Laboratorio de Estructuras, Área de Ingeniería Civil 2004.

El concepto general del tema de investigación, fue el de investigar el grado de alteración o desproporcionalidad que sufren elementos estructurales verticales (columnas) y horizontales (trabes), provocada por fuerzas laterales de movimientos sísmicos, que surgen bajo la corteza terrestre.

Al conocer dichas deformaciones se planteo usar un nuevo material, precisamente para evitar dichas deformaciones y garantizar seguridad a los usuarios de dichos inmuebles.

## PROCESAMIENTO

El objeto de la investigación también consistió en innovar un material de refuerzo como el acero electrostático, que fuera más resistente a movimientos sísmicos y con su utilización se tendrían que minimizar los daños en estructuras de concreto, lo que atraerá una mejor seguridad para los inmuebles y los usuarios que habitan estos.

**Por lo tanto el límite o acotación de la investigación se centró en determinar el valor del módulo de elasticidad del Acero Electrostático y así al ser superior al de las varillas convencionales se determinó que su valor de alternancia, ductilidad y resistencia ante efectos sísmicos sería mayor y por lo tanto resistiría mejor los esfuerzos por sismo, disminuyendo las probabilidades de colapso en las estructuras.**

El acero electrostático como material sismorresistente, pudo ofrecer un mayor módulo de elasticidad siendo éste de 3, 142, 150 Kg/cm<sup>2</sup> y en comparación con el módulo de los armados tradicionales que es de 2, 100, 000 Kg/cm<sup>2</sup>, conlleva una gran ventaja que significa que esta tipo de acero es más elástico y que puede presentar esfuerzos por deformación a tensión aun mayores que los otros.

Con el material usado, las deformaciones serán muy pocas, porque el acero es un armado especialmente apto para soportar sismos y siempre está alerta en caso de que pueda surgir este, además con su uso se garantiza la existencia de una **estructura con alto grado de tecnología**, porque dará a conocer después de cada evento, el estado en que se encuentran trabes y columnas definiendo su grado de fisuras o agrietamientos que hayan sufrido <sup>(7)</sup>

Con el uso de este nuevo material se evitarán problemas por deformación o colapso de estructuras después de un evento sísmico, y podrá ser aplicado en edificios de mediana y gran altura en zonas con mediana y gran actividad sísmica.

En el campo de lo prospectivo, se llevará una visión de cómo podrá comportarse dicho material ante situaciones reales, sus ventajas como elemento estructural y la probable gestión de un cambio tecnológico en cuestiones de ingeniería estructural, se impulsará la prospectiva de que en un futuro probable el acero electrostático sea el mejor elemento de refuerzo para estructuras de concreto, construyendo escenarios o imágenes que consideren un edificio que haya sido construido con este material y nos lleve directamente a la visión de un futuro, con estructuras mas resistentes a sismos.

(7) Ver Capítulo IV Apartado 3.6 "Sistema con Alto grado de Tecnología", para información complementaria

La idea de plantear un sistema alternativo sismo - resistente con alto valor de módulo de elasticidad y alternancia ante sismos, como este acero es precisamente evitar deformaciones y colapsos de estructuras para lograr un mayor tiempo de vida útil a las estructuras en los edificios.

## 1. 2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Si bien nos ponemos a analizar, no sólo como arquitectos o ingenieros, sino como personas comunes; la palabra sismo, implica muchos significados, tal vez nos pueda parecer en primera instancia un sinónimo de miedo, pánico, peligro, cuidado o un símbolo de alerta, principalmente porque es un fenómeno natural que se presenta en nuestro planeta de forma cíclica y que a través de un movimiento de tierra, ésta misma puede liberar energía interna que emerge hasta la superficie terrestre.

A través de la historia de nuestro planeta, este ha sido sacudido al menos por unos 20,000 sismos, desde que el hombre apareció en la faz de la tierra.

Desde la antigüedad, los sismos han sido representados como una furia imponente e incluso en las primeras culturas como Egipto y Mesopotamia, los consideraban como un castigo o maldición de sus propios dioses, por el hecho de haberse comportado de forma equivocada; en cambio, hoy en día aunque contamos con información, medios de comunicación, ciencia y tecnología; sabemos que los sismos son una manifestación natural del sacudimiento de la corteza terrestre producto de la liberación de energía del núcleo de la tierra; pero aún teniendo este conocimiento, la gente en su mayoría sigue sintiendo el mismo pánico que sentían hace miles de años las primeras culturas de oriente medio.

Si bien un sismo es un fenómeno, que siempre trae desgracias y pérdidas humanas, económicas, sociales, culturales y psicológicas, que se logran reflejar en la sociedad, y por tanto causa un desequilibrio en la producción de ciudades y países enteros.

Por su clasificación los sismos los he podido clasificar en dos grandes grupos, que son por su grado de intensidad y por su gravedad por pérdidas humanas, que a continuación enumero.

### CLASIFICACIÓN SEGÚN SU MAGNITUD

Si hacemos un pequeño recorrido por algunas desgracias ocurridas por sismo a través de algunas ciudades del mundo tenemos las siguientes:

- Sismo de Chile 1960, Magnitud 9.5°R (Richter)
- Sismo de Alaska 1964, Magnitud 9.2°R (Richter)
- Sismo de Rusia 1952, Magnitud 9.0°R (Richter)
- Sismo de Ecuador 1906, Magnitud 8.8°R (Richter)
- Sismo de Alaska 1957, magnitud 8.8°R (Richter)
- Sismo Islas Kuriles 1958, Magnitud 8.7°R (Richter)
- Sismo de Alaska 1965, Magnitud 8.7°R (Richter)
- Sismo de la India 1950, Magnitud 8.6°R (Richter)
- Sismo de Argentina 1922, Magnitud 8.5°R (Richter)
- Sismo de Indonesia 1938, Magnitud 8.5°R (Richter)

### CLASIFICACIÓN SEGÚN SU GRAVEDAD POR PÉRDIDAS HUMANAS

- Sismo de San Francisco (EEUU) 1906, 7.9° R , más de 3000 victimas
- Sismo en La Ciudad de México 1985, 8.1° R, 10,000 muertos y 40,000 heridos
- Sismo de Loma Prieta California 1989, 7.0°R, Daños multimillonarios
- Sismo en San Salvador (El Salvador) 1986, 7.5°R, 1500 muertos y 2000 heridos
- Sismo de Gujorat (India) 2001, 7.9°R, 15,000 muertos
- Sismo de Kobe (Japón) 1995, 7.2°R más de 5000 muertos
- Sismo de Irán 1990, 7.7°R , 35,000 muertos y 100,000 heridos
- Sismo de Tokio (Japón) 1923, 7.9°R, 100,000 muertos
- Sismo e Messina (Italia) 1908, ¿?°R , 150,000 muertos
- Sismo de Managua (Nicaragua) 1972, 6.4°R, 320,000 afectados
- Sismo de San Fernando (EEUU) 197, 6.6°R
- Sismo de Santa Rosa California 1969, 5.7°R
- Sismo de Guatemala 1976, 7.5°R
- Sismo de Limón (Costa Rica) 1991, 7.4°R
- Sismo de Northridge, Los Ángeles Cal. 1994 6.7°R
- Y la tragedia más reciente en Indonesia, 2004 Tsunami con 9.0°R causando más de 300,000 victimas

Todos estos últimos acontecimientos ocurridos desde principios del siglo XX, hasta nuestros tiempos han arrebatado la vida a más de **40 millones de personas**, que fueron victimas de sismos y terremotos, si nosotros podemos pensar tan solo en la cantidad de afectados, es algo que nuestra propia mente no puede imaginar, es por ello que nosotros como seres humanos, tenemos que hacer algo, para evitar en lo posible la menor cantidad de victimas en este caso de eventos.

Este antecedente histórico sobre los sismos es muy escueto, ya que me tardaría demasiado en nombrar cada una de las tragedias ocurridas en muchas partes del mundo, pero con esta pequeña muestra podemos darnos cuenta que los sismos son los fenómenos naturales que más causan la muerte de personas; es por ello que esta tesis esta orientada específicamente a buscar materiales en particular aceros de refuerzo que puedan ser aplicados a estructuras de concreto y mitiguen completamente los colapsos en edificios de gran o mediana altura.

# **CAPÍTULO II**

# **“SISMOS Y TIPOS DE**

# **DEFORMACIONES**

# **ESTRUCTURALES”**

## 2.1 DEFINICIÓN DE SISMO.

Un sismo, es el grado de sacudimiento de la corteza terrestre, producto de la liberación de energía interna proveniente del núcleo del planeta, que se manifiesta a través de un movimiento leve o con gran intensidad, desencadenando un impacto social único.

Todo movimiento sísmico, se presenta a través de **ondas**, que viajan por las diversas capas de la corteza terrestre, lo que ocasiona deformaciones y cambios en su estructura.

“Para poder ser medidos suele usarse el término Intensidad, que es una medida subjetiva de los efectos de un sismo y se refiere al grado de sacudimiento en un sitio determinado; para tal efecto existen varias escalas de medición y has sido propuestas en el pasado, destacando la de Mercalli y también una de Rossi y Forel. Entre ellas, la adoptada más ampliamente es la escala de Mercalli Modificada denotada comúnmente MM.”

“Posteriormente se fueron refinando y adoptando escalas más especializadas como lo fue la escala Richter y se calcula a partir de mediciones de amplitudes de onda registradas en sismogramas y se expresa en una escala logarítmica de números arábigos y decimales, que se ha convertido en la escala más convencional para medir la intensidad de los sismos y hasta la fecha una de las más confiables en todo el mundo”<sup>(8)</sup>

## 2.2 ONDAS SÍSMICAS (Origen, comportamiento y consecuencias)

Las ondas sísmicas son aquellas ondulaciones que nacen de un foco sísmico causado por la liberación de energía interna del núcleo del planeta, y debido a que el interior de la tierra contiene un núcleo, manto y corteza con composiciones diferentes, es decir con medios sólidos (rocas), líquidos y gaseosos; las ondas sísmicas tienden a viajar en línea recta y a velocidad constante conforme atraviesan de un medio a otro. Sin embargo éstas ocasionalmente disminuyen o aumentan su velocidad dependiendo la profundidad en que se encuentren dentro de la corteza terrestre.

Como el interior de la tierra no es un medio homogéneo, sólo se pueden propagar dos tipos de ondas: **ondas P (primarias) y ondas S (secundarias o de cuerpo)**<sup>(9)</sup>

Las llamadas ondas P se desplazan por medio de dilataciones y compresiones alternadas en los materiales a través de los cuales pasan. El estado físico de estos materiales puede ser sólido, líquido o gas; sin embargo diferentes medios propagan las ondas P con distintas velocidades. Después de una compresión originada por el paso de una onda P, un medio elástico tal como una roca granítica recobra su volumen original más rápidamente que si fuera un medio inelástico tal como un líquido o un gas. De aquí que las ondas P se aceleran cuando pasan a través de sólidos con mayor rigidez y se desaceleran cuando viajan a través de materiales líquidos o gaseosos.

Las ondas P también se diferencian porque son las únicas que salen fuera de la superficie de la corteza terrestre y son las que afectan directamente a las construcciones y vida diaria de las personas<sup>(10)</sup>

(8). Cita textual “Diseño de Estructuras Resistentes a Sismos” por David.J. Dowrick pp 19

(9). Cuadernos de Geofísica, Instituto de Geografía UNAM, por Luis A. Valdivia UNAM 1990.

(10). Idem

Las llamadas ondas S son aquellas que solo pueden viajar a través de medios sólidos y desaparecen totalmente cuando encuentran un medio líquido o gaseoso en el interior de la tierra, estas se caracterizan porque al salir del foco de sismo, se sumergen dentro de las capas más profundas de la tierra y no tocan la superficie terrestre, sino que regresan al núcleo del planeta en forma de energía no liberada; lo que repercutirá en nuevos movimientos sísmicos en tiempos posteriores.

Las ondas sísmicas P y S nacen de un mismo foco sísmico, donde las ondas P salen fuera de la corteza y las S se sumergen al interior de la misma<sup>(11)</sup>

Por lo tanto las ondas tipo P son las que causarán grandes estragos en las edificaciones, ya que por lo regular tienden a viajar por el subsuelo con una velocidad de 7 a 9 kilómetros x segundo, y ante su inminente velocidad es necesario estudiar su comportamiento, así como los grandes estragos que producen en las estructuras de concreto

## 2.3 ANÁLISIS DE LOS TIPOS DE DEFORMACIONES MÁS COMUNES POR SISMO

Después de haber mencionado los tipos de ondas sísmicas y el comportamiento que tienen durante su desplazamiento bajo la corteza terrestre; cuando salen o emergen a la superficie, pueden ocasionar una devastación instantánea en cualquier país o población, y es algo que no podemos evitar, pero nosotros como ingenieros o arquitectos tenemos el compromiso y responsabilidad de crear proyectos estructurales resistentes a éstos; en primer lugar para salvar la vida de los usuarios y en segundo lugar para dar larga vida a los inmuebles proyectados.

Estudios realizados confirman que los eventos sísmicos se traducen en **empujes o esfuerzos horizontales**, para las estructuras de los edificios, lo que representa una carga temporal inesperada de descontrol a trabes y columnas, lo que ocasionará deformaciones o microdeformaciones internas y externas en dichos elementos estructurales.

Citando las deformaciones estructurales más comunes por sismo en estructuras de concreto armado son las siguientes:

- Efectos por Cortante
- Efectos de Aplastamiento
- Por Desplazamientos Horizontales
- Efectos por Torsión
- Giros de nudos o nodos de trabes y columnas
- Por Rotación- curvatura de columnas
- Efectos por flexión y deflexión crítica en trabes.

(11). Cuadernos de Geofísica, Instituto de Geografía UNAM, por Luis A. Valdivia UNAM 1990.

Cada uno de estos puntos se desarrollaron ampliamente, por lo tanto, se revisaron y analizaron, para poder determinar las causas de los diversos colapsos en estructuras de concreto debido a efectos dinámicos como son los sismos.

En este segundo capítulo se citaron las deformaciones más comunes que sufren las estructuras de concreto armado después de un evento sísmico y por lo tanto es de suma importancia conocer o **diagnosticar** primeramente cuales son los efectos por deformación en este tipo de estructuras, y así posteriormente determinar las características químicas y morfológicas del “Acero Electrostático” que sirva como **antídoto** contra todos estos efectos y pueda mitigarlos en el momento en que pueda presentarse cualquier evento sísmico, es importante conocer este tipo de deformaciones porque, antes de proponer materiales o soluciones, es necesario conocer como se afectan, donde, porqué y como; y así al tener dichos diagnósticos, la colocación del acero en el diseño de las estructuras influirá de manera benéfica.

### 2.3.1 EFECTOS POR CORTANTE

El primer efecto que genera deformaciones estructurales en el concreto, es el cortante o corte en trabes y columnas durante la aparición de un movimiento sísmico.

Podemos definir al esfuerzo cortante como la acción de dos fuerzas iguales y de sentido contrario que actúan en un brazo de palanca mínimo sobre una superficie, que es producido por la inestabilidad estructural, cuando actúan las fuerzas horizontales provocadas por las ondas sísmicas.

Si analizamos el esfuerzo cortante, las fuerzas horizontales por sismo generan una acción contra la estructura y de manera recíproca la estructura tratará de resistir dicha carga con una reacción igual y de sentido contrario; y así cuando estas dos fuerzas se vuelven intolerantes en magnitud a la estructura, se genera una falla por tensión diagonal en los nudos de unión trabe – columna, que son las que comúnmente observamos y que toman un ángulo aproximado entre 30 y 45° con respecto al eje vertical Y, manifestándose principalmente en los extremos de las trabes los cortes o cortantes como se puede apreciar en la figura 3 (Caso ocurrido en la colonia Nonoalco – Tlatelolco)



Figura 3: Falla por esfuerzo cortante, con grietas de 30 a 45°  
(Imagen tomada de la ponencia “Experiencias adquiridas en el Diseño de Estructuras en Zona Sísmica” por M.I Enrique del Valle Calderón e Ing. Francisco García Jarque, XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural 2004)



Cabe señalar que ante la presencia de un sismo, el esfuerzo cortante no avisa, es inmediato, ya que la presencia de las fuerzas de acción (esfuerzos negativos u horizontales por sismo) y las de reacción (por parte de la estructura) se manifiestan una detrás de otra de forma muy rápida y si el esfuerzo de ambas es intolerante, resultarán las fisuras o agrietamientos como se muestran.

En este caso los esfuerzos directos de ambas fuerzas tienden a causar que las fibras del material, en este caso del concreto, alteren su longitud y grosor. Los esfuerzos cortantes ocurren cuando las dos fuerzas provocan que las fibras del concreto se deslicen con relación a estas mismas, por tensión diagonal, generando las fisuras.

Por tal motivo, es indispensable saber **armar correctamente las uniones o nodos de intersección entre trabes y columnas**, para evitar así los esfuerzos por cortante, que ante un sismo se vuelven sumamente peligrosos.

En este caso es necesario analizar que los nudos de intersección deben diseñarse con especial cuidado, principalmente en todas aquellas estructuras o inmuebles que se encuentren en zonas de alta o mediana sismicidad.

Ante este primer caso se pudo diagnosticar que las uniones entre trabes y columnas son muy delicadas ante esfuerzos por sismo, ya que pueden fallar rápidamente por cortante y por tal motivo deben diseñarse y optimizarse en cuanto a dimensión, forma y cantidad de armado de refuerzo, y así podemos dejar abierto el factor de que las uniones entre trabes y columnas **deben contener un armado de refuerzo altamente confinado**, para resistir los efectos por sismo.

### 2.3.2 EFECTOS POR APLASTAMIENTO

El efecto por aplastamiento, es aquel que se genera en trabes y columnas, producto de la aparición de fuerzas horizontales producidas por sismo; el aplastamiento en estructuras, se define como el acortamiento longitudinal o transversal de una sección al recibir un esfuerzo de compresión de forma inmediata.

Al producirse la compresión en las secciones, simultáneamente ocurrirá el acortamiento longitudinal y ocurrirá la expansión transversal.

Cuando llega a ocurrir la expansión transversal, se corre el peligro que pueda reventar los anillos o estribos que circundan al armado de varillas, afectando directamente al concreto confinado que contienen éstos, resintiendo considerablemente la resistencia de las estructuras.

Cuando surgen las fuerzas horizontales por sismo, generan compresiones en los nodos de unión en trabes y columnas, deformando el estado original de estas y por tanto debilitan los anclajes y uniones, provocando el colapso total de todo el sistema.

El aplastamiento en sí, genera deformaciones internas y externas dentro del concreto de las estructuras, alterando el acomodo de sus partículas internas, de forma que las fuerzas externas las aplastan unas con otras, hasta llegar al roce o fricción intolerante entre las mismas, generando la expansión del concreto del interior de la sección hacia el exterior, provocando la ruptura completa de trabes y columnas.

