

**Proyecto:**

**Modelado de una membrana arquitectónica sensible a los cambios climáticos del cuadrante que forma la carrera 11 con calle 78 y la carrera 12 con calle 79 de la ciudad de Bogotá.**

**Elaborado por:**

**Cristian Camilo Aparicio Peralta**

**Tutor:**

**Daniel Gómez Gutiérrez**

**Universidad EAN**

**Facultad de Ingeniería**

**Ingeniería de Producción**

**Bogotá**

**9 de Julio de 2013**

## Tabla de Contenido

Índice de Tablas .....	2
Índice de Figuras .....	2
Introducción .....	4
Problema: .....	5
Objetivos: .....	7
General: .....	7
Específicos: .....	7
Justificación: .....	8
Alcance: .....	9
Localización: .....	10
Marcos Aplicables: .....	11
Marco Legal: .....	11
Marco Geográfico: .....	11
Capítulos de desarrollo: .....	12
Capítulo 1 Observación .....	12
Capítulo 2: Materiales .....	20
Materiales de la Estructura .....	20
Materiales de los cimientos .....	28
Los textiles .....	29
Capítulo 3 Diseño .....	36
Estructura .....	36
Sistema de sensores .....	40
Capítulo 4 La Simulación .....	52
Conclusiones: .....	66
Recomendaciones: .....	69
Bibliografía .....	70

## Índice de Tablas

Tabla 1 Presentación estación meteorológica .....	12
Tabla 2 Tabla general mes de Enero. ....	13
Tabla 3 Tabla general mes de Febrero. ....	14
Tabla 4 Tabla general mes de Marzo. ....	15
Tabla 5 Tabla general mes de Abril. ....	16
Tabla 6 Tabla general mes de Mayo. ....	17
Tabla 7 Tabla Análisis General. ....	18
Tabla 8 Propiedades mecánicas ASTM A -53 Grado A/ B.....	22
Tabla 9 Composición Química del acero ASTM A36 .....	24
Tabla 10 Propiedades mecánicas ASTM A -36 .....	24
Tabla 11 Propiedades mecánicas del perno ASTM A 325.....	26
Tabla 12 Propiedades mecánicas de la tuerca ASTM A 563 .....	27
Tabla 13 Resistencia a la compresión del concreto ASTM C-150 .....	29
Tabla 14 Coordenadas de las uniones (nodos) de la estructura.....	55
Tabla 15 Derivas pórtico longitudinal.....	63

## Índice de Figuras.

Figura 1 Localización de la universidad EAN .....	10
Figura 2 Composición química del acero ASTM A-53 .....	21
Figura 3 La tecnología Précontraint Ferrari .....	30
Figura 4 Propiedades STAMISOL Color.....	32
Figura 5 Propiedades Solares .....	33
Figura 6 Propiedades del material Précontraint 502. ....	35

Figura 7 Esquema Planta.....	37
Figura 8 Esquema general pórtico en isométrico.....	38
Figura 9 Estructura de la membrana dentro de la Universidad.....	39
Figura 10 Estructura de la membrana dentro de la Universidad (posterior).....	39
Figura11 Esquema General.....	41
Figura 12 Diagrama de automatización.....	42
Figura 13 Sensor de lluvia.....	43
Figura 14 Motor trifásico.....	44
Figura 15 Potencia.....	44
Figura 16 Operación Cúpula abierta.....	45
Figura 17 Membrana Abierta.....	46
Figura 18 Operación comienzo lluvia.....	47
Figura 19 Operación Lluvia.....	48
Figura 20 Membrana cerrada.....	49
Figura 21 Operación comienzo día soleado.....	50
Figura 22 Base de la estructura.....	52
Figura 23 Esquema general pórtico transversal en 2D.....	54
Figura 24 Numeración de nodos.....	55
Figura 25 Carga muerta.....	57
Figura 26 Carga viva.....	58
Figura 27 Carga de viento transversal.....	59
Figura 28 Carga de Sismo.....	60
Figura 29 Pórtico transversal deformación por carga muerta.....	61
Figura 30 pórtico transversal deformación por carga viva.....	62