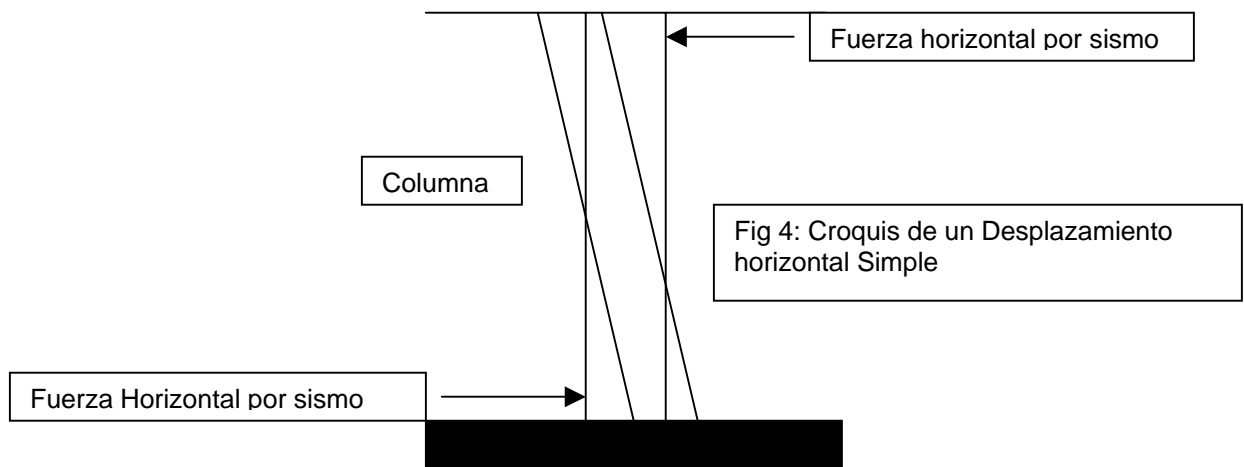
Por lo tanto para evitar dicho efecto, es necesario reforzar y confinar el sistema de anillos que envuelven al armado de forma más rígida en los extremos y uniforme a lo largo de la sección, además el refuerzo mínimo en cualquier estructura de concreto no deberá ser menor que de 1/2" en el armado principal y no menor de 3/8" en confinamiento de anillos o estribos, ya que si usamos anillos de alambre liso menor al calibre señalado, el efecto por aplastamiento se incrementará en caso de algún sismo que pueda presentarse.

### 2.3.3 DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES

Los desplazamientos horizontales en estructuras, específicamente en columnas de concreto, son originadas por el esfuerzo límite de las fuerzas horizontales que trae consigo el movimiento sísmico; es decir cambia la posición original de las estructuras, rompiendo con su estado ortogonal, abriendo un ángulo mayor de 90° sobre el eje horizontal X, como se observa en la figuras 4 y 5<sup>(12)</sup>

Los desplazamientos horizontales se presentan principalmente cuando los nodos o nudos de unión entre traveses y columnas, reciben esfuerzos máximos que los hacen girar sobre su propio eje, al grado de deformarlos y así desequilibrar completamente los sistemas estructurales; en este caso los desplazamientos horizontales, afectan en particular a los extremos de unión de traveses y columnas; y a las bases de las columnas; por lo cual es recomendable, que en caso de un sismo, tanto traveses y columnas tengan un comportamiento similar al de las ondas sísmicas; es decir que funcionen en doble curvatura para alternar los rangos de elasticidad y de plasticidad en el concreto, además de que propicien la flexión y eviten a toda costa el corte o cortante<sup>(13)</sup>

Cabe señalar que la estabilidad de una estructura, reside en mantener o equilibrar los ángulos con la que originalmente fue calculada y diseñada, tratando de que ante cualquier siniestro por sismo, mantenga o aproxime sus ángulos por diseño, y si no es así, se tendrá la posibilidad de analizar que los esfuerzos horizontales no hayan sido tan graves.



(12). Croxton, Martin, Mills, Resistencia de Materiales, Curso Programado, Editorial Concepto.

(13). Idem

Con la presencia de los desplazamientos horizontales, incluye las posibilidades de deformación de los cimientos y la fluencia de las conexiones de anclaje de nudos y bases y por tanto no sólo se afectará la estructura, sino de igual forma la cimentación. Y con todo esto, es necesario tomar en cuenta los efectos cortantes, aplastamiento y desplazamientos horizontales en estructuras ya que para efectos de sismo son de gran importancia para el diseño de estructuras más resistentes a estos eventos. La figura 5 muestra lo ocurrido en las calles de Chimalpopoca colonia Tránsito, cercano al Centro Histórico



Figura 5: Ejemplo de Desplazamiento Horizontal por sismo <sup>(14)</sup>

### 2.3.4 EFECTOS POR TORSIÓN

La torsión surge cuando un elemento estructural se expone por efectos de cortante a una rotación en sus extremos, en un extremo gira hacia un sentido y en el otro gira con un sentido distinto; produciendo un aplastamiento interno de partículas en el centro del elemento.

Por lo regular, la torsión hace su aparición inmediata, ante la presencia de fuerzas horizontales por sismo, afectando las bases de columnas y sus uniones con las trabes; la torsión simplemente consiste en el giro de los extremos de una estructura alrededor de su eje central, en un extremo gira hacia un lado y en el otro gira en sentido contrario al anterior.

Como la torsión supone la rotación de las secciones rectas alrededor de su eje longitudinal, esta desencadena la aparición de un ángulo de rotación, efecto del movimiento por torsión, que se mide con respecto al estado original de la estructura y a la posición posterior después de un evento sísmico.

(14). (Imagen tomada de la ponencia "Experiencias adquiridas en el Diseño de Estructuras en Zona Sísmica" por M.I Enrique del Valle Calderón e Ing. Francisco García Jarque, XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural 2004)

La torsión después de un evento sísmico genera los siguientes aspectos:

- Ángulos adyacentes de rotación en los extremos de las secciones
- Deformación interna de partículas en el concreto, con mayor gravedad en el centro de la sección y de menor importancia en los extremos
- El diámetro y la longitud de las secciones después de la torsión se conservarán rectos y de la misma magnitud, sólo afectará el estado original de posición de las partículas del concreto provocando microdeformaciones.
- Los giros respectivos en los extremos de trabes y columnas, generarán a lo largo de éstas pequeños cortantes concéntricos que se convierten en espirales provocando así la ruptura inmediata de las secciones
- La torsión producirá esfuerzos cortantes en los planos X – Y (peralte – base) de las secciones, incrementando las posibilidades de colapso.
- El esfuerzo cortante, que afecta a la base de las secciones, distribuirá uniformemente los esfuerzos en coronas concéntricas sobre el eje longitudinal.
- El eje longitudinal de la sección debe considerarse como eje neutro, ya que será el encargado de soportar las deformaciones y los esfuerzos por cortante <sup>(15)</sup>

Ante todos estos aspectos, es primordial tener en cuenta los efectos por torsión ante un sismo para evitar los colapsos en cualquier estructura.

Un ejemplo real sobre la torsión la podemos notar en la imagen de la figura 6 (Av. Doctor Río de la Loza, Delegación Cuahtemoc) donde, un edificio se desploma por la acción de torsiones múltiples en trabes y columnas, desistiendo de un acoplamiento torsional en todo su sistema estructural.



Figura 6: Colapso por torsiones de trabes y columnas en los pisos superiores de un edificio <sup>(16)</sup>

(15). Eugenio Peschard, *RESISTENCIA DE MATERIALES, VOLUMEN I, Textos Universitarios, UNAM, Quinta Edición 1992.*

(16). Imagen tomada de la ponencia "Experiencias adquiridas en el Diseño de Estructuras en Zona Sísmica" por M.I Enrique del Valle Calderón e Ing. Francisco García Jarque, XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural 2004)

### 2.3.5 GIROS DE NODOS O NUDOS DE UNIÓN (TRABE – COLUMNA)

Este punto se relaciona directamente con el aspecto de la torsión, pero específicamente en los nudos de unión de trabes y columnas; de igual forma cuando se presentan los esfuerzos por cargas horizontales, los nudos de intersección responderán con un esfuerzo igual y de sentido contrario, para rigidizar el sistema estructural; cuando el esfuerzo horizontal es intolerante al nudo, se generará un esfuerzo cortante por la acción de dos fuerzas a tensión diagonal que seccionan o parten en dos al nudo.

Como una fuerza horizontal por sismo, genera esfuerzos excéntricos a los ejes centroidales de estos nudos de unión; provocará un desplazamiento y por lo tanto un giro de los mismos, desequilibrando su estabilidad; además que al provocar dicho giro, las cargas axiales gravitacionales que pudiera sostener como carga muerta del inmueble, se convertirán en excéntricas, provocando la torsión, cortantes intolerantes y aplastamiento de todo el sistema.

En conclusión **los giros o rotaciones de nudos de unión, se generan por la excentricidad de esfuerzos producidos por las fuerzas horizontales por sismo**, y que se encargarán de convertir a las cargas axiales del inmueble en cargas excéntricas por el efecto de giro y deformación de los nudos que las soportan.

Cuando los nudos de unión giran y se desequilibran por efectos de esfuerzos excéntricos horizontales, generarán una torsión interna en el centro de los mismos, es por ello que el armado y el anclaje entre nudos sea completamente adecuada y bien confinada, para evitar giros, cortantes y aplastamiento interno.

Cabe señalar que gran parte de los desplomes en edificios es por efecto de rotación o giro de nudos y por la torsión en la longitud de las trabes y columnas, aunando posteriormente los efectos descritos como son los efectos por cortante, aplastamiento y desplazamientos horizontales.

Es necesario mencionar que en el momento en que se presenta un sismo, **se combinan al mismo tiempo todos estos efectos**; (como se muestra en la figura 7, caso sucedido en la colonia Nonoalco – Tlatelolco) por lo tanto no es suficiente calcular los efectos por sismos, solamente con una fuerza horizontal que se incrementa como carga al sistema estructural, sino que deben de analizarse muchos otros factores como son los tipos de deformaciones que pueden sufrir durante y después de un sismo; para confrontar la realidad y mejorar los tipos de armados y amarres de refuerzo que llevarán las estructuras.

En definitiva los giros de uniones o nudos de trabes y columnas van en función directa de la TORSIÓN, cuando una columna o trabe genera torsión, los nudos siempre girarán en sentido contrario a las bases, estrangulando a las secciones en su parte intermedia, muchas veces cuando las fuerzas horizontales por sismo giran los nudos torsionan en su totalidad a las trabes y columnas, por lo tanto es necesario recordar que el diseño de armado en estas uniones así como en los pilares de base en columna deben diseñarse adecuadamente con estribos muy confinados, generando un emparrillado que solifique a la estructura en estos puntos más críticos.



Figura 7: Giro en el nodo izquierdo de una estructura entre la columna y la trabe <sup>(17)</sup>

### 2.3.6 ROTACIÓN Y CURVATURA EN COLUMNAS.

Como el término indica la rotación es el giro del elemento estructural, sobre su propio eje; principalmente por dos aspectos como son la torsión y el desacomodo de cargas axiales, convirtiéndose en excéntricas.

Cuando se presentan los esfuerzos por cargas horizontales producidas por sismo, las cargas del edificio en el caso de trabes, losas y columnas, se desequilibran y generan un desacomodo conforme a los ejes originales con que fueron diseñadas y proyectadas; por diseño estructural, las cargas muertas de cualquier inmueble deben procurarse **axiales** a un mismo eje estructural desde el primer nivel hasta el último, variando en su caso las dimensiones de las secciones según los niveles del edificio.

Cuando entran en contacto los esfuerzos horizontales por sismo con las estructuras, generan un empuje máximo en ambos extremos de las columnas y por lo tanto las cargas axiales, se convierten en excéntricas por desequilibrio estático, ocasionando la torsión, rotación y flexión de columnas.

Cuando las cargas axiales se convierten en excéntricas, giran complemente los nodos de unión y por lo tanto giran sobre su propio eje a la parte superior de las columnas; desestabilizando a todo el sistema.

En este momento cuando sucede el sismo, las columnas de un inmueble no sólo soportan las cargas vivas y muertas por gravedad, sino también deben resistir los esfuerzos horizontales por sismo y las cargas excéntricas que se generan; por lo tanto si estas cargas llegan a ser intolerantes, vendrá de forma inmediata la rotación y curvatura hacia el exterior de las columnas; por lo tanto es recomendable, diseñar de manera integral los armados longitudinales en columnas, reforzando sobre todo las bases y los nodos de las mismas.

(17). Imagen tomada de la ponencia "Experiencias adquiridas en el Diseño de Estructuras en Zona Sísmica" por M.I Enrique del Valle Calderón e Ing. Francisco García Jarque, XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural 2004)

### 2.3.7 FLEXIÓN Y DEFLEXIÓN EN TRABES

Estos dos aspectos son muy comunes en elementos estructurales horizontales como son las trabes, sobre todo cuando se presentan los sismos; en este caso la flexión se puede definir como el desplazamiento lineal que sufre un elemento horizontal hacia el centro de la tierra, representando una curvatura débil o pronunciada en el sentido longitudinal, denominada como Pandeo.

La Flexión en trabes, se produce principalmente por el aumento de peso en losas cuando se pandean o flexionan por efectos sísmicos, es decir aumentan la compresión, fatigando en forma inmediata a las trabes que las soportan.

Y en función de la Deflexión, sucede completamente lo contrario y se define como el desplazamiento lineal que sufre un elemento horizontal fuera del centro de la tierra, es decir hacia arriba y por lo tanto se producirá una curvatura débil o pronunciada en el sentido longitudinal, conocida comúnmente como **flecha**.

La deflexión en trabes es originada cuando los nodos o nudos de intersección con las columnas, tienden a juntarse por los desacoplamientos torsionales y la falta de sincronía dinámica general, por lo tanto las distancias entre columnas se reducen y las trabes giran, se tuercen y finalmente se flexionan, ocasionando la ruptura o colapso de entrepisos, como se muestra en la figura 8, caso sucedido en la calle de Chimalpopoca, colonia Tránsito.



Figura 8: Colapsos de estructuras por flexiones y deflexiones intolerantes <sup>(18)</sup>

La diferencia entre una flexión y una deflexión es la siguiente:

La Flexión, puede presentarse en trabes, losas o columnas y se diferencia porque se genera un pandeo en el sentido negativo, es decir hacia el centro de la tierra, como se aprecia en la figura:

(18). Imagen tomada de la ponencia "Experiencias adquiridas en el Diseño de Estructuras en Zona Sísmica" por M.I Enrique del Valle Calderón e Ing. Francisco García Jarque, XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural 2004)



Figura 9: Tipo de Flexión en travesaños o losas



Figura 10: Tipo de Flexión en columna

La Deflexión, se presenta de igual manera en travesaños, losas y columnas y se genera una curvatura longitudinal en las mismas pero en sentido positivo o fuera del centro de la tierra, es decir se genera una flecha, desequilibrando el sistema estructural, como se muestra en la figura 11 y 12.



Figura 11: Deflexión en losas y travesaños



Figura 12: Deflexión en columna

## 2.4 CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

Después de haber analizado paso a paso cada uno de los efectos que causan deformaciones en estructuras de concreto, puedo mencionar que cada uno de éstos son de gran importancia, principalmente porque interactúan **todos al mismo tiempo** cuando se presenta un sismo, afectando a las estructuras de distintas maneras, pero comúnmente afectan los puntos más débiles de las mismas como:

- En primer lugar dañan los nodos o nudos de unión entre las travesaños y columnas.
- En Segundo lugar dañan las bases de las columnas.
- Y por último dañan las partes del centro, provocando las llamadas torsiones.

Como conclusión puedo determinar que las estructuras de concreto en caso de un fuerte sismo, siempre presentarán daños en sus extremos tanto en bases de columnas como en uniones; resultado del análisis del primer capítulo; y es así que al detectar los lugares o sitios donde son más débiles, es precisamente en estos puntos donde el Acero electrostático debe actuar, para evitar a toda costa dichas deformaciones.



Por lo tanto que nos deja el estudio de este primer capítulo: Que en el momento en que se diseñan las secciones de trabes y columnas, debe de analizarse el tipo de armado y su configuración particular, específicamente en **uniones y bases de la estructura**, que son los puntos torales que se deben proteger, porque son los primeros que son atacados por las fuerzas horizontales del sismo, para derribar inmuebles completamente.

Es por ello que con la propuesta del Acero Electrostático, se tendrán que eliminar a lo máximo todos estos efectos por cortante, aplastamiento, desplazamientos horizontales, torsión, giros de uniones, rotaciones, flexiones y deflexiones, todas tendrán que ser nulas ya que la composición química y mecánica de dicho acero, serán las encargadas de evitar todo esto, que ocurre en las estructuras de concreto armadas con varillas de refuerzo común; cabe destacar que la propuesta dentro de este trabajo de tesis, incide en que cada metal que compondrá a este acero electrostático, tienen funciones específicas para mitigar estas deformaciones; pero dichas funciones serán expuestas en el capítulo IV de este trabajo.

Después de observar las imágenes que se mostraron en este capítulo, los efectos por deformación, son implacables e intolerantes ya que se presentan de manera inmediata y muchas veces al mismo tiempo, por lo tanto las estructuras muchas veces no resisten tantos esfuerzos, que precisamente al llegar a su estado límite de falla, se colapsan y caen, provocando grandes pérdidas materiales y humanas.

Con toda esta información, se tiene identificada la problemática a resolver, que en este caso es evitar todas estas deformaciones que se presentan en estructuras de concreto después de un sismo, y así teniendo presente dichas deformaciones, me daré a la tarea de investigar que hay actualmente en el ámbito de la ingeniería estructural, sobre materiales sismorresistentes que puedan evitar éstas deformaciones, principalmente para analizar que es lo que existe y como lo podría aplicar a esta investigación.

Dichas investigaciones las abordaré en el siguiente capítulo, y de ese análisis tomaré en cuenta algunas ventajas que puedan ser aplicadas a este tema de estudio.

**CAPÍTULO III  
“ANÁLISIS DE  
NUEVAS  
ALTERNATIVAS DE  
REFUERZO  
ESTRUCTURAL EN EL  
CONCRETO  
ARMADO”**

Después de haber mencionado y analizado los tipos de deformaciones que ocurren en estructuras de concreto armado durante y después de un evento sísmico, es necesario citar las diversas alternativas que se han propuesto en el campo de la ingeniería estructural hasta nuestros días, para evitar en lo posible el colapso por sismo de dichas estructuras; para este fin me di a la tarea de investigar nuevas propuestas estructurales similares al tema de investigación y así analizar si dichas propuestas son viables a nivel general o sólo contemplan algunos factores que pueden evitar las deformaciones por sismo sólo en algunos casos.

### 3.1 DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO EN ZONAS SÍSMICAS

Amador Terán Gilmore <sup>(19)</sup> en su conferencia “Diseño de Estructuras de Concreto Armado en zonas sísmicas” menciona que actualmente la investigación estructural sobre elementos de concreto reforzado apunta hacia los diseños denominados **sismo-resistentes**, ya que en México, gran parte de los estados de la república se ubican dentro de los cinturones o zonas sísmicas más peligrosas <sup>(1N)</sup>

Cabe señalar que en el planeta, se presentan dos tipos de sismo, que son por oscilación o trepidación; y sea cual sea, las estructuras deben resistir dichos eventos actuando de la siguiente manera:

- En el momento del sismo la estructura debe fomentar siempre la **flexión** para así soportar las cargas laterales que recibe en esos segundos
- Controlar el corte o **cortante** en trabes y columnas que se pueden producir por entrepisos superiores o por las cargas laterales que se producen en ese momento
- Diseñar trabes y columnas con una flexión máxima al colapso y así no existirá la torsión en los elementos
- Detallar adecuadamente los armados en trabes y columnas con anillos o estribos de forma longitudinal y transversal para confinar mejor el concreto y evitar el aplastamiento por cargas máxima <sup>(20)</sup>

Tomando en cuenta estos cuatro puntos se ganará rigidez ante sismo en trabes y columnas. Si los elementos sólo se refuerzan con varillas y anillos de forma convencional se perderá rigidez, disminuye su esfuerzo a flexión y el concreto se desconcha perdiendo su capacidad de resistencia, generando así las grietas que después lo llevarán al colapso.

La flexión es el mecanismo crucial para resistir sismos, y con un buen detallado de armado las secciones siempre soportarán los sismos a través de este esfuerzo. <sup>(21)</sup>

(19). Autor de la Investigación: Doctor en Ingeniería Amador Terán Gilmore  
Institución: Facultad de Ingeniería de la UNAM

Fuente: XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural 2004.

(20) Fuente: CD XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Aplicaciones a la Práctica Profesional, Conferencia Diseño de Estructuras de Concreto Armado en Zonas Sísmicas por DI Amador Terán Gilmore

(21) David, J Dowrick, DISEÑO DE ESTRUCTURAS RESISTENTE A SISMOS, Editorial Limusa, Tercera Edición año 2000

En cuestión de traveses armados además de trabajar siempre a flexión en caso de sismo, también deben retardar el aplastamiento, por su forma de armado; en este caso cabe señalar que las traveses contienen dos puntales uno superior que trabaja a compresión y otro inferior que trabaja a tensión; en el puntal superior por lo regular se lleva menor cantidad de armado que se denomina por temperatura, pero eso es un error muy grande ya que en caso de sismo esta parte superior recibe los esfuerzos por aplastamiento que le generan las fuerzas laterales por sismo, y por su armado tan escaso no podrá retardarlo; por lo que la trabe en estado de reposo tendrá buena capacidad de carga para soportar su peso de forma gravitacional, pero en caso de sismo será un fracaso como estructura.

Por lo cual es necesario considerar de un total de 100% de armado en traveses; un **60%** para el puntal que trabaja a tensión y otro **40%** para el puntal a compresión.

“También en el caso de vigas deben diseñarse lo más esbeltas posibles ya que si son demasiado peraltadas, en el momento del sismo generaran cortantes muy fuertes en las uniones de las columnas, generando el colapso total de la estructura” <sup>(22)</sup>

Finalmente se citan ciertos factores a considerar en el diseño de traveses y columnas de concreto armado para zona sísmica:

Para Columnas <sup>(23)</sup>:

- No deben ser diseñadas para soportar mucha carga axial
- Balance adecuado entre acero positivo y negativo
- Controlar los efectos por cortante ( procurar que sean esbeltas)
- Uso suficiente de estribos para confinar mejor el concreto
- De forma sencilla de preferencia rectangular
- Regular en altura ( De 3 a 6 m)
- Comportamiento plástico estable a través de flexión
- Simétrica en planta ( relación 1:2)
- Redundante
- Aumentar los esfuerzos a flexión en la base de las mismas
- Identificar los nodos o nudos de comportamiento y falla que se encuentran en la base de la columna y en la unión con las vigas
- Eliminar los esfuerzos cortantes a toda costa en los nudos mencionados
- No permitir la ruptura por volteo en la base de la columna, ni en la cimentación donde descarga el peso
- No exceder tensiones en la base de la columna
- En el momento de un sismo la estructura debe deformarse con doble curvatura y generar un cabeceo en su unión con la trabe, para contrarrestar la carga lateral que produce el sismo
- **Diseñar la base y la unión superior con la trabe, por cortante máximo** ya que son las partes que evitarán el colapso de toda la estructura.

*(22). Teorías específicas del Dr. Amador Terán Gilmore*

*(23). Especificaciones y Detallado en el Diseño Estructural de Columnas de Concreto en Zona Sísmica por Dr. Amador Terán Gilmore, realizado en Laboratorio Experimental de Estructuras UAM.*

Para Trabes o vigas <sup>(24)</sup> :

- Forma rectangular de preferencia
- 60% de armado en la parte inferior
- 40% de armado en la parte superior (unión con la losa)
- No exceder claros mayores a 10 metros entre columna y columna
- Debe trabajar ampliamente a flexión y evitar la torsión
- En caso de sismo debe deformarse con doble curvatura para reaccionar a favor de la carga horizontal
- Debe diseñarse para soportar el aplastamiento máximo por losa o entrepisos
- Los anclajes con las columnas deben reforzarse con diagonales a 45° para evitar cortantes máximos
- Distribuir adecuadamente los armados de estribos en forma longitudinal

CABE SEÑALAR QUE EN EL DISEÑO SISMO-RESISTENTE PARA ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO, SE FOMENTA LA TEORÍA “TRABE DEBIL – COLUMNA FUERTE” COMO RESULTADO PARA RESISTIR SISMOS DE BAJA Y ALTA INTENSIDAD.

#### TIPOS DE REFUERZO PARA ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES<sup>(2N)</sup>

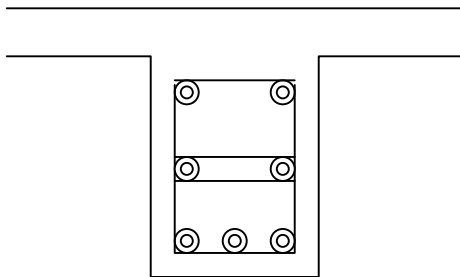


Figura 13

Corte Transversal en Trabe de Concreto

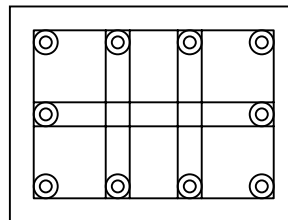


Figura 14

Corte Transversal en Columna de Concreto

Finalmente como debemos diseñar las estructuras en una memoria de cálculo:

1. Diseño por flexión de vigas o trabes
  2. Diseño por cortante de vigas o trabes
  3. Diseño por flexión de columnas
  4. Diseño por cortante de columnas
  5. Diseño por cortante de nudos ( base de la columna y unión con la trabe)
  6. Ante reglamento elegir el coeficiente que las deformará en caso de sismo en curvatura doble y no en una sola curvatura
- Detallado de armados longitudinales y transversales en trabes y columnas.

Para este efecto puedo concluir que ciertos parámetros de diseño pueden cuidarse perfectamente con el uso del acero electrostático.

(24). *Especificaciones y Detallado en el Diseño Estructural de Columnas de Concreto en Zona Sísmica* por Dr. Amador Terán Gilmore, realizado en Laboratorio Experimental de Estructuras UAM.

## 3.2 EL USO DE LA FIBRA DE VIDRIO SENSORIAL CON POLÍMEROS

D.I Aftab Mufti <sup>(25)</sup> en su conferencia “El uso de la fibra de vidrio sensorial con polímeros” menciona que en ciertos países como Canadá y Japón se están llevando a cabo investigaciones sobre estructuras de concreto pero de manera impresionante; cabe señalar que en estos países se ha desechado completamente la utilización del concreto reforzado con varilla común y se han introducido los polímeros de sensores con fibras de vidrio para crear “estructuras inteligentes”.

Precisamente en Canadá se han fabricado diversos refuerzos de este material entre los que se encuentran <sup>(3N)</sup>

- Fibras muy finas de fibra de vidrio tensadas de manera óptica que funcionan sustituyendo a los refuerzos de varillas convencionales
- Polímeros de fibras de carbón para revestir las fibras de vidrio tensadas
- Tendones de fibra de vidrio (columpios armados)
- Estribos ( anillos de fibra de vidrio)
- Laminas y barras de fibra de vidrio

Todos estos materiales son de peso ligero y de alta resistencia a la humedad y escarcha así como a los cambios bruscos de temperatura.

Se dice que la fibra de vidrio tiene un buen comportamiento dentro del concreto y reforzada con los polímeros, su desempeño es excelente lo que hace más resistente al concreto; el único defecto es que estas estructuras no son muy dúctiles, y su rigidez es muy grande, ya que pueden soportar temperaturas menores a -30°C.



Fig. 15: Puente Vehicular en Toronto Canadá con Fibra de Vidrio sensorial por A. A. Mufti

(25). Autor de la Investigación: D.I Aftab Mufti, Institución: Universidad de Toronto, Fuente: XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural 2004

La mayor parte de estas estructuras se han utilizado en puentes peatonales, vehiculares y ferroviarios que durante la mayor parte del día reciben cargas dinámicas de manera constante y no son diseñadas por flexión sino por golpeo o (punch), lo que beneficia que se use poco refuerzo de fibra de vidrio sensorial como muestra la figura anterior (Fig 15) donde se construye un puente vehicular en los límites de la Ciudad de Toronto en Canadá.

En estas latitudes tan altas cercanas a los círculos polares no se puede usar acero de refuerzo común ya que se corroe con las bajas temperaturas que reinan en casi todo el país, es por esa razón que no suelen usarse en estos países<sup>(26)</sup>

Además existen puentes vehiculares sin refuerzo, incluso sólo están sujetos por fibras de polímeros de carbón óptico sensorial, que sirven para soportar cargas dinámicas menores, es decir para vehículos no tan pesados<sup>(27)</sup>

En este caso el acero de refuerzo no es el material adecuado para aplicarlo al concreto, ya que produce flexiones máximas, lo que puede generar el colapso total de las estructuras.

En función del costo, según fuentes del Dr. Mufti, asciende entre un 10 y 15 por ciento, considerando la industrialización de la fibra de vidrio y de los polímeros que la componen.

Ahora mostrando pruebas ante laboratorio el concreto con fibras de vidrio sensoriales produce agrietamientos máximos en el concreto de 1.4 mm o menores a éste; en cambio con el concreto reforzado existen grietas de más de 3 mm, lo que significa que tiene menor resistencia al aplastamiento.

Se realizaron pruebas por aplastamiento o golpe en vigas coladas con los diversos sistemas constructivos y fallaron de la siguiente forma:

- Viga de concreto con acero de refuerzo común-----Falló a 23 golpes constantes con un peso de 60 toneladas
- Viga de concreto reforzada con polímeros de carbón sensorial-----Falló a 2000 golpes constantes con un peso de 60 toneladas
- Viga de concreto reforzada con fibra de vidrio sensorial y polímeros-----Falló a 420,000 golpes constantes con un peso de 60 toneladas.

Como se puede apreciar la fibra de vidrio soportó por mucho el aplastamiento que los refuerzos que conocemos en México. El concepto de una estructura libre de acero, es sinónimo de una estructura con alto grado de tecnología.

(26). Cita comentada por Dr. Aftab Mufti en su conferencia magistral Nuevos Aceros de Refuerzo Estructural 2004

(27). Idem

La fibra de vidrio también se ha producido de otras formas y se ha establecido la opción de reforzar con ésta, las estructuras que hayan sido dañadas por sismos o vientos; por lo cual se creó una lámina plástica con espesor de 3 a 5 mm y peso de 60 grs; con los mismos materiales para forrar estructuras en mal estado y así poder recuperar su resistencia perdida; el procedimiento es muy fácil, primeramente se limpia la superficie de toda la columna, luego se coloca un pegamento con grumos de carbono (2cms de espesor), luego se forra la columna con la lámina plástica denominada FRP ( Polímero reforzado con fibras de vidrio) y finalmente esta se recubre con cemento expansivo como acabado final (5 cms de espesor); de esta manera se recuperan elementos estructurales y se evitará desplazarlos o tirarlos por otros nuevos<sup>(28)</sup>

Durante 10 años se han llevado a cabo estas investigaciones y las estructuras edificadas con este sistema no han presentado ningún daño hasta estos últimos meses, por lo que se recomienda su uso no solo en países con cambios bruscos de temperatura, sino también en aquellos que se ubican cerca de los trópicos o cercanos al Ecuador<sup>(29)</sup>

**Conclusiones:** Desde mi punto de vista la fibra de vidrio y los polímeros sensoriales deben usarse principalmente en obras de infraestructura civil, específicamente en todos aquellos países que se encuentran en **latitudes geográficas muy altas**, donde las temperaturas suelen ser extremas; además los componentes de fibra de vidrio son adecuados para soportar principalmente **cargas dinámicas constantes**, es por ello que se puede emplear en puentes vehiculares, edificios de tipo industrial con cargas rodantes constantes, puentes ferroviarios de gran afluencia, etcétera; ya que sin estas dos condiciones la fibra de vidrio no funciona; es decir que en el caso de México por su latitud geográfica que se ubica con climas relativamente templados (considerando la zona del cinturón sísmico) y en edificios de poca carga dinámica como son edificios de oficinas, apartamentos, escuelas, cines u hospitales; en donde la única carga dinámica son el vaivén de las personas o muebles, no sería óptima su utilización.

La composición de estas fibras son completamente elásticas y dicha elasticidad requiere de un constante movimiento que las haga funcionar y utilizar lo suficiente; sin embargo si estas se utilizan en espacios arquitectónicos libres de cargas dinámicas pesadas, estas fibras no funcionarán adecuadamente y no servirán para resistir mejor los efectos por sismo en los diversos inmuebles<sup>(30)</sup>

En este caso podemos aclarar que el uso de las estructuras en arquitectura, **influirá tajantemente la latitud geográfica del lugar**, es decir los patrones dinámicos que reinen en algún lugar o contexto, definirán la geometría y el material de las estructuras de los inmuebles.

(28). CD, XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Conferencia Magistral Aftab Mufti, 2004 "Nuevos Aceros de Refuerzo estructural"

(29). Cita comentada por Dr. Aftab Mufti en su conferencia magistral Nuevos Aceros de Refuerzo Estructural 2004.

(30). Cita comentada por Dr. Humberto Acedo Espinoza, en el Seminario "Adecuación Geométrica Estructural" UNAM 2005.



Continuando describiendo otros sistemas estructurales novedosos dentro de la ingeniería estructural encontramos:

### 3.3 LA FIBRA DE CARBONO EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO

D.I Roberto C. D. <sup>(31)</sup> en su conferencia “La fibra de Carbono en estructuras de concreto” menciona que en América del sur y específicamente en Brasil, se han implementado nuevos sistemas de refuerzo para estructuras de concreto armado y de acero; este sistema es denominado MBrace<sup>TM</sup> que es un compuesto estructural a base de fibras de carbono, es decir se trata de una matriz polimérica con fibras muy finas de carbono, que al contacto con el concreto absorbe los esfuerzos, ayudando a transferir los esfuerzos máximos hacia las fibras para disiparlas después en forma de energía.

La fabricación de este sistema surge de la fundición del hierro y ya fundido se aísla el carbono en forma espesa; posteriormente se le agregan aditivos plásticos y se vuelve a fundir a una temperatura de 1500°C, al final el producto es vaciado en moldes con forma de fibras muy alargadas y se deja secar por un día, para así finalmente obtener el sistema MBrace<sup>TM</sup> <sup>(32)</sup>

Cada fibra tiene un peso de 300 g/m<sup>2</sup>, espesor de 0.165 mm, resistencia a tracción o tensión de 37, 900 Kg/ cm<sup>2</sup>, Modulo de elasticidad de 2,280, 000 Kg/cm<sup>2</sup>, Densidad 1.82 g/cm<sup>2</sup>, Elongación máxima 1.7%. <sup>(33)</sup>

Todo el sistema se fabrica en rollos de tejido de carbono con dimensiones de 60 centímetros de ancho X varios metros de largo según la medida que pida el cliente.

#### Reforzamiento externo en losas de concreto:

En el caso de losas de azotea agrietadas o con fisuras, se coloca el sistema de la siguiente forma:

- Debe limpiarse la superficie dañada con agua a presión, lijadora, arena o granaria metálica para destapar la superficie porosa del concreto y dejar al aire libre todos los poros.
- Sobre los poros abiertos se aplica una capa de substrato de cemento (3 a 5 cm) que tendrá la función de hacer más monolítica la losa
- Después se coloca una capa de primario ( pegamento especial para resinas)
- Luego se coloca una pasta de relleno amarilla para nivelar la pendiente de la azotea
- Sobre la pendiente nivelada se coloca una primer capa de resina
- Y sobre la resina se pega el sistema MBrace<sup>TM</sup>
- Finalmente se pega una segunda capa de resina y luego se agrega una capa protectora de cemento – arena de 5 cms de espesor.

Y así el sistema de losa de azotea funcionará igual como si estuviera recién colada

*(31). Autor de la investigación: D.I Roberto C.D, Institución: Universidad de Brasilia,Fuente: XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural 2004.*

*(32). Cita comentada por D.I Roberto C.D XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural.*

*(33). Idem*

Los procedimientos de fabricación de la fibra de carbono consisten en cortarla con una trinchera común para dar las medidas requeridas por los clientes, después de cortarlas, se aplica una primera camada de saturación que es un saturante plástico color azul para darle mayor flexibilidad, luego se deja secar 30 minutos, para después agregarle una segunda capa de saturación y finalmente estará listo dicho sistema y así podrá ser adquirido y dispuesto a ser usada directamente sobre trabes, columnas y losas de azotea. A cada 30 m<sup>2</sup> de reforzamiento, se determina si el sistema a ha funcionado óptimamente.

Entre sus beneficios más reconocidos son que fomenta la flexión de las estructuras en caso de sismo y reduce al máximo los cortantes, confinando el concreto de todo el sistema.

### **Reforzamiento externo en vigas pretensadas de concreto:**

En el caso de vigas pretensadas también se pueden forrar y el trabajo dura solamente dos días, para hacer el refuerzo y proteger a las trabes de esfuerzos a cortantes, primeramente se limpia toda la superficie y luego se le adhieren varias vueltas o envolturas del sistema MBrace™ y todo se hace de forma artesanal.

Un ejemplo de dicho recubrimiento se realizó en un viaducto en la ciudad de Brasilia construido hace 80 años (1925) siendo el primer puente vehicular de América Latina.

Esta obra fue afectada por un gran sismo que se registró en la ciudad de Brasilia, afectando principalmente las vigas pretensadas que contiene; después del sismo estas trabes sólo podían soportar 6 t/fuerza por m<sup>2</sup>, pero con el sistema de refuerzo MBrace™ se aumentó la resistencia hasta 45 t/fuerza por m<sup>2</sup>. Ahora este puente funciona mejor a la flexión en caso de sismo y su resistencia al cortante es mayor.

En otro caso con este mismo sistema se reforzaron torres de gran altura que por efectos del viento tenían grandes posibilidades de colapsarse; como la torre de Oficinas y Servicios más importante de la ciudad de Brasilia en Brasil con más de 60 pisos de altura; en este caso para resistir el viento se colocó la fibra de carbono en toda la fachada y se recubrieron las caras externas de las trabes que miran hacia la calle, y con esto se evitaron los posibles colapsos que pudieran haber ocurrido.

Refuerzo en trabes de concreto armado:

Para el refuerzo de trabes con concreto reforzado no es recomendable un refuerzo externo como en los dos casos antes descritos; sino a través del sistema de varillas de carbono que sirven principalmente para reforzar dichas estructuras.

En este caso a las trabes que se encuentran afectadas por grietas de gran tamaño, se deben de limpiar perfectamente con agua a presión, después hacer unas ranuras en el concreto de recubrimiento por la parte baja y así colocar por debajo del refuerzo principal las varillas de carbono, lo que permitirá evitar aun más la deformación de todo el sistema. La fibra de carbono, hace que el movimiento y las deformaciones sean menores en las estructuras.

Pero es necesario mencionar que las varillas de carbono solo se recomiendan como refuerzo alterno en trabes que contengan refuerzos de acero, ya que si se decide colar una trabe solo con refuerzos de carbono desplazando los otros armados, puede tener un costo muy elevado, correspondiente al 200 o 300% del costo total de la trabe o columna incluyendo material, mano de obra y herramienta; principalmente porque los aditamentos de carbono en forma de fibra dentro de las varillas de acero son muy laboriosos y costosos.