## Introducción

La búsqueda de protección para el cuerpo siempre ha estado intrínsecamente relacionada con la sensación de seguridad. Todo esto viene desde hace mucho tiempo atrás en donde nuestros antepasados se refugiaban en las cavernas que ofrecía la naturaleza, si nos remontamos en el tiempo encontramos que aquellos primeros hombres de cromañón de la era paleolítica eran los que recibían el nombre de cavernícolas por tener dichas viviendas, con el tiempo todo esto fue cambiando hasta el punto en que el hombre vio la posibilidad de asociarse, crear asentamientos e ir a poblar el mundo. En aquel tiempo se dio cuenta que vivir en una caverna le cuartaba su posibilidad de ir a viajar, entonces construyó chozas en las cuales podía habitar y las cuales podía destruir cuando se marchaba del lugar. Pero las condiciones climáticas asediaban las chozas y se vio obligado a construir nuevos lugares dónde vivir con piedras más pequeñas y fue el origen de esas ciudades tan primitivas que a su vez son el acercamiento a las ciudades actuales, solo que ahora en vez de piedras se utilizan ladrillos. Para tener un acercamiento más claro miremos la ciudad perdida de Machu Picchu en donde las tribus Incas se asentaron con el fin de desarrollar una ciudad que prosperara aun encontrándose dentro de las montañas, es ahí en donde encontramos un ejemplo claro de cómo la evolución del hombre ha ido de la mano de sus creaciones a nivel de ingeniería y arquitectura en pro del desarrollo de las comunidades.

Si damos un vistazo al desarrollo urbanístico actual en el mundo podemos ver que en las ciudades actuales se preservan mucho los espacios comunes y con toda esta mentalidad ambiental las zonas verdes y demás lugares que ayudan en eso que denominan recreación la recreación, las condiciones climáticas siempre han sido parte del desarrollo de la vida, no desaparecen y por consiguiente se sigue buscando esa sensación de protección. Actualmente se han identificado problemas graves con respecto al tema climático pues se sabe que puede afectar seriamente la

salud de nosotros los seres humanos. Es ahí donde este proyecto tiene su importancia pues busca articular los conocimientos en ingeniería a una solución modesta que busca brindarles a sus usuarios una percepción de protección en los lugares en los que desarrolla su vida al estar afuera de su lugar de vivienda.

### **Problema:**

Es habitual encontrarse en cualquier parte de la ciudad y percibir la temperatura ambiente del lugar donde nos encontramos; también podemos evidenciarla en los termómetros que se encuentran en algunas de las paradas del medio de transporte local y avisos en los que aparte de avisar desvíos o pico y placa informan sobre el estado del clima en la ciudad. Todo eso sin contar los periódicos y las noticias que siempre destinan una parte del tiempo al aire a los pronósticos del clima en el país. Teniendo en cuenta esto, nos damos cuenta que en Bogotá, por su extensión, puede que en un barrio esté haciendo sol y en el otro extremo de la ciudad, en otro barrio, este lloviendo. Nuestra ciudad cambia de clima constantemente es decir las condiciones atmosféricas varían según la temporada del año o según como se acomoden las nubes en alguna parte de la ciudad, esto genera cambios bruscos de temperatura, cuando hay mucho sol, cuando hay mucho viento y cuando hay precipitaciones.

Las membranas o carpas actuales usan un solo textil para toda su estructura, un textil muy denso con pocas propiedades físicas como lo son la flexibilidad, cantidad de poros, filtros UV, por poner un ejemplo. Pero que dentro de sus expectativas como vendedores y fabricantes brindar protección de la lluvia y sombra en los días soleados tiene ese único y explícito fin. Esto hace que las membranas o carpas vendidas en la actualidad no cuenten con una protección ambiental más acorde al medio tan cambiante como el que tenemos en nuestra ciudad.