La fibra de carbono es un producto que no es agredido térmicamente y resiste a los ataques químicos de la atmósfera; además evita la alternancia excesiva en las estructuras en caso de sismos, eliminando los esfuerzos por cortante hasta un 80%.

Uno de los inconvenientes es que en caso de incendio, las matrices poliméricas podrían extender el fuego por todo el inmueble, ya que son altamente corrosivas; por lo tanto estas matrices se pueden aplicar de preferencia en edificios con bajo riesgo de incendios. Todos los productos de fibra de carbono se pueden usar en estructuras de madera y acero; en el caso de la madera se ranura de igual forma que en los sistemas de concreto y se refuerzan por la parte inferior; y en el caso del acero no se usan varillas, sino láminas plásticas envolviendo paso a paso los patines y almas de las vigas para reforzarlas.

Una recomendación para diseñar columnas, es que sean muy esbeltas, procurando secciones menores de 70 cm de lado, y que sean rectangulares con una relación de 1: 1.50.

Conclusiones: Como podemos observar, este sistema brasileño ofrece buenas alternativas para reconstruir estructuras dañadas por sismo o eventos dinámicos como el viento, lluvia o corrosión al ambiente; pero suele tener un costo elevado por su procedimiento de fabricación y suele ser peligroso en caso de incendio, ya que dichas fibras poliméricas son expansivas y corrosivas, lo que puede ser contraproducente en su adquisición principalmente al usarlas en edificios como hospitales, industrias químicas, bodegas, etc.

Además el hecho que disminuya la alternancia de ir y venir de las estructuras ante un sismo, no es recomendable, ya que los sistemas estructurales deben moverse conforme al tipo de ondas que se presenten, porque si mantienen demasiada rigidez pueden ocasionar cortantes muy fuertes que los puedan llevar al colapso.

### 3.4 EL USO DE CENIZA VOLANTE INDUSTRIAL COMO MATERIAL RESISTENTE ANTISÍSMICO

M.I Jorge Maurilio Rivera Torres <sup>(34)</sup> en su conferencia “El uso de ceniza volante industrial como material resistente antisísmico” propone un aditivo o material alternativo que aumente la resistencia en trabes y columnas de concreto armado, **el uso de ceniza volante**, que proviene de las industrias químicas, es perjudicial para el medio ambiente, por tanto, en lugar de desecharla en basureros o barrancas, puede reciclarse usándola como nueva alternativa estructural<sup>(4N)</sup>. La ceniza volante debe mezclarse con un concreto máximo de  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ , agua, agregados y el armado correspondiente con varillas y estribos.

Los porcentajes de ceniza pueden variar a 30, 60, 90 y 120% dependiendo de la resistencia que se quiera obtener en el concreto. En este caso la ceniza volante como aditivo mezclado con cementante (cemento), agregados (arena y grava) y agua; varía dependiendo su uso, si en su caso se requiere de una mezcla con un  $f'c$  de  $350 \text{ kg/cm}^2$  se usarán 1 bulto de Cemento Ordinario, 2 botes de arena, 3 botes de grava y 1 bote de agua; en este caso mientras mayor  $f'c$  se quiera tener, los agregados y el agua deberán disminuirse, al hacerse la revoltura, se agregará el aditivo que en este caso es la ceniza volante de acuerdo a las siguientes especificaciones:

Para 30% se requiere de:

- 1 bulto de cemento
- 2 botes de arena de 19Kg
- 3 botes de grava de 19Kg
- 1 bote de agua de 19Kg
- 2.1 botes de ceniza volante

Para 60% se requiere de:

- 1 bulto de cemento
- 2 botes de arena de 19Kg
- 3 botes de grava de 19Kg
- 1 bote de agua de 19Kg
- 4.2 botes de ceniza volante (aumenta el aditivo)

Para 90% se requiere de:

- 1 bulto de cemento
- 2 botes de arena de 19Kg
- 3 botes de grava de 19Kg
- 1 bote de agua de 19Kg
- 6.3 botes de ceniza volante (aumenta el aditivo)

*(34). Autor de la Investigación: M.I Jorge Maurilio Rivera Torres, Institución: Universidad Autónoma de Nuevo León, Fuente: XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural.*

Para 120% se requiere de:

- 1 bulto de cemento
- 2 botes de arena de 19Kg
- 3 botes de grava de 19Kg
- 1 bote de agua de 19Kg
- 8.4 botes de ceniza volante (aumenta el aditivo)

Para la mezcla de los materiales se puede utilizar una revolvedora común en el sitio y se cuela de forma tradicional en botes o con maquinaria especial; el único inconveniente es que la ceniza volante retarda los tiempos de fraguado, pero al secarse, las estructuras obtuvieron mayor durabilidad, se hacen más monolíticas por efecto de secado y disminuye su deformación en caso de sismos leves a fuertes generando algunas microdeformaciones entre el rozamiento de partículas.

La resistencia a la compresión en el concreto con ceniza fue 60 veces mayor (con la relación mínima de materiales del 30% especificada anteriormente) que el simple concreto reforzado; y al generar un concreto con la relación del 60% aumento a 120 veces mayor, por lo cual esto nos indica que al mezclar la ceniza, los agregados se vuelven innecesarios, ya que mientras más cantidad de ceniza tenga una mezcla, esta funcionará como la arena y la grava, por lo tanto las losas, columnas y trabes serán menos pesadas y más resistentes por los efectos de la ceniza.

En cuestión del fraguado es más tardado que en el concreto tradicional, ya que se tarda de 3 a 4 horas más por los efectos de secado de la ceniza volante, los cuales pueden llegar a secarse hasta 18 horas después, pero cuando este fragua es mucho más monolítico y resistente que el concreto convencional.

Cabe señalar que se colaron cuatro marcos estructurales con distintos materiales, y se sometieron a pruebas de aplastamiento en donde se obtuvieron los siguientes resultados:

- Marco de concreto reforzado normal : 1473 micropartículas por agrietamientos
- Marco de concreto reforzado y con ceniza volante al 30% :1038 micropartículas por agrietamientos
- Marco de concreto reforzado con ceniza volante al 60%: 740 micropartículas por agrietamiento
- Marco de concreto reforzado con ceniza al 90%: 336 micropartículas por agrietamientos

En este caso las pruebas de aplastamiento demuestran que la ceniza volante resiste en mayor proporción que con el concreto tradicional.

Conclusiones: Esta alternativa de la ceniza es buena como opción estructural ya que además nos permite reutilizar un residuo industrial tóxico y contaminante, como podemos ver los resultados son favorables en el mayor de los casos, aunque en los tiempos de fraguado no es así, ya que tarda más tiempo en secarse, así como también el costo puede incrementarse por la adquisición del aditivo y la cantidad que pueda utilizarse en cada elemento estructural; de manera general creo que es una buena solución sismo-resistente y sería interesante llevarla a cabo.

### 3.5 LOS AMORTIGUADORES SÍSMICOS

M.I Ismael Vázquez Martínez <sup>(35)</sup> en su conferencia denominada “Los Amortiguadores Sísmicos” mencionó lo siguiente: como todos sabemos los sismos son una liberación de energía de la tierra que se disipa por la corteza terrestre y es absorbida por las estructuras.

Aunque las ondas sísmicas viajan en línea recta a través de las diversas capas del subsuelo, generan ciertas resonancias en forma ondulatoria, por lo cual no sólo existe una fuerza lateral por sismo que genera cargas inesperadas, sino resonancias que deben ser absorbidas durante y después del evento.

Para este problema surgen como alternativas sismorresistentes los “Amortiguadores sísmicos” que se encargan de absorber la energía liberada por sismo y la disipan hacia el ambiente de manera inmediata, lo que genera que durante el evento sísmico las estructuras solo se encarguen de soportar el peso gravitacional y los amortiguadores se encarguen de las fuerzas laterales y de amortiguamiento del sismo.

Estos amortiguadores deben ser colocados en la parte central de las columnas o en su caso en la base de las mismas que es el lugar donde se presentan los mayores esfuerzos cortantes <sup>(36)</sup>

En cada amortiguador se deben calcular los rangos plásticos y elásticos ya que funcionan como un resorte y se debe de equilibrar la elongación de dichos rangos para evitar la ruptura central en los mismos.

Con el uso de estos se puede disipar mucha energía de origen sísmica en el instante en que se produce el movimiento, evitando absorberla en trabes y columnas.

#### **Tipos y casos de usos de los amortiguadores:**

En México se han introducido los amortiguadores denominados tipo Adas y tipo Taylor, que se pueden usar principalmente en estructuras de acero o mixtas que contienen acero y concreto; la función específica de estos amortiguadores es absorber la energía negativa producida por ondas sísmicas alternando rangos elásticos. Dichos amortiguadores se colocan en la parte inferior del edificio, es decir entre la cimentación y la estructura; dichos amortiguadores están hechos de **neopreno** un plástico altamente resistente que mueve a todo el sistema estructural conforme el movimiento de ondas sísmicas <sup>(37)</sup>

Estos se han utilizado en obras muy importantes como el “La Torre Mayor” <sup>(5N)</sup> ubicada en Paseo de la Reforma en la ciudad de México y en algunos hoteles del puerto de Acapulco, debido a que en esta costa se presentan constantemente los epicentros de movimientos sísmicos.

*(35). Autor de la Investigación: M.C Enrique Martínez Romero, M.I Ismael Vázquez Martínez, Institución: Posgrado de Ingeniería UNAM, Fuente: XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*

*(36). Fuente: [www.amortiguadoressismicos.com](http://www.amortiguadoressismicos.com)*

*(37). Fuente: Amortiguadores tipo ADAS, [www.amortiguasismos.com](http://www.amortiguasismos.com)*

Se puede comentar que hasta estos días no se han presentado colapsos o problemas estructurales con estos nuevos materiales, incluso los beneficios han superado las expectativas ya que las estructuras no presentan replicas y almacenamiento de energía negativas por sismo.

Los avances tecnológicos en estructuras han sido de gran relevancia y un caso a citar sería el de los amortiguadores sísmicos, que es un sistema actual que se utiliza para disipar la energía negativa por sismos y así se libera a toda la estructura de cualquier deformación externa o microdeformación interna en las secciones.

### **3.6 CONCLUSIONES Y ANÁLISIS**

Después de haber dado una referencia sobre los tipos de materiales que se usan actualmente en estructuras de concreto para mitigar los esfuerzos por sismo; puedo concluir, que dichos materiales tratan de contrarrestar los efectos por sismo a través del aumento o fomento de la flexión y controlar los cortantes que se presentan siempre de manera inmediata y colapsan las estructuras; con todo este panorama pude rescatar algunos factores muy importantes para diseñar estructuras de concreto las cuales se tratarán de cumplir con el uso del Acero Electrostático:

1. Fomentar siempre la flexión y controlar los cortantes concéntricos que llegan a torcer las secciones.
2. Reforzar y diseñar el armado en las uniones de traveses y columnas; así como en las bases de las columnas.
3. Los puntos de unión y bases de estructuras deben funcionar como articulaciones plásticas
4. La geometrización debe ser sencilla en cuanto a la dimensión, material y forma.
5. Idear el concepto de trabe débil – columna fuerte
6. Al armar los anillos o estribos deben ser mucho más confinados en los extremos que en el centro de las secciones
7. Usar aditivos y otros materiales anexos para reforzar aún más la estabilidad de las estructuras
8. Un caso alternativo a usar será la ceniza volcánica o ceniza volante industrial
9. La intención más importante es que el acero electrostático, sea armado en las bases y uniones de estructuras como un emparrillado confinado, de manera que rechace y aisle todos los esfuerzos por sismo.

El propósito de citar todas estas investigaciones similares al tema de investigación que realizo es precisamente detectar como es que puedo mitigar los efectos por sismo, a través de ciertos elementos y factores debidamente estudiados y comprobados por personas especialistas en el campo de la ingeniería estructural, en este caso se toman sus teorías y afirmaciones hechas en el XIV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural de 2004 para abstraerlas y ponerlas en práctica con el uso del acero electrostático a fin de generar una nueva propuesta tecnológica antisísmica que vaya encaminada con el mismo enfoque que actualmente existe en el campo de la Ingeniería Sísmica.

NOTAS:

(1N). La experimentación fue llevada en el Laboratorio de Estructuras de la UAM Azcapotzalco y probada en algunos inmuebles de Acapulco Guerrero, considerando armados dobles de refuerzo tanto en traveses como en columnas.

(2N). El tipo de refuerzo estructural en secciones de concreto debe siempre confinar un núcleo con refuerzo longitudinal y transversal, amarrando completamente a todas las barras de hierro, en este caso se amarra de esa forma para evitar el cortante en las secciones y fomentar la flexión en el momento del sismo.

3N). Estos materiales empiezan a comercializarse en algunos países como Canadá, Estados Unidos y Alemania, ya que aún continúan en investigación dentro de la Universidad de Toronto.

Lista de productos comerciales:

Material	Diámetro Nominal	Longitudes Comunes
Barras con fibras de vidrio	5/8"	12 a 20 metros
Barras con fibras de vidrio	3/8"	12 a 20 metros
Barras con fibras de vidrio	1/2"	12 a 20 metros

Cabe señalar que existen barras de hasta 12 metros, porque son utilizadas por lo regular en la construcción de puentes vehiculares y ferroviarios.

(4N). Cabe señalar que esta investigación fue llevada a cabo y justificada en Monterrey Nuevo León, específicamente porque en esta región se desechan miles de toneladas de ceniza volante, debido a que la Cd de Monterrey es netamente industrial y con esto conlleva a la producción de ceniza volante en grandes cantidades siendo casi alrededor de 700 toneladas de ceniza en promedio al día.

(5N), La Torre Mayor, contiene en promedio 92 amortiguadores sísmicos que se encargan de disipar la energía sísmica a través de disipadores con plomo en su interior, lo que ha beneficiado a la estabilidad estructural de la torre.



**CAPÍTULO IV**  
**“EL ACERO**  
**ELECTROSTÁTICO**  
**COMO REFUERZO EN**  
**ESTRUCTURAS DE**  
**CONCRETO”**

## 4.1 DEFINICIÓN Y ANTECEDENTES

¿Qué es y como surge la idea de usar el Acero Electrostático como armado de refuerzo en estructuras de concreto?

### Dentro del Campo de la Ingeniería Eléctrica

“El acero electrostático es un metal de aleación que se da por primera vez en los Estados Unidos en la Universidad de Nevada y caracteriza por ser un excelente conductor de energía eléctrica y sobre todo ha sido utilizado dentro del campo de la ingeniería eléctrica y electrónica, específicamente dentro de instalaciones especiales de máquinas y motores de gran precisión”<sup>(38)</sup>, como son los grandes rotores de expulsión de aire (Figura 16)

Este tipo de acero también ha funcionado en las últimas décadas como conductor de altas tensiones en la Industria Metal – Mecánica, usado como conductor de electricidad de grandes fuelles que permiten fundir en los altos hornos, algunos metales para la fabricación de perfiles estructurales.

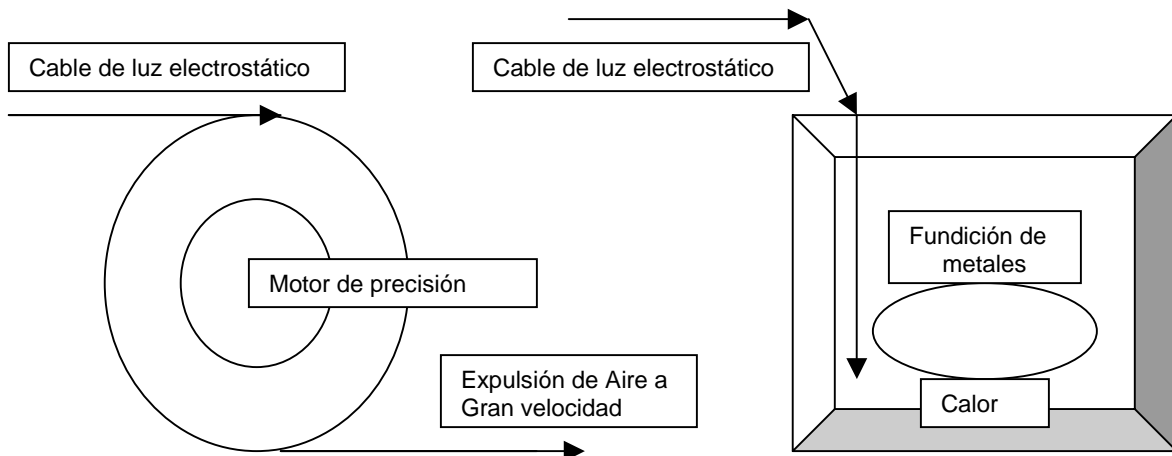


Figura 16: Croquis de Rotor Expulsor de Aire<sup>39</sup>

Figura 17: Fuelle Metal – Mecánico<sup>40</sup>

Una de sus primeras composiciones químicas fueron solamente dos metales como el **cobre** (metal con gran conductibilidad eléctrica) y el **romo** (por su alta resistencia a impactos y descargas eléctricas que solían suceder dentro de los grandes fuelles).

Por más de 20 años este tipo de acero se utilizó sólo como conductor de energía eléctrica sin percibir sus demás propiedades y aplicaciones en otros campos de la vida.

(38). Fuente: University of Nevada (EEUU), Área de Investigaciones Especializadas en Eléctrica y Electrónica 2004.

(39) Rotor de Expulsión de Aire, usando el Acero Electrostático como impulsor de energía eléctrica.

(40). Fuelle Metal – mecánico usando el Acero electrostático como impulsor de energía eléctrica.