Todo esto lamentablemente desemboca en enfermedades que son producidas por la sobreexposición a la radiación solar. Según la OMS (Organización Mundial de la Salud) a nivel mundial se diagnosticaron 200.000 casos de melanoma maligno y se produjeron 65.000 defunciones relacionados con este tipo de cáncer en la piel. Además de esto aproximadamente, 18 millones de personas en el mundo han quedado ciegas a causa de las cataratas; y en números redondos el 5% de la carga de morbilidad relacionada con las cataratas se puede atribuir directamente a la exposición a las radiaciones ultravioleta esto sin contar que las lluvias pueden traer consigo la producción de cuadros virales en las personas que estén mucho tiempo bajo la misma.

Sabemos de por sí que las personas que tengan afecciones virales pueden contagiar a otras personas solamente con toser o estornudar. Actualmente en las carpas o lugares donde se aglomera la gente (buses, salones, etc) que cuando está lloviendo siempre llega mojada y aparte de eso viene con la popular gripa, si no se tiene en el espacio condiciones de flujo de aire limpio está comprobado que la posibilidad de contagiarse con la gripa de la otra persona es muy alta.

## **Objetivos:**

### **General:**

- Modelar un prototipo de membrana arquitectónica que por medio de sensores de temperatura reaccione a las condiciones climáticas del cuadrante que forma la carrera 11 con calle 78 y la carrera 12 con calle 79 de la ciudad de Bogotá.

### **Específicos:**

- Recolectar información climática de la zona donde se desarrollará el proyecto.
- Identificar las propiedades de los materiales aplicables a la ejecución del proyecto.
- Diseñar la estructura metálica de la membrana que contendrá un sistema de sensores.
- Validar por medio de simulación las áreas de mayor esfuerzo en la estructura.



### **Justificación:**

En vista de la calidad de las membranas y carpas actualmente vendidas en la ciudad, este proyecto busca hacer más tangible el concepto de membrana, ya que por lo general está asociado sólo a una sombrilla o carpa que dé sombra y sirva para no mojarse con la lluvia y en realidad va mucho más allá. De hecho para el desarrollo del proyecto, se tendrán como base los avances en la investigación y desarrollo de materiales nuevos, prestándole más atención a los relacionados con el sector estructural y el sector textil, generando una selección de materiales aplicables a los requerimientos de la zona y de esta manera obtener un proyecto moderno que se relacione con los últimos avances en dichas áreas.

El poder interactuar con el ambiente es uno de los principales objetivos del proyecto ya que es una membrana y ciertamente las membranas interactúan con su medio, lo que realizó es el diseño de una estructura que principalmente puede sostenerse, que interactúa con su medio, que puede ser construible y que brinde el apoyo necesario a la sección automática, esta sección conjuga los conocimientos en electrónica y automatización para convertirlos en la forma de comunicación de la membrana con el ambiente; de esta manera la estructura reaccionará con las diferentes temperaturas brindando sombra y protección solar cuando las temperaturas sean altas además de soluciones al flujo de aire interno y temperatura al interior de la membrana cuando se presenten precipitaciones o la temperatura sea baja, todo esto dando un gran paso hacia la construcción de membranas inteligentes que, sería el paso a seguir después de este proyecto.

### **Alcance:**

El proyecto tiene un desarrollo secuencial en el cual cada actividad aquí reseñada fue evaluada y archivada en un documento, es decir cada actividad principal contiene un informe en el cual se detalla la realización de la misma, especificando criterios y conclusiones finales, todo esto se ve reflejado en el documento final, ya que este contiene el desarrollo de todo el proyecto.

Para la parte del levantamiento de información se realizaron mediciones que están consignadas en una base de datos la cual muestra las principales tendencias de temperatura y nos da parámetros claros para comenzar a investigar los materiales que se usaran en el desarrollo del proyecto, en este segmento la investigación toma un gran valor ya que es aquí donde se identifican los materiales a usar, sus propiedades y de qué forma se utilizaron, se presenta en conjunto con el documento, el modelo realizado por el software apoyado por los correspondientes planos impresos para lograr una mejor apreciación. A su vez el documento final contiene el resultado y las conclusiones de la simulación a las partes de mayor esfuerzo en la estructura acompañado del sistema de sensores escogido para interactuar con el medio.