La idea de usar este acero aleado en el campo de la arquitectura, surge en el año 2004 cuando dos investigadores expertos en ingeniería electrónica llamados **Joseph Anderson y Richard Apraiz** <sup>(41)</sup>, científicos de la Universidad de Nevada; experimentan con diversas aleaciones de metales además del cobre y cromo, para obtener un acero electrostático con mejores capacidades de conducción eléctrica, y para ello alean por primera vez el **níquel**; teniendo como resultado una barra de acero más monolítica; pero inseguros de su probable funcionamiento, mandan dicha barra a un laboratorio de estructuras de la Universidad de Nevada, para verificar su resistencia a la tensión, y así determinar si dicha resistencia, era suficiente para soportar descargas eléctricas o cortos circuitos que pudieran romper sus fibras internas o destruirlo externamente cuando pudiera presentarse algún siniestro dentro de las máquinas y rotores que impulsan aire a gran velocidad producto de la electricidad que conduce dicho acero electrostático.<sup>(42)</sup>

Cuando envían esta barra de acero, los ingenieros civiles encargados de hacer las pruebas en el laboratorio de estructuras, registran un módulo de elasticidad mayor a 2,100,000 kg/cm<sup>2</sup> y un estiramiento por fatiga a tracciones mayor a los aceros de varillas hechas con hierro y carbono; por tal motivo los investigadores en estructuras de esta universidad se interesan en dicha aleación y experimentan sus propias pruebas, con el propósito específico de crear un acero de refuerzo en estructuras de concreto, que fuera capaz de resistir las **altas y bajas temperaturas** tan extremosas que se presentan en verano e invierno en las altas latitudes cercanas al polo norte; principalmente porque las estructuras de infraestructura civil, que se encuentran a la intemperie sufren constantemente de corrosión por nieve y calor en los aceros de refuerzo que las componen <sup>(42)</sup>

Con esta idea, en el laboratorio de estructuras de la Universidad de Nevada en junio del año 2004 empiezan a jugar con otras aleaciones a fin de tener un acero electrostático resistente a las altas temperaturas, sin tener éxito alguno en los primeros intentos <sup>(42)</sup>

Como se dan cuenta, que generar aleaciones con metales es un factor difícil por los puntos de fusión (fundición) tan cambiantes de un metal a otro, idean la forma de generar un acero electrostático a través de electrodeposición de metales, que consiste en **ionizar** con metales una barra de hierro común en una tina donde se introducen los metales y expiden sus iones respectivos para reforzar a la barra de hierro común, generando capas o películas concéntricas muy delgadas de metal alrededor de la barra de hierro, entre los metales que usaron fueron el vanadio, tungsteno, cromo, cobre y unos recubrimientos con fibra de vidrio sensorial, que ayudaban a resistir aún más las temperaturas tan cambiantes y así obtuvieron su primer éxito obteniendo un acero resistente a la corrosión teniendo un módulo de elasticidad mayor a 2, 700, 000 Kg /cm<sup>2</sup> <sup>(42)</sup>

Tal fue su afición por desarrollar aceros resistentes contra las temperaturas, que la investigación se difundió hasta Canadá donde el Dr en Ingeniería Aftab Mufti, crea un acero con polímeros de fibra de vidrio sensoriales, específicamente para resistir estos efectos, que se mencionaron en el capítulo anterior<sup>(1N)</sup>

*(41). Joseph Anderson y Richard Apraiz, Investigadores y catedráticos en Ingeniería Electrónica de la University of Nevada, realizaron por primera vez modificaciones a la estructura morfológica del Acero Electrostático con la finalidad de que éste pudiera soportar descargas eléctricas sumamente grandes y conducir la energía eléctrica sin limitantes.*

*(42) Fuente: University of Nevada (EEUU), Área de Investigaciones Especializadas en Eléctrica y Electrónica 2004.*

Cabe señalar que las pruebas experimentales en esta universidad han tomado un rumbo distinto, utilizando los polímeros sensoriales de fibra de vidrio y las fibras de carbono como materiales adjuntos aleándolos con diversos metales que componen al acero electrostático.

Y hasta la fecha el uso del acero continúa en investigación, no sólo en la Universidad de Nevada, sino en la Universidad de Toronto y Tokio en japon principalmente para desarrollar un acero resistente a las temperaturas tan extremistas en verano y en invierno, sin importar demasiado los eventos sísmicos que puedan ocurrir.

## 4.2 PROPUESTA TECNOLÓGICA.

“En este caso, la investigación que se propuso en específico dentro de esta tesis, fue verificar y elaborar un acero electrostático diferente a lo que se ha realizado en Estados Unidos y Canadá, es decir no se copió fielmente el tipo de aleaciones que ellos estuvieron realizando, ya que aplicado a México y en específico a las zonas sísmicas de nuestro país, no hubiera servido de nada, ya que nosotros a nivel nacional no sufrimos de estragos tan fuertes en las temperaturas, por lo tanto mi propuesta integral fue analizar, estudiar y fabricar un acero electrostático distinto, que ayudara a mitigar los efectos por sismo, ya que en nuestro país es algo que nos afecta constantemente, por lo tanto se analizaron los metales idóneos que fueron parte de su morfología básica como el cobre, aluminio, níquel y cromo, pero utilizados para cuestiones sísmicas y no térmicas como se ha experimentado en otros países”<sup>(43)</sup>

Cabe señalar que una propuesta muy importante fue la utilización del ALUMINIO, (material que no fue utilizado en las aleaciones de la Universidad de Nevada), porque es un metal ligero, que ayuda a absorber energías de diversos tipos como la calorífica y la térmica<sup>(2N)</sup>

El uso del aluminio incidió porque es el tercer metal más abundante en la faz de la tierra y es el encargado de absorber radiaciones solares para beneficio de la vida en nuestro planeta, además cuando emergen del núcleo de la tierra los llamados focos sísmicos y al liberar ondas sísmicas primarias y secundarias por la corteza terrestre, al cruzar por los estratos de aluminio del subsuelo, con características semisolidas, dichas ondas sísmicas pierden velocidad e intensidad, ya que al pasar por dichas capas de aluminio, el metal las absorbe y las convierte en energía térmica, que libera en forma de calor hacia la superficie terrestre

Es por eso, que fue básico experimentar con el aluminio, como parte fundamental del Acero Electroestático y comprobar sus características físicas y químicas de absorción de energía.

Además de utilizar el aluminio, se usaron otros metales ya estudiados en otras universidades como el cromo, cobre, níquel, antimonio y otros aditivos como la ceniza volcánica.

*(43). Propuesta Tecnológica, del Dr. Humberto Acedo Espinoza, Investigador y Profesor del Posgrado de Arquitectura.*

En el caso de fabricación del acero se llevó a cabo de la siguiente manera:

1. Por el Método de Deposito por baño de metal, generando barras concéntricas alrededor de una barra de hierro + carbono ( mojado barras de hierro en los metales en punto líquido)

Esta alternativa se probó y validó ante pruebas de esfuerzo – deformación y se registraron módulos de elasticidad muy altos que se especificarán en el siguiente capítulo

### 4.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

El acero electrostático a usar específicamente en México, en inmuebles que se encuentren situados en zonas sísmicas y altamente sísmicas, tendrá las siguientes características:

- Serán barras cilíndricas y alargadas como las varillas que usualmente conocemos, pero adicionando otros metales en su composición.
- Así como también serán corrugadas para aumentar la adherencia con el concreto confinado que les rodee.
- Y no contemplaran ningún tipo de aislante, es decir que después de generar su composición, se templarán y se dará la forma idónea, sin llevar aislantes plásticos.

Mencionando sus características físicas y funcionamiento general puedo citar que el acero electrostático ha sido sometido a esfuerzos por tracción obteniendo un alto valor de módulo de elasticidad mayor a los metales que se muestran en las siguientes tablas <sup>(44)</sup>:

- ACERO PURO:  $E= 2, 100, 000 \text{ Kg} / \text{cm}^2$
- HIERRO COLADO:  $E= 1, 050, 000 \text{ Kg} / \text{cm}^2$
- BRONCE:  $E= 1, 000, 000 \text{ Kg/cm}^2$
- COBRE:  $E= 1, 200, 000 \text{ Kg} / \text{cm}^2$
- CONCRETO:  $E= 90, 000 \text{ HASTA } 300,000 \text{ Kg/cm}^2$
- ALUMINIO:  $E= 700, 000 \text{ Kg/cm}^2$
- FIBRA DE VIDRIO:  $E: 700, 000 \text{ Kg} / \text{cm}^2$
- **ALEACIÓN ACERO ELECTROSTÁTICO:  $E= 2, 700, 000 \text{ A } 3, 000, 000 \text{ Kg/cm}^2$ .**

(44). fuente: universidad de nevada (laboratorio de estructuras) área de ingeniería civil 2004.

Cabe señalar que en la aleación se usó una proporción aproximada de los siguientes metales <sup>(45)</sup> :

- aleación de hierro con níquel 25%
- cromo 30%
- cobre 20%
- zinc 10%
- capa de carbón 5%
- acero y praimer de recubrimiento 10%
- total: 100% por ml de barra.

#### 4.4 FUNCIONAMIENTO ESTRUCTURAL

Por tales resultados se puede considerar que este acero tiene características especiales, ya que su alto valor de módulo de elasticidad, lo hace soportar grandes esfuerzos negativos por sismo así como también eleva la capacidad de alternancia ante sacudidas o cabeceos en las uniones entre traveses y columnas; equilibrando la rigidez necesaria para comportarse como un **amortiguador, alternando rangos plásticos** en los nodos de unión entre columnas y traveses, así como en las bases de las mismas columnas, que son las partes más afectadas cuando se presenta un evento sísmico.

Y así reforzando bases y uniones de liga, el acero absorberá de manera adecuada las fuerzas horizontales por sismo y evitará la presencia de excentricidad de cargas gravitacionales del mismo inmueble así como también las deformaciones internas y externas del concreto que contengan las secciones.

Es muy importante mencionar que este tipo de acero deberá ser armado en forma de **emparrillados muy confinados** (como se muestra en la figura 18) específicamente en las bases y uniones de columnas y traveses para amarrar de mejor manera toda la estructura en conjunto; cabe señalar que al analizar los materiales resistentes a sismos determinados por el Dr. Amador Terán Gilmore; consistía en reforzar adecuadamente de anillos o estribos de manera muy cerrada, con la finalidad de poder confinar aún mejor el concreto y evitar el desconchamiento del mismo; es por ello que en este caso las estructuras de concreto reforzadas con el acero electrostático, también plantean esta filosofía; aún cuando el acero sea muy resistente, la conformación y forma interna de las estructuras deberá ser lo suficientemente confinada para rigidizar el sistema.

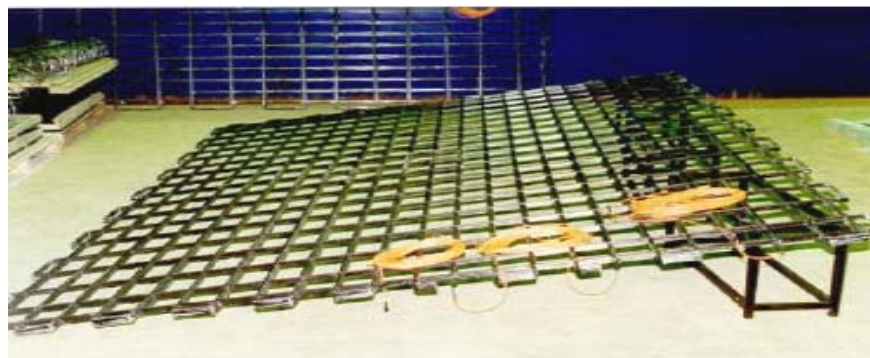


Figura 18: Emparrillado monolítico en traveses y losas por Dr. en Ing. Aftab Mufti

(45) fuente: universidad de nevada (laboratorio de estructuras) área de ingeniería civil 2004.

En las figuras 19 y 20 se muestra el armado tipo con que debe ejecutarse

#### 4.5 TIPOS DE ARMADO



Figura 19: Armado tipo para una columna (Universidad de Toronto Canadá)  
Por Dr. En Ing Aftab Mufti

En el armado de columnas con Acero Electrostático, se utilizaron barras lisas, confinando su interior con 5 diámetros de  $\frac{3}{4}$ ", sujetadas con estribos o anillos muy delgados con fibra de vidrio, en la imagen también podemos observar unas cintas aislantes que se usan para adherir deformímetros que son pequeñas camaritas que registran las deformaciones internas del concreto en la sección.

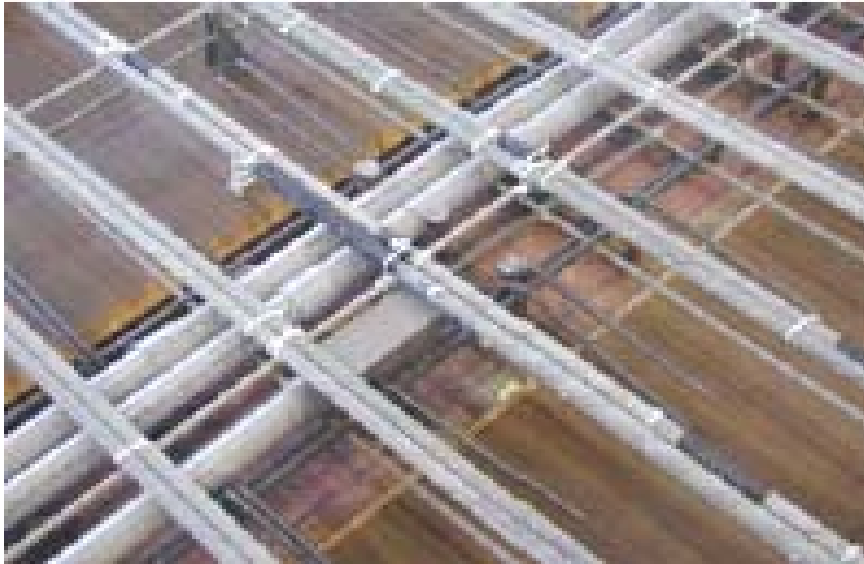


Figura 20: Tipo uniones en losas (Universidad de Toronto Canadá)  
Por el Dr en Ing. A. Aftab Mufti

## 4.6 SISTEMA CON ALTO GRADO DE TECNOLOGÍA

Continuando la investigación sobre el “Acero Electrostático” es necesario mencionar que dicho material tiene también un comportamiento de **estructura con alto grado tecnológico**, es decir que en su estructura interna contiene unas capas o películas de metales muy finas con una alta conductividad de energía eléctrica.

Y en este caso el **cobre** es el metal encargado de detectar el sismo y con su alta conductividad eléctrica, alerta a los demás metales para evitar las deformaciones y el colapso de la estructura; también el cobre es el encargado de medir el grado de deformación interna que pueda surgir en el concreto confinado de la estructura; de manera que cuando el sismo haga presencia el acero se mantenga “ alerta” exclusivamente para resistir los esfuerzos de dicho sismo y así proteger el estado monolítico integral de columnas y trabes.

El sistema considerará los siguientes aspectos:

- Deformímetros Internos.
- Cabina de Monitoreo Central

### DEFORMIMETROS INTERNOS.

Por ser este material un alto conductor de electricidad, se dispondrán de unos pequeños aparatos en forma de microcámara llamados **deformímetros**, que se encontrarán adheridos al propio acero electrostático; estos aparatos se ligarán directamente a las capas de metales del acero y así tendrán la función de determinar en unidades métricas (centímetros) las grietas o aberturas por deformaciones en trabes y columnas después de un evento sísmico; es decir estos deformímetros serán pequeños sistemas computarizados que registrarán las deformaciones internas y externas de cada sección, y dicha información podrá registrar los esfuerzos por flexión, cortante, aplastamiento y torsión de cada trabe y columna.

Es necesario mencionar que estos deben colocarse si es el caso antes de que se cuelen las secciones y amarrarlos a un cable conductor de energía como se muestra en la figura 21, para que puedan ser conectados directamente a una toma de energía eléctrica y así al comenzar un movimiento sísmico, este se conecta de manera automática a dicha toma y así la estructura de acero electrostático iniciará su función de resistir dicho sismo.



Figura 21. Deformímetros tipo en el acero electrostático.  
(Imagen tomada de la Universidad de Toronto Canadá, por A. A. Mufti



## CABINA DE MONITOREO CENTRAL

Posteriormente, la información que hayan recibido los deformímetros, estos la enviarán a una caja o cabina de monitoreo central, que podrá ser ubicada en la planta de azotea de cada inmueble; como se muestra en la figura 22 y ahí en esa pequeña caja se registrarán todos los daños por deformación causados en todas las traveses y todas las columnas del edificio, contemplando su eje de ubicación y el nivel propio donde se encuentran.

Con esta herramienta computarizada, se podrían determinar sin margen de error, que secciones se encuentran en estado óptimo de funcionamiento y cuales estarían en peligro de colapso.

La caja de monitoreo es un elemento indispensable de detección por daños de sismo en cada marco estructural y así se podría diagnosticar e identificar de forma más fácil en que nivel y sobre que eje se ubican las secciones con mayores deformaciones, para inmediatamente después reparar el daño, como se muestra en la figura 23.



Figura 22: caja de monitoreo central del sistema estructural del edificio  
(Imagen tomada de una caja de monitoreo por Dr. en Ing. A. Mufti)



Figura 23: Vista interna de la caja de monitoreo  
(Imagen tomada de una caja de monitoreo por Dr. en Ing. A. Mufti)

## 4.8 VENTAJAS DEL DISEÑO

- El acero electrostático tratará de prevenir daños estructurales y minimizar las deformaciones internas en sismos mayores a 6 grados Richter.
- Evitará colapsos o daños serios, creando una sincronía de alternancia de todo el sistema estructural, moviendo a todo el sistema en favor del sismo, teniendo mayor resistencia, alternancia y controlando la rigidez necesaria para soportar fuerzas laterales.
- Dar seguridad al inmueble ante temblores de intensidad media, pero con un periodo de recurrencia muy larga.
- Control de daños, ante posibles réplicas que puedan presentarse después de un gran sismo.
- Optimizar geoméricamente las estructuras con secciones más esbeltas y con armados mucho más sencillos.

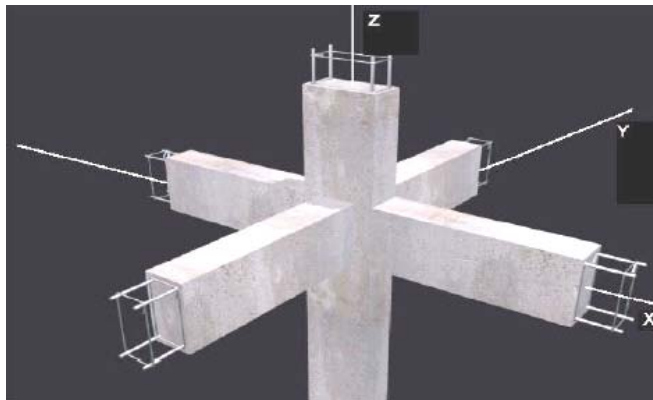


Figura 25: Armado sencillo en nodos de unión entre traves y columnas. (Visión Prospectiva de estructuras)



Figura 26: Detalle de refuerzo confinado con Acero electrostático en secciones horizontales (Visión prospectiva de estructuras)

## 4.9 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO

Este acero por sus características físicas se puede definir como un conjunto de argamasas metálicas que funcionan de manera concéntrica para mitigar todos los esfuerzos que generan un movimiento sísmico; los metales que lo componen son:<sup>(46)</sup>

**Níquel:** Metal indispensable en el uso de este acero, porque **aumenta la resistencia a la fatiga en un 30%** mayor que el acero de refuerzo común, **Aumenta el valor de módulo de elasticidad al 15%**, aumenta la dureza del material y une monóticamente mejor las partículas internas del acero.

Aumenta su alargamiento por esfuerzos a tracción, al adherirlo con la base de hierro forma carburos que generan un campo sensiblemente eléctrico y además soporta efectos de tracciones máximas producidos por cargas gravitacionales y sísmicas de muchos niveles.

Con la argamasa concéntrica de níquel puede hacer útil a este acero en elementos postensados de concreto.



Es un elemento metálico magnético de aspecto blanco plateado que por sus características es un metal duro, maleable y dúctil y presenta gran resistencia a la fatiga por tensión; este metal fue reconocido en el año de 1751 por el sueco Axel Frederic Cronstedt<sup>(47)</sup>

Figura 27: El níquel en estado líquido.<sup>(3N)</sup>

Por lo tanto el uso del níquel puede mitigar los **esfuerzos por aplastamiento** en trabes y columnas de inmuebles con gran altura o con grandes claros.

(46). Blum William, GALVANOTECNIA Y GALVANOPLASTIA, Editorial Limusa 1991

(47). Página de Internet, "El Níquel y sus Componentes" [www.niquelados/metales.com](http://www.niquelados/metales.com)

**Cromo:** Metal usado para mejorar la templabilidad del acero, aumenta la dureza, e impide las pequeñas rupturas internas y externas del material, protege las características químicas de todo el acero y ayuda a soportar aún más los esfuerzos por tracción casi intolerante.

El cromo es un metal, muy resistente y regularmente se usa como metal protector en carros blindados, por su repelencia a las balas.

El cromo es un metal más resistente al 70% que el hierro utilizado en perfiles estructurales y armados de varillas comunes.

Además este metal se utilizará si es posible en la cara exterior del experimento, para proteger a los metales concéntricos internos que tendrán también una función importante en todo el sistema.



El cromo es un elemento metálico de color gris que puede presentar un intenso brillo y a la vez presenta diversos colores debido a sus componentes; además contiene una gran resistencia ante efectos o impactos por golpes o cortantes lineales. El cromo fue descubierto por Louis Nicolas Vauquelin y lo denominó Cromo debido a los destellos que este vislumbra a la vista.<sup>(48)</sup>

## **CROMO**

Figura 28: El Cromo en estado líquido

Su argamasa ayuda a mitigar aún más el aplastamiento en las secciones de concreto, ya que al adherirse protege al sistema de las posibles rupturas externas que se puedan generar al rozar las partículas del concreto en la sección, por lo tanto si se llega a fisurar la capa de cromo, no permitirá la ruptura de las capas internas de los metales siguientes.

(48). *Página de Internet, "El Cromo y sus Componentes" [www.cromados/metales.com](http://www.cromados/metales.com)*

**Cobre:** En este caso el cobre será el metal principal que denominará al acero como electrostático, ya que el cobre es el mejor conductor de energía eléctrica, por esta razón será el metal encargado de llevar la información necesaria a la caja de monitoreo central, cuando los sistemas estructurales presenten fisuras o agrietamientos importantes; en definitiva el cobre será el metal que hará de este acero una estructura inteligente, como las que se usan normalmente en Edificios Inteligentes.



*El cobre es uno de los metales de mayor uso, contiene una apariencia metálica y color pardo rojizo, utilizado para la conducción de la energía eléctrica y descubierto finalmente cuando se crea la iluminación artificial. (Actualmente se usa porque es el mejor conductor de electricidad)<sup>(49)</sup>*

## **COBRE**

Figura 29: Cobre en estado líquido

**Aluminio:** Este metal es el más importante que se debe considerar como componente del acero, principalmente porque es un metal muy ligero y se caracteriza por absorber ciertas energías tales como caloríficas, mecánicas e incluso cinéticas. Ya que permite absorber los esfuerzos por cargas horizontales del sismo; y por lo tanto evita al máximo las deformaciones estructurales en el concreto.

El aluminio es el metal que mitiga y absorbe las energías por sismo y por tanto evita los efectos por cortante críticos; evitando los colapsos en las estructuras



*El aluminio es el tercer elemento mas común encontrado en La corteza terrestre, es un metal suave, blanco y de peso ligero, además de ser dúctil y maleable, no es fácilmente mezclarlo con ingredientes como agua o aceite<sup>(50)</sup>*

## **ALUMINIO**

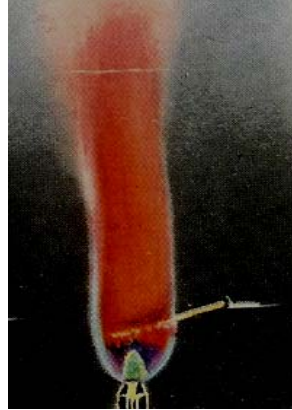
Figura 30: Aluminio en estado líquido

(49). Página de Internet, "El Cobre y sus Componentes" [www.crobizados/metales.com](http://www.crobizados/metales.com)

(50). Página de Internet "El aluminio y sus Componentes" [www.aluminio.com.mx](http://www.aluminio.com.mx)

Y finalmente los elementos de protección y anticorrosión como:

**Carbón Activado:** En el caso del carbón activado, ayuda a mantener la conductividad eléctrica de Cobre, y permite la comunicación integral entre el metal y la caja de monitoreo.



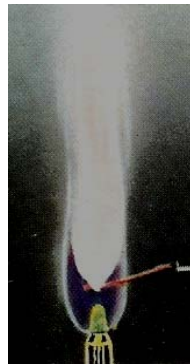
## CARBÓN ACTIVADO

Figura 31: Carbón Activado en estado de combustión<sup>(51)</sup>

**Potasio:** Este metal protegerá en conjunción con el antimonio contra la humedad. En el caso del potasio protegerá al acero en su parte externa y el antimonio en su parte interna.

Este metal absorbe humedades relativas mayores al 70%, es decir que en todos aquellos ambientes que reinen climas tropicales húmedos, las construcciones suelen corroerse y por lo tanto se resiente en la estabilidad de su estructura.

El Potasio se usa prácticamente en sustitución del Zinc, como un metal protector ante la corrosión atmosférica.



## POTASIO

Figura 32: El potasio es un protector especialmente ante altas temperaturas<sup>(52)</sup>

(51). Imagen tomada de la Enciclopedia de las Ciencias Larousse, Tomo 2 "Química y Naturaleza"

(52). *Ibidem*

**Sulfato Ferroso:** El Sulfato Ferroso evita el despostilleo externo del acero, protegiendo además la composición real de todo el acero y de los metales que lo componen, evitando las rupturas internas por golpes o falta de cuidado al transportarlo.



## **SULFATO FERROSO**

Figura 33: El sulfato ferroso es un componente eficaz contra golpes de transportación<sup>(53)</sup>

Y Como aplicación final, se dará un factor muy importante, que requerirá de un **CHOQUE ELECTRICO CONTROLADO**, a todos los metales adheridos, para reforzar su **adherencia** unos con otros y evitar su ruptura en el momento de las pruebas ante “Esfuerzo – Deformación” y después del choque eléctrico se requerirá de un primer, que ayude a formar una buena adherencia con el concreto que se vaya a confinar.

### **4.10 ORDEN ESPECÍFICO PARA LA FABRICACIÓN DEL ACERO ELECTROSTÁTICO<sup>(54)</sup>**

Determinando su orden de ocupación en la fabricación del acero, se ordenaron de la siguiente manera y este orden deberá respetarse porque los metales concéntricos al centro de la barra de hierro son los que menor resistencia tienen a la tensión, y los metales concéntricos al exterior serán los más resistentes a esfuerzos por tensión, por lo tanto el acero electrostático morfológicamente se compondrá con metales de (-) a (+) resistencia.

- En primer lugar se utilizará el **COBRE ( Cu )** que será el primero que se adherirá a la barra de hierro, en primer lugar porque es el metal que menos resistencia tiene a la tensión, pero es el mejor conductor de energía eléctrica, principalmente porque lo podemos encontrar de forma natural en cables y alambres de luz, además contiene las siguientes características:
  1. Su forma natural es sólida, lo que facilita su obtención y no es muy costoso en el mercado.
  2. Punto de Fusión 1085°C

(53). Imagen tomada de la *Enciclopedia de las Ciencias Larousse, Tomo 2 “Química y Naturaleza”*

(54). Este orden se especifica de acuerdo a la supervisión de un especialista en Ingeniería Metalúrgica, Doctor en metalurgia Daniel Aldama Ávalos, Secretario Académico del Centro tecnológico de la FES ARAGON, UNAM, 2006.

3. Conductividad  $4.01\text{W}/(\text{cm}\cdot\text{k})$  (Es de los metales que tiene mayor conductividad eléctrica), lo que dará mayor conductividad al acero.
4. Capacidad calorífica específica  $0.39\text{ J}/(\text{g}\cdot\text{k})$

Por todas estas ventajas, de ser alto conductor de energía eléctrica fue uno de los metales seleccionados.

- En segundo lugar se ocupa el **Aluminio (Al)** siendo la capa posterior al cobre, como sabemos el aluminio es un metal muy común, ya que es el tercer metal más abundante en todo el mundo, después del oxígeno y el silicio, habiendo un porcentaje de 83,200 miligramos por kg de corteza terrestre, lo que hace que sea muy barato en el mercado y por lo tanto fácil de conseguir.

Es utilizado principalmente en marcos de ventana, perillas para puertas, utensilios de cocina y papel.

Sus características específicas son:

1. Su forma natural es sólida, lo que facilita su obtención y no es muy costoso en el mercado.
2. Punto de fusión  $660^{\circ}\text{C}$
3. Conductividad  $2.37\text{ W}/\text{c}(\text{m}\cdot\text{k})$
4. Capacidad calorífica específica  $0.90\text{ J}/(\text{g}\cdot\text{k})$

Su alta capacidad calorífica, puede absorber los esfuerzos por sismo convirtiéndolos en energía calorífica y así como comúnmente absorbe el calor de la luz del sol, podrá absorber los esfuerzos por sismos de gran intensidad

- En tercer lugar se ocupará el **Níquel (Ni)** siendo la penúltima capa de la composición después del aluminio, este metal es utilizado actualmente en monedas, cuchillos, tenedores, cucharas y baterías recargables; su resistencia es mayor a los metales anteriores.

Sus características principales son:

1. Su forma natural es sólida, lo que facilita su obtención y aunque no es muy barato en el mercado, su utilización es indispensable.
2. Punto de fusión  $1455^{\circ}\text{C}$
3. Conductividad  $0.91\text{ W}/\text{c}(\text{m}\cdot\text{k})$
4. Capacidad calorífica específica  $0.44\text{ J}/(\text{g}\cdot\text{k})$

Por su gran resistencia, se utilizará para dar al acero mayor resistencia a la fatiga por tensión aumentándola hasta en un 30% más que las varillas comunes.

- Y finalmente se usará el metal más resistente a la tensión, aún más que las varillas de acero (hierro + carbono) el **Cromo (Cr)** este metal es utilizado principalmente en recubrimientos de partes de autos en toda su carrocería, herramientas de trabajo como llaves para reparación de autos, armas punzocortantes como cuchillos machetes y dagas; estéreos, cintas de video y lasers.

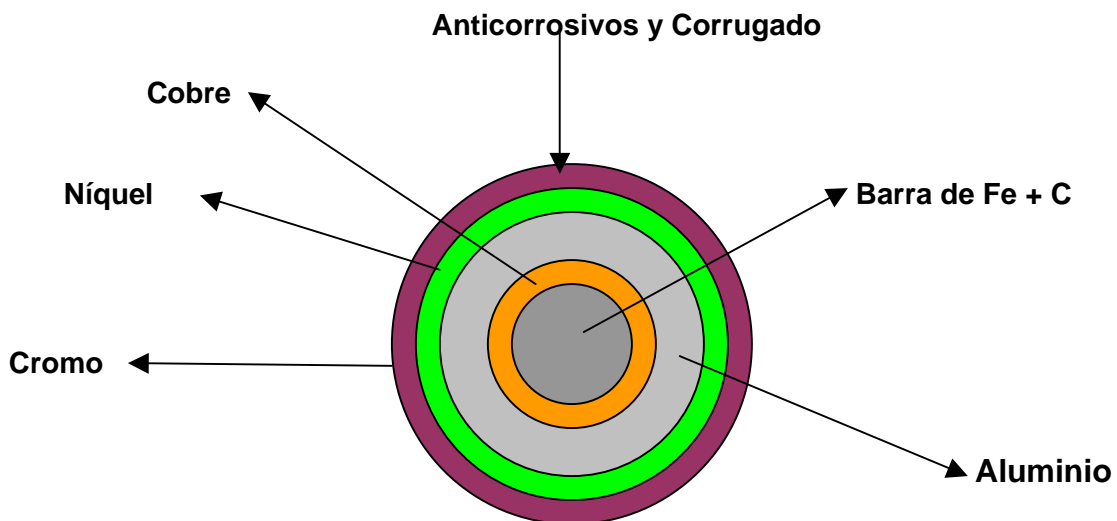


Sus características principales son:

1. Su forma natural es sólida, lo que facilita su obtención y aunque no es muy barato en el mercado, su utilización es indispensable.
2. Punto de fusión 1907°C
3. Conductividad 0.94 W/c (m.k)
4. Capacidad calorífica específica 0.45 J/(g.k)

Finalmente se colocarán los recubrimientos de Carbón activado, Potasio y Sulfato Ferroso, pero en cantidades muy pequeñas, principalmente para dejar trabajar mejor al cromo por ser altamente resistente.

## VISTA GENERAL DE LA COMPOSICIÓN



**Figura 34: CORTE TRANSVERSAL DEFINITIVO**

Las capas de la composición fueron milimétricas, sólo la capa de aluminio fue la más gruesa, debido al tipo de argamasa que generó y puede verse en el capítulo 5 figura 54, las dimensiones fueron las siguientes:

Cobre: 0.5 milímetros

Aluminio: 1.5 milímetros

Níquel: 0.5 milímetros

Cromo: 0.5 milímetros

La adherencia de metales se incremento en su totalidad a 3 milímetros más de la barra de hierro.

## 4.11 EL ACERO APLICADO A LA ARQUITECTURA

La composición química y morfológica del acero electrostático, también será en función de la forma y del número de niveles que podrán contener los edificios.

En este caso el Acero, podrá ser útil en los siguientes casos:

- Se usará específicamente como armado estructural en todas aquellas edificaciones ubicadas dentro del cinturón sísmico que se encuentra en México, incluyendo **zonas altamente sísmicas y medianamente sísmicas**.
- Se contemplará su uso en **edificios de mediana y gran altura**, desde 4 hasta 20 o 30 niveles, como se muestra en la figura 35 y que sean proyectados estructuralmente de concreto, para que así con el armado de Acero electrostático, se protejan los esfuerzos por sismos en cada uno de los niveles.
- Además en inmuebles que contengan **volados de grandes y medianas magnitudes** entre columna y columna (fig. 36), ya que por su alto valor de módulo de elasticidad y su gran resistencia a la fatiga por tracción, podrá tolerar muy bien los efectos por cortante en los extremos y fomentará la flexión máxima en el centro.
- Se usará sobre todo en todas aquellas **estructuras de prefabricación postensadas**, para obras de infraestructura civil como puentes vehiculares, ferroviarios o industria pesada; sobre todo porque este acero es muy resistente a las grandes cargas dinámicas por efectos rodantes.



Fig. 35. Edificio con varios pisos de altura, Av Paseo de la Reforma  
(Imagen obtenida del XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural)  
M.I Enrique del Valle Calderón



Fig. 36 Edificio con grandes volados entre columna y columna  
(Imagen obtenida del XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural)  
M.I Enrique del Valle Calderón

#### **4.12 SU ESTANDARIZACIÓN EN DIÁMETROS NOMINALES.**

En este último apartado, mencionaré que otra intención anexa al fabricar el acero electrostático, es ESTANDARIZAR sus diámetros, es decir que al colocarse en el mercado de industrialización, sólo existan dos o tres diámetros que puedan oscilar en un área de  $3/8"$ ,  $1/2"$  y  $3/4"$ , sin llegar a diámetros de  $1"$ , ya que su uso en sitio para armar estructuras de concreto puede llegar a ser tardado y complicado por los cortes y dobleces que se puedan llegar a realizar, como comúnmente sucede con las varillas de hierro comunes.

¿Como podemos justificar esta estandarización?

Simplemente podemos justificarla, por la acción propia de que el acero electrostático, es una argamasa de metales que rodean a una barra de hierro, lo que implica que la resistencia a la fatiga de estos metales, aumentarán el esfuerzo a la ruptura de la barra, aumentando los esfuerzos por deformación, ruptura y elasticidad en una barra de menores espesores, sin la necesidad de tener diámetros mayores a  $1"$ .

Otra opción es que si este tipo de acero, mantiene solamente los diámetros señalados anteriormente, facilitará muchas actividades durante la construcción de edificios como:

- El trabajo en sitio para los maestros de obra, al cortar y doblar dichas barras
- El traslado al lugar del sitio
- Se mantendrá una optimización en las secciones o espesores de trabes y columnas.
- Para los arquitectos e ingenieros será más fácil diseñar planos estructurales, ya que al calcular el área de acero a cubrir en las trabes y columnas de sus proyectos, podrán diseñar la estructura de manera más sencilla y libre sin el uso de múltiples espesores de varilla, que pueden alterar el funcionamiento óptimo de las estructuras.
- Los planos estructurales podrán ser interpretados más fácilmente por maestros de obra, residentes o supervisores de obra.

- Se evitarán sobre todo los armados tan variados y complicados que se presentan en planos estructurales
- Se evitará el uso de los 11 espesores de varilla común o tradicional existentes, que muchas veces confunden al proyectista estructural, al elegir dichos espesores.

Y la aportación o bondad de la investigación es que cuando se realicen los cálculos estructurales en edificios u otros inmuebles, no se tendrá la necesidad de utilizar armados de más de 1", sino que el diámetro nominal de los armados de trabes y columnas se reducirá pudiéndose utilizar acero de menor calibre, ya que las propiedades de los metales adheridos a este resistirán mayores esfuerzos a tensión, lo que facilitará el trabajo en sitio y sobre todo en costo de materiales.

Cabe señalar que con esta estandarización, no se rechazan los lineamientos de los reglamentos de construcciones establecidos para cada localidad, sino por el contrario, las secciones para columnas y trabes se respetarían según el reglamento, lo único que se impulsaría sería la existencia de un nuevo acero de refuerzo alternativo, útil para soportar movimientos sísmicos, considerando un mayor módulo de elasticidad y una ductilidad (fluencia de trabajo del acero con el concreto) más óptima en comparación con las varillas de acero común.

#### NOTAS:

*(1N). Cabe señalar que el Dr. Aftab Mufti, ha desarrollado esta tecnología sobre la fibra de vidrio desde hace más de 10 años en la Universidad de Toronto en Canadá, incluso existen obras de infraestructura civil construidas con este sistema estructural, como se mostró en la introducción en la figura 1 página 2.*

*(2N). El aluminio un material, suave y abundante en el planeta, información complementaria "Galvanoplastia y Metales Electrodepositados en aceros"*

*(3N). Las imágenes de los metales se presentan en estado líquido, debido a que de esa forma fueron utilizados para realizar los baños en las barras de hierro + carbono, y así obtener el acero electrostático.*

**CAPÍTULO V**  
**“PASOS DE ELABORACIÓN Y**  
**FABRICACIÓN DEL ACERO**  
**ELECTROSTÁTICO EN**  
**LABORATORIO**  
**EXPERIMENTAL”**

## 5.1 CARACTERÍSTICAS DE LA BASE DE HIERRO

En esta fase de la investigación, nos dimos a la tarea de fabricar dicho acero electrostático, primeramente en forma de probetas principalmente porque antes de formar barras largas, fue necesario probarlas ante la máquina de esfuerzo deformación; incluso antes de generar barras muy largas, la DGN (Dirección General de Normas) pone como base ciertas especificaciones y medidas exactas para probar nuevos aceros en forma de probetas cuando se tiene la intención de patentizarlos y así determinamos que antes de crear barras largas, se fabricarían probetas para detallar que módulo de elasticidad y ductilidad contenían.

Fue por ello, que nos dimos a la tarea de comprar una base de hierro común pero lisa en su superficie para empezar con la limpieza de la misma y posteriormente sumergirla en los metales ya fundidos, por lo tanto el experimento se desglosó paso a paso de la siguiente manera:

La base de hierro utilizada fue una barra de acero lisa de tipo Os sólida con una composición de hierro y carbono, como comúnmente las conocemos y con un área nominal de ½ pulgada, que sirvió de base para formar el acero electrostático.