De esta manera se espera abarcar y desarrollar todos los objetivos previstos para generar un producto con calidad a la vanguardia en diseño, gestión de materiales y aprovechamiento de recursos automáticos y electrónicos dando un primer paso hacia las membranas inteligentes que sería el siguiente escalón en esta línea de investigación.

## Localización:

La Universidad EAN actualmente tiene 2 (dos) sedes académicas, dejando de lado los laboratorios la cual se encuentra en adecuación, y estas se encuentran ubicadas en la ciudad de Bogotá, capital de la República de Colombia, la primera ubicada en la Calle 72 Número 9- 84 que es conocida como sede Avenida Chile y la sede el Nogal la cual se encuentra en el cuadrante que forma la carrera 11 con calle 78 y la carrera 12 con calle 79 en la cual tiene epicentro el proyecto, en este mapa obtenido del Buscador Google (ver Figura 1) se encuentra la ubicación espacial de la Universidad.



Figura 1 Localización de la universidad EAN

Fuente: Google Maps, 2013

## **Marcos Aplicables:**

### **Marco Legal:**

Para el desarrollo de las actividades propias de la ingeniería y la construcción en nuestro país es indispensable apegarse a los estatutos vigentes. A continuación se enuncian las leyes, decretos y reglamentos claves para el desarrollo de este proyecto:

- Ley 400 de 1997.
- Decreto 926 de 2010 - Por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismo resistentes NSR-10.
- Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente – (NSR-10).

Estas se aplicaron en la medida en la que atañen al proyecto es decir no se tomaron en cuenta todas las normas ya que no estamos hablando de una edificación, pero sí de una futura construcción la cual tendría cargas y estaría en interacción con seres humanos.

### **Marco Geográfico:**

El proyecto se desarrolla en el cuadrante formado por la carrera 11 con calle 78 y la carrera 12 con calle 79 de la ciudad de Bogotá, Colombia, Sudamérica.

## Capítulos de desarrollo:

### Capítulo 1 Observación

Para poder situarnos con una visión clara en la magnitud del proyecto es necesario tener en cuenta que aunque es un proyecto de diseño y simulación es necesario considerar las características climáticas de la zona ya que es una membrana termosensible y no podemos hacer una buena gestión de materiales si no se tienen las características del entorno. Es por eso que se consolidó todo en una tabla la cual fue la unión de la investigación tomando datos aleatorios en días y horarios distintos y una tabla que se tomó de la página web [www.tutiempo.com](http://www.tutiempo.com), una página que tiene compilados anuales mensuales y diarios del tiempo de la ciudad de Bogotá desde el año 1942, cuyos datos reportados son avalados por la estación meteorológica “BOGOTA/ELDORADO” 802220 (SKBO). Por esta razón se decidió hacer un paralelo con la medición realizada y las suministradas por la página web con el fin de entregar una sola; se tomaron mediciones desde el primer día del año, 01/01/13 (primero de Enero de 2013) hasta el día 151 del año, 31/05/13 (treinta y uno de Mayo de 2013). Estas mediciones están segmentadas en sus respectivos meses (Enero, Febrero, Marzo, Abril y Mayo) con un análisis final, teniendo en cuenta el recuento total de sus parámetros de medición de esta manera tenemos los datos presentados en las Tablas 1,2,3,4 y 5.

Tabla 1 Presentación estación meteorológica

<b>Datos reportados por la estación meteorológica “BOGOTA/ELDORADO” 802220 (SKBO).</b>	
Latitud	4.7
Longitud	-74,3
Altitud	2547 Metros sobre el nivel del mar (m.s.n.d.m).

Tabla 2 Tabla general mes de Enero.

Tabla general del mes de Enero								
Día	Temp C°	Temp Max C°	Temp Min C°	Humedad relativa media (%)	Velocidad media del viento (Km/h)	Velocidad maxima sostenida del viento (Km/h)	Dias de lluvia	Dias de Tormenta
1	13.2	20.3	5.4	60	11.3	21.7		
2	12.8	21	4.3	60	12	22.2		
3	12.6	20.6	4	66	9.8	25.2		
4	12.9	21	5.2	70	9.6	22.2		
5	13.3	21.1	4	65	10.6	22.2		
6	12.6	21.2	3.4	63	11.5	25.9		
7	11.3	21	1	62	11.7	29.4		
8	12.1	21	3.5	64	13.9	28.7		
9	12.8	19.3	5	67	14.1	33.5		
10	14.6	22	8.4	66	13.7	35.9		
11	11.2	22.2	0.7	68	9.3	22.2		
12	13.4	19.4	6	74	9.1	25.2		
13	14.2	20	9.8	80	12.6	27.8	o	o
14	14.3	21	10	80	10.6	29.4		
15	14.1	20	7	77	10.6	25.9		
16	13.4	20.2	6.4	79	10.9	29.4		
17	14.5	21.2	10.7	80	11.9	42.4		
18	14.7	20.1	10.4	78	10.6	18.3	o	
19	13.4	20.5	4.8	74	9.3	24.1		
20	13.2	20.5	4.8	72	10.4	25.9		
21	14.4	21	9.4	71	10.2	25.2		
22	13.9	22	4.1	76	7.8	20.6		
23	14.3	22.4	6	76	10.2	25.2		
24	14.3	21	6	73	8.9	25.9		
25	15.7	21	12.8	76	8.9	24.1	o	o
26	14.6	21	9.5	77	9.1	25.2	o	
27	12.7	21.4	3.7	78	8.7	22.2		
28	14.4	22	6.6	60	11.7	25.2		
29	13.3	22	3	66	8.3	22.2		
30	13.3	22.3	4.3	74	9.4	18.3		
31	14.3	22.3	5.7	73	12.4	37	o	
Medias y totales mensuales								
	13.5	21	6	71.1	10.6	26.1	5	2

Fuente: (Bogota, Tu Tiempo, 2013)

Tabla 3 Tabla general mes de Febrero.

Tabla general del mes de Febrero								
Día	Temp C°	Temp Max C°	Temp Min C°	Humedad relativa media (%)	Velocidad media del viento (Km/h)	Velocidad maxima sostenida del viento (Km/h)	Dias de lluvia	Dias de Tormenta
1	13.7	21.5	9	79	8.9	25.2	o	
2	14.1	20	9.8	77	8.1	22.2		
3	13.8	21.1	5.5	76	8.5	24.1	o	o
4	13.7	20	8	82	10.4	25.9	o	o
5	13.8	20.2	10.5	84	9.8	25.9	o	o
6	14.3	20	11	84	8.3	28.7	o	o
7	14.6	20	10.6	78	10.2	24.1	o	
8	14.8	20	11	80	8.5	18.3	o	o
9	14.3	20.3	11.8	82	10	28.7	o	o
10	13.3	20.3	9.4	84	8.7	22.2	o	o
11	12.6	19	9	86	5.9	14.4	o	o
12	14.1	19.1	9.4	80	7.8	24.1	o	
13	13.3	19.1	6.6	76	11.3	24.1	o	o
14	12.4	19.2	6.7	82	9.8	21.7	o	
15	14.4	19	7.7	72	9.8	25.9		
16	13.2	20	7	72	9.3	22.2		
17	12.6	19.7	9	84	8	21.7	o	
18	13.5	18.2	11	80	8.7	18.3	o	
19	13.8	19	7.8	68	11.1	55.4		
20	14.4	20	9	64	12.2	24.1		
21	14.1	19.8	10	72	11.3	18.3	o	
22	14.3	19	9	71	11.5	21.7		
23	14.4	20	8.1	69	10.6	22.2		
24	14.8	20	10.7	74	10	21.7	o	
25	14	19.4	10.5	74	9.8	22.2		
26	13	20	5.5	71	9.6	33.5		
27	14.9	19.8	10.8	70	13.7	25.9		
28	15.1	19.4	10	71	9.3	18	o	
<b>Medias y totales mensuales</b>								
	13.9	19.8	9.1	76.5	9.7	24.3	18	9

Fuente: (Bogota, Tu Tiempo, 2013)

Tabla 4 Tabla general mes de Marzo.