Figura 37: Barras de Hierro lisas tipo OS Sólido  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal

Antes de aplicar los depósitos metálicos alrededor de la barra, fue fundamental que la superficie de la barra estuviera limpia. Los materiales extraños que se encontraban presentes en forma más común sobre la superficie metálica, fueron los siguientes:

- La primera clase encontrada fue la **grasa o mugre** que incluía compuestos grasosos o aceitosos que fueron aplicados para prevenir la corrosión de éstas mientras se encontraban almacenadas, así como aquellas que se aplican durante las operaciones de maquinado y de corte como ceras y grasas para pulir y esmerilar las superficies haciéndolas más tersas; estas ceras generalmente son compuestos por abrasivos, pegamentos y preservativos que muestran propiedades lubricantes<sup>(55)</sup>

(55) Tipos de impurezas que contienen las barras de hierro, tomado del libro “Galvanotecnia y Galvanoplastia en metales”

- La segunda clase de impurezas incluían todas las partículas extrañas que no se derivaban de la base metálica, sino de **partículas o polvo** que se mezcló con las grasas y ceras que se le aplicaron a la barra; por lo regular este tipo de impurezas fueron partículas de arena o de acero que pudieron haber sido atraídas a la superficie del metal como resultado del rolado y la limpieza en fábrica mediante a chorro
- Y la tercera clase de material contaminante encontrado consistió en **compuestos metálicos como óxidos** que fueron formados o dejados sobre la superficie metálica como resultado del vaciado, rolado, maquinado y tratamientos térmicos; en casos específicos tales como el grafito y sulfuros

En general fue esencial quitar todas las sustancias extrañas de la superficie de la barra antes de proceder con el método de baño de metales por fundición.

Al adquirir las barras de hierro se analizó aun más a fondo el tipo de impurezas encontradas como:

- Compuestos saponificables representados por grasas como la “Estearina” que es un éster o sal orgánica conocida como triestearato de glicerilo, formado por la combinación de glicerina + ácido graso (ácido esteárico).
- Compuestos no saponificables constituidos por hidrocarburos que son compuestos de hidrógeno y carbono derivados del petróleo en forma de aceites lubricantes, así como un agregado de parafina muy tenue como la carnauba, que funcionaba como tapadora de poros en el metal.
- Una película de oxido de hierro y grafitos mezclados entre las sustancias grasosas.



Figura 38: Impurezas encontradas  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal

Para poder limpiar este tipo de impurezas se utilizaron mezclas limpiadoras modernas, que contenían sustancias tensoactivas, es decir con agentes humectantes que mejoran la limpieza de la superficie y disminuyen la tensión superficial, desplazando las películas aceitosas de la barra.

Para efectos de experimentación, se verificó también que la barra, no estuviera despostillada o maltratada.

Es importante mencionar que la barra de hierro no debe tener defectos morfológicos como fisuras o porosidad, ya que puede ocasionar que la adherencia de los metales pueda ser de mala calidad.

Es necesario mencionar que antes de limpiar las barras se llevará a cabo el trabajo por torneado y cortado de las mismas para generar probetas de hierro y realizar pruebas a tensión de acuerdo con lo establecido por la Dirección General de Normas y así antes de fabricar barras largas de acero electrostático se verificará si dichas probetas electrostáticas contienen mejores ventajas y propiedades mecánicas.

## 5.2 PROCEDIMIENTO DE PREPARADO, CORTADO Y TORNEADO DE PROBETAS

Las barras de hierro se cortaron cuidadosamente con una sierra eléctrica especial que se utiliza para el cortado y doblado de varillas; posteriormente se llevaron al trabajo de torneado para darles una forma específica como se muestra en la imagen, respetando las siguientes medidas que establece la Dirección General de Normas

1. Longitud de las barras: 7" (pulgadas)
2. Anchura de las barras:  $\frac{3}{4}$ " (pulgadas)
3. Anchura en el torneado:  $\frac{1}{2}$ " (pulgadas)
4. Longitud de la parte torneada: 2" (pulgadas)
5. Radio del torneado:  $\frac{1}{2}$ " (pulgadas)



Figura 39: Dimensiones reales  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal

La intención de respetar estas distancias exactas en las probetas, fue porque la DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS (DGN) las exige para pruebas experimentales a nuevas composiciones o aleaciones de acero específicamente para la máquina de Esfuerzo – Deformación; ya que si dichas probetas no cuentan con las dimensiones restringidas, no se pueden generar las experimentaciones de esfuerzos en el acero que se propone, ya que los resultados pueden ser no confiables.



Cabe señalar que las probetas que se someten a experimentación, deben de tener la dimensión exacta que define la DGN y así proseguir con la investigación experimental.



Figura 40: Torneado Final en probetas  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal

En la imagen se presenta la forma en que quedaron torneadas dichas barras, en este caso se respetaron estas medidas, porque después de aplicarles los baños con metales que conformarán al acero electrostático como el **cobre, aluminio, níquel y cromo**, se someterán a la máquina de **esfuerzo - deformación** para comprobar **los esfuerzos a la ruptura, de fluencia, elongación, deformación unitaria y sobre todo verificar si realmente contiene un alto módulo de elasticidad mayor a 2, 100, 000 kg/cm<sup>2</sup>**.

Para este efecto de baño o amalgamación por metales se tornearon y cortaron 20 probetas, que serán utilizadas para la experimentación completa del tema de investigación; cinco de estas se someterán a las pruebas de esfuerzo y deformación sin baños con metal y las 15 restantes se someterán con baños de metales para registrar las diferencias entre unas y otras y los esfuerzos resistentes que éstas contienen.

### 5.3 PROCESO DE LIMPIEZA EN LAS PROBETAS DE HIERRO

#### Primera Etapa:

Las barras de hierro se lavaron primeramente con agua y jabón; el agua se calentó en una parrilla hasta los 40°C y se vació posteriormente en un refractario de cristal, donde se sumergieron las barras de manera segmentada, es decir de cinco en cinco; después de 2 minutos se sacaron y se les aplicó detergente para trastes en polvo (mca Salvo); se enjuagaron con agua fría y se secaron con un lienzo de tela libre de algodón.



Fig. 41: Limpiado con agua y jabón  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal

### Segunda etapa:

Posteriormente éstas se introdujeron dentro de un recipiente que contenía 300 mililitros de agua + 300 mililitros de ácido sulfúrico; (Solución al 50%) ambas sustancias fueron mezcladas y calentadas hasta los 80°C.



Figs. 42 y 43: Preparación de sustancias  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal

Cuando estas alcanzaron dicha temperatura las probetas se sumergieron con mucho cuidado y al calentarse dentro de la solución comenzaron a burbujear como si éstas se estuvieran derritiendo; ya que la solución de agua + ácido + hierro actúa como un fuerte electrolito y desprende iones de metal de hierro e hidrógeno que se emiten directamente de las probetas enviándolos directamente a la atmósfera junto con vapores del ácido sulfúrico; generando además un olor picante que es casi insoportable.



Fig. 44: Sumersión de probetas en la solución  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal



Fig. 45: Acción por desprendimiento de iones de metal  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal

Las barras se depositaron dentro de la solución por un periodo de 20 minutos; posteriormente se extrajeron del recipiente y se mojaron con agua fría para endurecer su composición; en el momento en que se extrajeron de la solución, las probetas salieron de color negro y al contacto con el agua se tornaron blanquiscas principalmente por la producción de sulfuros en la superficie de las mismas.



Figura 46: Baño de probetas con agua helada  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal

Con este proceso de limpieza con ácido sulfúrico, se removieron las impurezas como la Estearina, Grafitos y Polvos revueltos; para este caso el ácido sulfúrico es un agente limpiador para metales, específicamente cuando se utilizaran para tratamientos térmicos.



Fig. 47: Apariencia final después de la 2da limpieza con  
ácido sulfúrico  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal

## 5.4 PROCESO DE CORRUGACIÓN EN LAS PROBETAS DE HIERRO

1. En una resistencia eléctrica se calentaron 600 mililitros de Ácido Clorhídrico hasta un punto de 70°C; y después se calentaron 300 mililitros de agua común (potable) hasta 70°C; ambas sustancias se vaciaron en un refractario de cristal altamente resistente y se mezclaron; así al mezclarse se introdujeron 5 barras por proceso de experimentación.



Fig. 48: Probetas sumergidas en solución con ácido clorhídrico  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal

2. Las barras se introdujeron en esta mezcla de ácido clorhídrico y agua, para limpiarlas de todas las impurezas y además para generar en ellas una **rugosidad** similar a las varillas de uso común, pero con el objeto de que al ser introducidas en el los metales fundidos, estos se adhieran mejor; cabe señalar que con la presencia del ácido clorhídrico dentro de la mezcla, las corruga esparciendo sus moléculas a través de pequeños montículos microscópicos los cuales permitirán la adherencia de los nuevos metales.
3. Dichas barras se dejaron sumergidas en un periodo de 5 minutos, para generar una mejor corrugación, después de recibir el proceso de corrugado se dejaron secar a la intemperie, sin tocarlas; cabe señalar que después de éste proceso quedó estrictamente prohibido **tocarlas con las manos**, ya que la grasa corporal en específico el sudor húmedo o seco de las manos que es imperceptible, genera contaminación por grasa que resta hasta al 60% la buena adherencia de los metales.
4. Al sacarlas del recipiente; se hicieron a través de pinzas metálicas, se pusieron a la intemperie (dentro del laboratorio) hasta secarse completamente tardando un promedio de 20 minutos; posteriormente se introdujeron en bolsas negras de carbono plastificado, selladas en la parte superior evitando la entrada de aire o luz.



Fig. 49: Apariencia final de las probetas después del baño  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal

Después de este tratamiento de rugosidad las barras se tornaron grisáceas y con bastante rugosidad dejando ver la porosidad del hierro, y así con este tratamiento final; se pudo realizar el baño con metales con las mismas. En la imagen inferior se nota la diferencia a la izquierda cuando ya han sido tratadas con ácido clorhídrico que las barras ubicadas a la derecha que sólo han sido tratadas con ácido sulfúrico.



Figura 50: Diferencias por rugosidad en probetas  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal

## 5.5 PROCESO DE AMALGACIÓN CONCÉNTRICA DIRECTA POR BAÑOS DE METAL

El proceso de amalgamación de metales en las barras se llevó a cabo en el Laboratorio de Fundiciones de la FES Cuautitlán que pertenece a la Licenciatura de Ingeniería Metalúrgica; (Bajo la responsabilidad del Ing en Metalurgia Alfredo Dávila P) donde hallamos Hornos de Fundición de Metales por Inducción que ascienden a temperaturas mayores a 1500°C.



Fig. 51: Hornos de fundición por Inducción  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal

Para este proceso se llevaron a cabo los siguientes aspectos:

1. Se consiguieron los metales como el cobre, aluminio, níquel y cromo en un centro de distribución y venta de desperdicio de metales.
2. Antes de adquirirlos, se revisó que no estuvieran en mal estado, es decir que tuvieran buena apariencia, sin fisuras y sin desperfectos a la vista.
3. Para tal proceso de amalgamación, se adquirieron 20 Kg de Cobre, 30 Kg de Aluminio, 20 Kg de Antimonio, 5 Kg de Níquel y 5 Kg de Cromo ( Es necesario mencionar que estos últimos metales fueron los más caros por lo tanto se adquirieron en menor cantidad)

Todos estos metales ya adquiridos, antes de ser fundidos se hundieron en un refractario con agua común a 30°C, para sensibilizarlos y limpiarlos con un trapo en seco; después se introdujeron en otro refractario con un poco de Ácido Nítrico, para eliminar las impurezas de almacenamiento en cada metal.

## PROCESO DE AMALGAMACIÓN POR METALES

- Se requirió de una pequeña olla de fundición con dimensiones de 50 cms de ancho x 22 cms de ancho.
- Un horno de fundición con capacidad máxima de fundición de 2000°C propiedad del laboratorio de Metalurgia de la FES Cuautitlán.
- Unas pinzas de crisol para realizar los baños de las barras metálicas, para no tocarlas con las manos
- Un termómetro para fundición de metales
- Y un escurrido de metal fundido.

El proceso fue tardado y lento principalmente porque no es fácil recurrir a la fundición de metales, ya que se requirieron muchas medidas de seguridad, como no tocar las barras de hierro con las manos después de remojarlas en los metales fundidos, tener tapabocas en el momento en que el metal fundido se saca de horno, y sobre todo cuidarse de no tocar los metales fundidos porque ocasionaría la pérdida de la mano o de algún dedo; por tal motivo se realizó con todas las medidas necesarias.



Fig.52: Horno en incandescencia fundiendo cobre  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal

En primer lugar se colocó dentro de la olla 10 Kg de cobre; posteriormente se introdujeron al horno de fundición, programado a una temperatura de **1085°C**, temperatura necesaria para fundir el cobre; y en un periodo de 4 a 5 horas, el cobre estaba completamente en estado viscoso y en estado de fusión; en ese momento se extrajo la olla del horno y con las pinzas de crisol se remojaron 5 barras y al introducirlas por un periodo de 2 minutos cada una, se colocaron en el escurridor de metal.

Un aspecto importante a mencionar es que cuando se derritieron los 10 Kgs de cobre, en el momento en que pasa a estado líquido, el metal reduce su volumen, se contraen sus moléculas y parecería que se fundieron tal solo 2 Kg del mismo.



Y así al generar el primer baño en las barras, estas se tornearon de color anaranjado y brillante para después dejarlas reposar por 1 día para que el metal fundido pudiera secarse y adherirse a las corrugaciones mismas de cada barra.



Fig. 53: Probeta recubierta con metal de Cobre  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal

Al día siguiente, se procedió a fundir el Aluminio, para ello se tuvieron que remover todos los depósitos de cobre dentro de la olla fundidora de metal, para colocar ahora dentro de ella 10 Kg de Aluminio; al colocar el segundo metal, se introdujo dentro del horno a una temperatura de **660°C** y al paso de 10 minutos el aluminio estaba completamente fundido, se extrajo del horno y se repitió el mismo procedimiento que con el cobre, las barras se remojaron en el aluminio y se tuvieron problemas muy serios ya que al introducir las barras dentro del aluminio este contenía una gran nata de color negro, lo que repercutió en que la adherencia del metal fuera de manera irregular como se muestra en la figura inferior; y por este tipo de adherencia la barra se tuvo que torner nuevamente para quitar los residuos de nata hasta dejar la barra completamente brillante para poder proseguir con los baños de otros metales; por otra parte al investigar en libros de metalurgia nos pudimos dar cuenta que las propiedades físicas del aluminio, son completamente distintas a las del cobre, y dichas características no les permite unirse tan fácilmente en la fundición o amalgamación de uno con otro; principalmente porque el aluminio es un metal muy suave.



Fig. 54: Adherencia tipo del Aluminio en las barras  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal



Fig. 55: Horno fundiendo metal de Aluminio  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal



Fig. 56: Acabado final de la barra con Aluminio  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal

Posteriormente se realizó el baño con níquel y cromo; para tal proceso se mezclaron níquel y cromo del mas puro; el níquel a través de las antiguas monedas de los años 70's, 80's, y el cromo por medio de pequeñas hojuelas; después de depositar ambos metales dentro de un recipiente metálico se introdujeron al horno y cuando éste alcanzó los 1455°C, los metales alcanzaron su estado de fusión máximo y así de forma rápida se extrajo el recipiente del horno y se remojaron las barras dentro de éstos, en este caso el proceso de baño tuvo que ser demasiado rápido ya que si se dejaba la barra dentro del níquel por más de dos segundos, el níquel y cromo fundido retiraría las capas anteriores de cobre y aluminio.

Después de mojar las barras en ambos metales, se dejaron reposar por dos días más y se tornaron de color muy brillante como se muestra en las imágenes inferiores.



Fig. 57: Fundición de Cromo y Níquel  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal



Fig. 58: Probeta terminada con los tres baños de metales  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal



Fig.59: Acabado Final de las Probetas con Níquel y Cromo  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal

## 5.6 REALIZACIÓN DE PRUEBAS EN LABORATORIO POR “ESFUERZO – DEFORMACIÓN”

Después de haber depositado los metales en las barras de hierro, se sometieron a pruebas de esfuerzo y deformación, para verificar el módulo de elasticidad que presentaban. (Laboratorio de Ingeniería en metalurgia FES CUATITLÁN)

El primer paso fue colocar una de las barras dentro de la máquina tipo que se muestra en la figura 60 y 61



Fig. 60: Máquina de Esfuerzo – Deformación para metales  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal



Fig. 61: Tipo de Colocación para la prueba a tensión  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal

Posteriormente se accionó el dispositivo para sujetar dicha barra de cada uno de sus extremos y así provocar una fuerza de tensión de 30,000 kg por cada extremo.

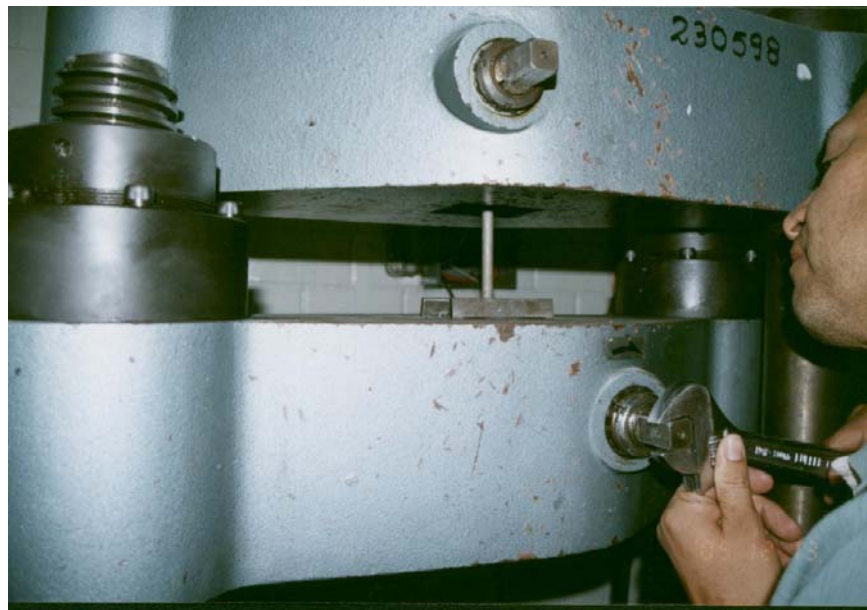


Fig. 62: Sujeción de la barra electrostática a la máquina  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal

Después de 15 segundos aproximadamente de esfuerzo a 30 Toneladas por tracción la barra llegó a su límite de fluencia partiéndose en dos partes desiguales, generando una ruptura del tipo "Cráter cónico" lo que indica que la barra contiene una buena ductilidad y gran capacidad de esfuerzo a la deformación.



Fig. 63: Estado límite de Fluencia de las barras  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal

## 5.7 RESULTADOS

Finalmente las Barras electrostáticas después de haber sido sometidas a esfuerzo por tensión, tuvieron un incremento longitudinal de 2.1 centímetros, a partir de su dimensión original como se muestra en la figura 51, y un **MODULO DE ELASTICIDAD (E)** de 3, 142, 150 Kg / cm<sup>2</sup> correspondiente a un 49% más que el considerado en las varillas comunes de 3/8" que incide en 2,100, 000 Kg/cm<sup>2</sup>, por lo tanto hasta este momento, dentro de la investigación se puede validar una de las primeras hipótesis, donde el acero electrostático con la amalgamación de metales como el cobre, aluminio, níquel y cromo si incrementan el valor del módulo de elasticidad mucho más que en los armados convencionales de hierro y carbono.