Tabla general del mes de Marzo								
Día	Temp C°	Temp Max C°	Temp Min C°	Humedad relativa media (%)	Velocidad media del viento (Km/h)	Velocidad maxima sostenida del viento (Km/h)	Dias de lluvia	Dias de Tormenta
1	14.2	18.6	8.1	77	11.5	25.9	o	
2	14.3	21	9	65	13.3	22.2		
3	12.7	20.5	6.7	72	8.9	18		
4	13.4	18.3	10.7	83	8.3	18	o	
5	15.5	20	10.9	66	11.1	24.1		
6	16	20	11.1	64	13.3	25.9		
7	15.3	21	10.8	70	13.7	24.1		
8	14.6	21.3	9	72	11.5	29.4		
9	15.1	19.8	12	71	10.7	27.8		
10	13.3	19.6	6.2	77	12.4	27.8		
11	12.8	22	4.6	75	12.2	29.4	o	
12	13.8	21.6	9.5	77	7	14.4		
13	14.7	20	8	70	9.1	16.5		
14	14.1	20	9	79	8	16.5		
15	13.8	16	12	87	10.7	22.2	o	
16	13.9	20.4	8.6	78	12.4	35.9		
17	14.4	20.4	11	82	8	22.2	o	o
18	14.1	20	10.1	79	8.3	25.2	o	o
19	14.4	20.2	11	83	9.8	21.7	o	o
20	15.1	20.3	9.8	76	10.4	25.9		
21	14.7	20.3	10.5	83	10.2	27.8	o	o
22	14.1	20.2	11	84	8.5	25.2	o	o
23	12.7	18.4	8	83	7.2	18	o	
24	13.8	19.4	6	73	8.7	18		
25	13.8	21	5.9	78	8.5	25.9	o	o
26	14.4	21.4	7.6	76	12.8	25.9	o	o
27	13.4	21.4	4.8	65	11.9	28.7		
28	14.2	22.4	9	76	11.3	27.8	o	o
29	13.1	22.4	7.9	78	9.3	25.9		
30	14.6	19.1	10.9	71	13	22.2		
31	14.9	19.2	11.6	71	13.3	25.9		
<b>Medias y totales mensuales</b>								
	14.2	20.2	9.1	75.5	10.5	24	13	8

Fuente: (Bogota, Tu Tiempo, 2013)



Tabla 5 Tabla general mes de Abril.