Con este incremento, podemos deducir que estas barras electrostáticas mantienen un comportamiento más elástico que las varillas de hierro y por lo tanto el valor de la ductilidad y alternancia también aumentan siendo valores indispensables para soportar ondas sísmicas.

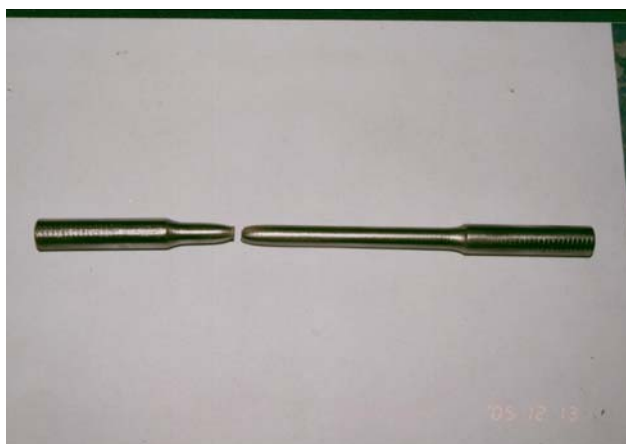


Fig. 64: Incremento de Deformación Final en la Barra, generando un rompimiento asimétrico  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal



Fig. 65: Tipo de Fisura de Cráter Cónico  
Imágenes tomadas por Jorge Vélez Carbajal

## CONCLUSIONES.

La experiencia al elaborar este proyecto de investigación, fue sumamente apasionante, especialmente porque nosotros como arquitectos tenemos que desarrollar un panorama netamente multidisciplinario, es decir debemos de interactuar con otras muchas disciplinas para poder crear o innovar algún conocimiento que sea benéfico para nuestro campo que es la arquitectura.

Ahora, el tema de investigación titulado “El acero Electrostático como refuerzo en estructuras de concreto” fue un poco complicado y laborioso; sobre todo porque no es un producto comercial e industrializado, como lo es en Canadá el acero con polímeros de fibra de vidrio, sino que se empezó a experimentar hace poco tiempo en la Universidad de Nevada en Estados Unidos para una finalidad “ hacer estructuras fuertes a la corrosión por cambios climáticos bruscos”, este tema lo conocí a través del asesor “Doctor Humberto Acedo Espinoza” quien ha tenido grandes experiencias profesionales en muchas partes del mundo incluyendo universidades e institutos de investigación, durante su curso de Adecuación Geométrica Estructural se hablaron varios detalles sobre ciertos materiales y con ello comprobamos que todos aquellos materiales con alto valor de módulo de elasticidad serían óptimos para resistir los sismos y con ellos evitar los desplomes de estructuras sobre todo de concreto armado, y fue así que me di a la tarea de consultar diversas páginas de internet y asistir a diversos congresos de ingeniería estructural para enterarme sobre el desarrollo y estudio de ciertos materiales sismorresistentes; después de conocer ciertos sistemas novedosos, depuramos la información, recopilamos lo más importante y retomamos la investigación del acero electrostático surgido en Nevada, pero con un enfoque completamente distinto y fue entonces que entre el asesor y yo lo experimentamos e investigamos de otra manera, aplicándolo a cuestiones sísmicas y no térmicas, principalmente porque en México a través de los años hemos sufrido grandes estragos por diversos sismos y terremotos que han cobrado la vida de miles de personas; al retomar este tema de la universidad de nevada, no “copiamos” lo que ellos actualmente hacen, sino que realizamos estudios propios y muy amplios sobre los componentes y materiales que nuestro propio acero electrostático debía de contener, para soportar grandes sismos; para tal efecto, primero investigamos los tipos de deformaciones que sufren las estructuras de concreto después de un fuerte sismo, y dichos casos fueron explicados en el capítulo 2 de este trabajo de tesis, que consisten en efectos como el cortante, aplastamiento, desplazamientos horizontales, torsión, giros de nodos de unión entre traveses y columnas, rotación de columnas y finalmente los efectos por flexión y deflexión de traveses, losas y columnas; cabe señalar que estos efectos sucedieron por los malos armados de las secciones, la falta de geometría y sobre todo que en algunos casos se excedió el límite de la carga viva con el que se diseñaron los inmuebles; en conclusión este capítulo se desarrolló para saber que efectos tendríamos que evitar con el acero electrostático en caso de un fuerte sismo, por lo tanto fue básico citar que es lo que genera un sismo a nuestras estructuras y también es necesario señalar que estos efectos se presentan de manera simultánea por lo tanto se recomendó que en el diseño de los nudos de unión entre traveses y columnas se diseñará el confinamiento de anillos doblemente armados de forma longitudinal y transversal formando un emparrillado muy cerrado, después de analizar dichas deformaciones; buscamos que tecnologías en estructuras eran las más viables y que novedades sismorresistentes existían hasta la fecha, entre ellas encontramos todas las mencionadas en el capítulo III de este trabajo.

Cuando descubrimos los nuevos sistemas estructurales dentro de la Ingeniería Civil, debo mencionar que existe un gran avance sobre nuevos sistemas estructurales sobre todo en países como Canadá, Japón, Brasil y Estados Unidos, que día con día avanzan y proponen materiales más resistentes como los mencionados en el capítulo III como los polímeros de fibra de Vidrio en Canadá, la fibra de carbono en Brasil, el uso de la ceniza volante en Monterrey Nuevo León, y los amortiguadores sísmicos que actualmente han sido usados en México y que hasta la fecha han dado muy buenos resultados.

Al redactar este capítulo rescatamos cosas muy interesantes como ciertas recomendaciones sismorresistentes ya que todos estos tipos de sistemas fomentan la flexión y mitigan el cortante cuando se presenta un sismo, recomiendan armados de estribos en las uniones muy confinados y en el caso de los amortiguadores se recomienda adosar a las estructuras metales suaves pero dúctiles como el plomo para disipar las ondas sísmicas y evitar los esfuerzos límites de los armados en las estructuras, fue por ello que en este trabajo de tesis se buscó un material de características similares, adoptando así el aluminio como metal antiesfuerzos horizontales por sismo.

Y así al redactar los primeros tres capítulos de la tesis sabíamos que efectos tendríamos que evitar en las estructuras en caso de un fuerte sismo y como deberíamos de evitarlo gracias a la investigación analógica de los sistemas estructurales novedosos.

Posteriormente el capítulo IV citamos todos los antecedentes sobre el acero electrostático, sobre donde surgió, quien lo investigó, para que, y la finalidad del mismo; es necesario señalar que el tema de investigación nació dentro de los laboratorios de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, por una necesidad de contener un acero que resistiera a las bajas y altas tensiones de luz y sobre todo que tuviera una mayor capacidad de conductividad eléctrica y de manera accidental se da a conocer a los Ingenieros de la Universidad de Nueva Nevada, quienes al descubrir sus alto módulo de elasticidad deliberan que puede ser útil para otros campos de investigación como son las estructuras tanto de concreto como de acero.

Así después se retoma el tema pero dándole otro enfoque para otras funciones muy distintas, y así en este caso se crea la primer propuesta tecnológica dentro del trabajo de tesis, usar dicho acero para efectos sísmicos y finalmente se elabora un esquema metodológico a seguir para obtener dicho acero; a través de estudios de los diversos aceros existentes, aleaciones, fusiones, formas, metales, y en cuestión de estos su abundancia, comportamiento y usos; después de todos estos estudios, se fabrica el acero a través de una manera muy simple que consistió en comprar una barra cilíndrica lisa del tipo OS sólido, se cortaron en forma de probetas y posteriormente se definieron exactamente los materiales a usar con la finalidad de obtener un acero con altos valores de módulo de elasticidad, mayor alternancia ante sismos y una ductilidad aceptable.

Al delimitar que metales teníamos que usar, se llevaron a cabo las limpiezas con agua y ácidos que nos permitieron liberar todas las impurezas que las barras contenían; después se llevaron a cabo con un poco de dificultad los baños sobre las barras con los metales en estado líquido, ya que uno de los casos más difíciles fue fundir el cobre a temperatura de 1500°C, ya que tuvieron que pasar más de 6 horas para poderlo fundir, y con ello tuvimos la experiencia de que el cobre es un metal maleable y fácil de obtener, pero en el campo de la metalurgia es el metal más “traicionero” por que para alcanzar su punto de fusión



muchas veces es muy difícil; en el caso del aluminio al fundirlo creó reacciones químicas muy raras, ya que produjo bolsas negras en su consistencia y en el momento de sumergir las barras, se adhirió de forma muy irregular como se mostró en el capítulo V de este trabajo, y al contrario del cobre el aluminio tardó en derretirse sólo en 5 minutos a temperatura de 700°C; en el caso del Níquel y del Cromo aunque son metales muy fuertes tardaron de igual forma 6 horas en llegar a su punto de fusión pero como su morfología es más rígida; los baños en las farras fueron muy parejos y no se tuvo ningún problema al sumergirlas, después estas probetas se dejaron secar para que la adherencia metálica tuviera una mejor calidad.

Después de fabricar este acero en laboratorio de experimentación, las probetas con baños de metal se sometieron a pruebas de esfuerzo – deformación, cuando las probetas recibieron el esfuerzo a tensión en cada uno de sus extremos, el estrangulamiento, fue a las tres cuartas partes de su longitud, creando una ruptura del tipo de cráter de volcán lo que fue considerado por los encargados de dicha máquina como un acero bastante dúctil y elástico obteniendo un primer éxito, logrando un módulo de elasticidad mayor a 3,000,000 Kg/Cm<sup>2</sup>, cabe señalar que es la primera vez que desarrollo este tipo de trabajo experimental y con esta pequeña aportación se abren grandes puertas de investigación sobre este refuerzo estructural; aunque para fines de estudios de Maestría me encuentro muy satisfecho de haber logrado esta aportación puntual en el tema de Tesis, aunque debo mencionar que esta investigación tiene bastante futuro, para lograr buenos resultados en trabajos de tipo doctoral y así aportar a la arquitectura otros campos de conocimiento.

Dentro de mi experiencia al innovar este acero, es que muchas veces las personas que se encuentran dentro del campo de la ingeniería estructural, no creen tan fácilmente en lo que nosotros planteamos o creemos que será benéfico para el campo de conocimiento, además de la falta de apoyo de los institutos de investigación y otras situaciones, que además de hacer más difícil el trabajo de experimentación, cierran aún más la puertas o vertientes de la investigación en México.

Esta investigación reflejó altas y bajas, altas en el resultado tan favorable que obtuvimos finalmente, después del miedo que la gente cosechó en mí, al decirme que tal vez este acero no funcionaría y bajas por el desgaste, incertidumbre, lucha y tenacidad por querer lograr las cosas; aunque si hiciera un balance entre éstas, el trabajo de tesis obtuvo más altas que bajas, al demostrar que el ACERO ELECTROSTÁTICO si tiene un futuro y que con este se han abierto puertas y caminos hacia una nueva concepción de refuerzos en el campo de las estructuras.

A través de estas conclusiones doy las gracias a todos los profesores que me apoyaron de gran forma en la conformación de este documento como: Dr. Humberto Acedo Espinoza, Dra. Gemma Verduzco Chirino, Dr. Daniel Aldama Ávalos y Mtro. Francisco Reyna Gómez, que sin su apoyo este trabajo no hubiese tenido el mismo efecto que hasta ahora tiene.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.

### BIBLIOGRAFÍA DE GABINETE

- David, J Dowrick, DISEÑO DE ESTRUCTURAS RESISTENTE A SISMOS, Editorial Limusa, Tercera Edición año 2000
- Julio Souza Abad, RESISTENCIA DE MATERIALES, Apuntes de la FES ARAGON, Editorial UNAM, Agosto 1988.
- Eugenio Peschard, RESISTENCIA DE MATERIALES, VOLUMEN I, Textos Universitarios, UNAM, Quinta Edición 1992.
- Eugenio Peschard, RESISTENCIA DE MATERIALES, VOLUMEN II, Textos Universitarios, UNAM, Quinta Edición 1992.
- P.C.L Croxton, L.H Martin, G.M. Mills, RESISTENCIA DE MATERIALES, Editorial Concepto, México 1989.
- Francisco Méndez Chamorro, CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURAL, Editorial Trillas, Primera Edición 1991.
- Cuevas Rodríguez, COMPORTAMIENTO DE ELEMENTOS DE CONCRETO, Editorial Limusa 2003
- MANUAL DE CONSTRUCCIÓN EN ACERO, Diseño por Esfuerzo Permisibles, Editorial Limusa, cuarta edición 2004
- James Ambrose, ESTRUCTURAS, Colección de Textos Politécnicos de Serie de Construcción Civil, Editorial Limusa, México 1998.
- Blum William, GALVANOTECNIA Y GALVANOPLASTIA, Editorial Limusa 1981
- Raymond A. Higgins, INGENIERIA METALURGICA, Tomo I Editorial Continental, 5da Reimpresión 1998.
- Raymond A. Higgins, INGENIERIA METALURGICA, Tomo II Editorial Continental, 5da Reimpresión 1998.
- Luis A. Valdivia Cuadernos de Información, INSTITUTO DE GEOFÍSICA, Editorial UNAM, México 1999.
- Ramón García – Pelayo y Gross, Enciclopedia de las Ciencias Larousse, Tercer Volumen “Metales y Metaloides” México 1984.
- Apraiz, Aleaciones de los Aceros, Editorial Limusa, México 1987.

### BIBLIOGRAFÍA DIGITAL

- CD, XIV CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL, Sociedad mexicana de Ingeniería Estructural, Acapulco Guerrero 2004.
- CD, XIV CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Aplicaciones a la Práctica Profesional, Acapulco Guerrero 2004.
- Páginas de Internet diversas sobre aceros depositados e innovaciones tecnológicas sobre estructuras de concreto armado.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS.

**Acero Electrostático:** Es un material compuesto a través de una aleación o combinación de diversos metales con gran capacidad de conducir energía eléctrica, además de contener grandes ventajas ante esfuerzos de tensión.

**Alternancia:** Es la capacidad de un elemento de refuerzo de ir y venir de un sentido a otro, sin perder su estado original, es decir su capacidad de no deformarse

**Amortiguador:** Característica sísmica de un elemento para soportar cargas dinámicas externas por sismo o viento que evita daños internos y externos a las estructuras de cualquier inmueble.

**Aplastamiento:** Efecto de deformación por sismo que consiste en el acortamiento longitudinal de una sección estructural ya sea horizontal o transversal

**Ceniza Volante:** Compuesto o residuo altamente tóxico, que por sus propiedades químicas tan fuertes se ha convertido en un aditivo alterno que al usarse en la mezcla con cemento común genera un endurecimiento mayor que cuando usamos agregados como grava y arena.

**Choque eléctrico:** Es la cantidad de voltios eléctricos que se le aplicaron a las barras electrostáticas, con la finalidad de adherir mejor las partículas de los metales a dichas barras.

**Colapso:** Estado límite de resistencia de una estructura que la lleva a caer, generando graves pérdidas materiales y humanas.

**Compuestos saponificables:** Compuestos grasos que se encuentran depositados en algunos metales producto del almacenamiento o guardado inadecuado

**Confinado:** Referente al refuerzo de una estructura y quiere decir “unido”, en el caso del refuerzo se refiere a que la separación entre anillos debe ser mínima a no más de 6 centímetros en el caso de uniones entre trabes y columnas.

**Cortante:** Efecto de deformación por sismo referente a grietas que se generan en las uniones de trabes y columnas, generando en su caso el colapso de las estructuras.

**Decapado:** Acción de generar rugosidad en un metal, a través de ciertas sustancias en estado de ebullición como son el ácido clorhídrico o ácido sulfúrico

**Deflexión:** Deformación por sismo en losas y trabes generando una curvatura fuera del centro de la tierra.

**Deformación unitaria:** Es el incremento de deformación en un material entre su longitud original

**Deformímetros:** Aparatos electrónicos que miden las microdeformaciones internas de las partículas de concreto en caso de un evento sísmico.

**Desplazamiento Horizontal:** Deformación por efecto sísmico que consiste en cambiar el estado vertical de las columnas generando un ángulo mayor de  $90^\circ$  , provocando inestabilidad en las estructuras.

**Discontinuidad en la rigidez:** Pérdida del estado de dureza de una estructura ante la capacidad de resistir fuerzas gravitacionales de sí misma o externas por efectos de viento, sismo, etc.

**Ductilidad:** Es la acción de trabajabilidad del acero considerando su deformación antes de su límite de fatiga o ruptura.

**Elongación:** Es su estado límite de fluencia antes de la ruptura

**Excentricidad:** Es el desacomodo de cargas gravitacionales en la estructura, lo que provoca inestabilidad ante un evento sísmico

**Flecha:** Es el punto máximo de una curvatura ya sea hacia el centro de la tierra o fuera de ésta.

**Flexión:** Deformación por sismo en losas y trabes generando una curvatura hacia el centro de la tierra.

**Fluencia:** Es el estado de plasticidad y elasticidad del acero, donde trabaja óptimamente en conjunción con el concreto confinado para brindar estabilidad a una estructura.

**Fuerzas horizontales:** Son las fuerzas producidas por sismo, que se manifiestan como cargas horizontales temporales y que afectan a trabes y columnas

**Giros de nodos:** Rotación de uniones entre trabes y columnas que conllevan al desacomodo total de marcos estructurales

**Impactos Aislados:** Son aquellos impactos productos de explosiones, caídas de objetos muy pesados o cargas fuertes que pueden afectar la estabilidad de la estructura

**Inducción:** Es el calor que brindan los hornos de fundición calentando los metales e induciendo el calor a través de toda su superficie

**Intensidad:** Se refiere al grado de sacudimiento en un sitio determinado

**Magnitud:** Es una medida cuantitativa del tamaño de un sismo independiente del lugar de observación, como lo es la escala Richter

**Módulo de elasticidad:** Es un coeficiente que nos indica que tan elástico puede ser un material

**Neopreno:** Elemento sismorresistente compuesto de un plástico altamente resistente y se caracteriza por estimular movimientos verticales, soportando los esfuerzos por sismos oscilatorios o trapidatorios

**Polímeros:** Son pequeñas partículas nanoestructuradas que se encuentran inmersas dentro de la fibra de vidrio y sirven para resistir altos impactos que eviten deformar las estructuras

**Resonancias:** Son efectos o secuelas de algún impacto fuerte que no se produjo en la estructura pero sí cerca de ella y se manifiesta en forma de vibraciones lo que puede ocasionar un desacomodo de cargas gravitacionales, afectando directamente a la estructura

**Respuesta Sísmica:** Es la reacción que tiene la estructura a resistirse ante alguna fuerza externa que pretenda desestabilizarla

**Rotación:** Giro de 360° de una estructura alrededor de su propio eje, producto de una fuerza horizontal por efecto sísmico

**Ruptura:** Estado límite de fluencia que conlleva a la falla por fatiga de un material

**Simulaciones Sísmicas:** Son aquellas pruebas experimentales de laboratorio, donde se someten a las estructuras ante diversas pruebas sísmicas, obteniendo resultados aproximados referentes a un sismo real.

**Sismorresistente:** Término utilizado a materiales o estructuras que reaccionan a favor o en contra del sismo eliminando sus efectos hacia el interior de los inmuebles

**Superestructura:** Parte superior de los inmuebles donde se consideran, trabes, columnas, losas y sistemas especiales; en este caso se desprecia la parte de la cimentación y los efectos del suelo

**Torsión:** Efecto sísmico que consiste en deformar en 2 sentidos los extremos de trabes y columnas, generando inestabilidad en toda la estructura