Tabla general del mes de Abril								
Día	Temp C°	Temp Max C°	Temp Min C°	Humedad relativa media (%)	Velocidad media del viento (Km/h)	Velocidad maxima sostenida del viento (Km/h)	Dias de lluvia	Dias de Tormenta
1	14.2	20	9	71	13.5	29.4		
2	14.4	19.6	8.4	71	9.6	18.3		
3	13.4	21	7	79	8.7	25.2	o	
4	15.1	22	9.7	73	10.9	21.7		
5	14.4	21.6	8	77	10	21.7	o	o
6	14.5	21.7	9	79	8.1	29.4	o	o
7	15.3	22	7.9	71	11.7	25.9		
8	14.1	22	7	75	16.9	75.6		
9	14.9	22	9.5	67	13	22.2		
10	15.2	21	10	69	11.1	25.2	o	
11	13.6	21.6	8.6	78	8	25.9	o	o
12	14.4	21.6	8	74	9.1	25.2	o	
13	15.3	20.6	10	67	14.1	24.1		
14	15.1	21	11	71	11.3	24.1	o	
15	15.1	20.6	12.4	75	10.2	22.2	o	
16	15.7	21	11	70	12.2	25.9	o	
17	14.7	21	10.6	74	10	18		
18	15.1	20.4	8.7	75	10.4	27.8	o	o
19	12.9	20.3	11	88	7.6	24.1	o	o
20	13.3	18.2	10.6	85	10.9	77.8	o	o
21	13.3	18.2	11.7	87	5.6	22.2	o	o
22	14	19	8.8	81	9.8	35.2		o
23	14.2	19	10.8	80	9.4	25.9	o	o
24	14.7	18.2	11.8	77	8.3	18.3	o	
25	14.6	19	11.9	78	8.3	22.2	o	
26	13.8	20.8	7.8	76	9.6	25.2	o	o
27	13.7	20.8	5	77	9.8	27.8	o	o
28	14.3	20.1	10	78	10.4	29.4	o	o
29	13.8	19.4	10	82	8.1	18.3	o	
30	14.1	18.5	11	82	8.9	18	o	o
<b>Medias y totales mensuales</b>								
	14.4	20.4	9.5	76.2	10.2	27.7	21	13

Fuente: (Bogota, TuTiempo.net, 2013)

Tabla 6 Tabla general mes de Mayo.

Tabla general del mes de Mayo								
Día	Temp C°	Temp Max C°	Temp Min C°	Humedad relativa media (%)	Velocidad media del viento (Km/h)	Velocidad maxima sostenida del viento (Km/h)	Dias de lluvia	Dias de Tormenta
1	14.2	18	11.9	83	8.7	18.3	o	o
2	14.5	19	11.7	79	8.5	20.6		o
3	14.3	21	11.8	80	8.1	18.3	o	o
4	15	22	9.6	75	10.4	31.3		
5	14.2	21.5	11	81	7.8	22.2	o	o
6	13.9	20	10.9	82	7.8	22.2	o	o
7	12.4	19.5	9.7	85	8.1	35.9	o	
8	14.2	20.2	10	75	11.7	25.9	o	
9	14.6	20.2	11	76	9.1	18.3	o	
10	14.6	19.2	9.7	78	11.1	22.2	o	
11	14.3	19	8	79	10.6	27.8	o	o
12	14.6	21	7.5	71	9.6	29.4	o	
13	14.6	20.8	10.7	73	10.7	18.3		
14	15.1	19.6	2.7	71	10.7	22.2	o	
15	14.3	19.3	11	82	9.6	22.2	o	o
16	14.3	19	11.5	82	8.7	18		
17	14.1	19	11.9	84	8.1	18	o	
18	14.7	19	10.3	74	9.6	18.3		
19	15.6	20	11.6	71	12.6	32.4	o	
20	14.7	20.2	11	74	10	22.2		
21	13.7	18.4	10.9	85	9.4	18.3	o	o
22	13.5	17	11.4	88	8	18.3	o	o
23	13.8	20	10.8	84	8	20.6	o	o
24	13.7	20.1	11	85	8.7	25.9	o	
25	14.8	22	9.7	71	11.1	24.1		
26	13.5	20.4	11	80	9.3	22.2	o	
27	12.8	18	7	79	10.4	20.6	o	
28	13.6	18.1	10.8	78	12.6	28.7	o	
29	12.9	19.4	8	84	5.9	18.3	o	o
30	13.2	19.4	7	80	8	18.3	o	
31	14.1	18	10.5	78	9.8	18.3	o	
<b>Medias y totales mensuales</b>								
	14.1	19.6	10.1	78.9	9.4	22.5	24	11

Fuente: (Bogota, Tu Tiempo, 2013)

Tabla 7 Tabla Análisis General.

Tabla Analisis General								
Mes	Temp C°	Temp Max C°	Temp Min C°	Humedad relativa media (%)	Velocidad media del viento (Km/h)	Velocidad maxima sostenida del viento (Km/h)	Dias de lluvia	Dias de Tormenta
<b>Enero</b>	13,5	21	6	71,1	10,6	26,1	5	2
<b>Febrero</b>	13,9	19,8	9,1	76,5	9,7	24,3	18	9
<b>Marzo</b>	14,2	20,2	9,1	75,5	10,5	24	13	8
<b>Abril</b>	14,4	20,4	9,5	76,2	10,2	27,7	21	13
<b>Mayo</b>	14,1	19,6	10,1	78,9	9,4	22,5	24	11
<b>Promedio</b>	14,02	20,2	8,76	75,64	10,08	24,92	16,2	8,6

Fuente: (Autor, 2013)

Teniendo en cuenta los datos que arrojaron estas tablas se puede concluir que en Bogotá se mantiene una temperatura que oscila entre los 8,7 C° y los 20,2 C° y. Para este estudio se utilizaron estos rangos de temperatura y se espera que se puedan usar también su media general de 14 C° que es en la que generalmente se encuentra la sensación térmica normal. Por otra parte la velocidad del viento es en promedio de 10,08 Km/h, la cual en días con bastante viento puede llegar a ser en promedio de 24,92 Km/h lo que nos sugiere que la estructura como tal debe poder sostener los textiles usados y también los embates de la fuerza del viento, que puede llegar a ser muy alta debido a su velocidad sostenida. Estos datos son muy importantes para la selección de los materiales usados en la estructura y también para la elección de los textiles.

Con este levantamiento se puede observar que por cada mes de 30 días hay 16 de estos días con lluvias y que en casi 9 de ellos estas lluvias han evolucionado en tormentas, las cuales suelen estar acompañadas de vientos con alta velocidad lo que genera más retos a la hora del diseño de la estructura, para verlo en dimensiones más grandes la medición se hizo en 151 días. De estos

151 días, llovió en aproximadamente 81, lo que equivale a un 53,6% que es equivalente a que si en 3 meses de los 5 que estudiados hubiera llovido, de este 53,6% o sea de esos 81 días en los cuales llovió se registraron tormentas en 43 días, lo que nos sugiere otro dato importante: la mitad de las lluvias aisladas suelen terminar en tormentas.

Esta medición corrobora aún más la necesidad de protección climática ya que, en nuestra ciudad experimentamos cambios de temperatura muy bruscos lo cual da lugar a enfermedades respiratorias que suelen complicarse. Los datos han sido de gran ayuda para comenzar a formular los materiales que se usaron para la simulación.

## Capítulo 2: Materiales

### Materiales de la Estructura.

Dentro de las condiciones de los materiales, es importante denotar por qué fueron elegidos para ser parte de la construcción del modelo. Para la Gestión de materiales he aprovechado las funciones de mi trabajo y mis conocimientos adquiridos en el mismo para indagar sobre los mejores materiales para el desarrollo de la membrana. En primer lugar hay que situarse en la parte estructural ya que es el esqueleto sobre el que se sostiene la membrana, es importante reconocer que todos estos materiales se encuentran bajo normas internacionalmente avaladas para la ingeniería y la construcción, en conclusión para esta sección es importante conocer acerca de los lineamientos y normas internacionales que rigen la gestión de materiales.

Para la clasificación de materiales es importante conocer sus propiedades físicas, debido a que estas son las que en últimas permitirán que el material soporte el peso de los textiles. Ahora, teniendo como base los códigos internacionales se tiene como premisa utilizar para este tipo de diseños tubería ASTM A-53 debido a todas sus características que se irán presentando posteriormente. La idea de utilizar este tipo de tubería radica en la cantidad de esfuerzo interno que tiene que hacer el tubo, hay dos clasificaciones para este tipo de tubería, existen los grado A y los grado B que al ojo se ven iguales pero sus diferencias se encuentran si vamos al microscopio, es decir que por sus acabados y contenido de grano adquieren mejores propiedades mecánicas.

En la Figura 2 podemos observar que los porcentajes químicos utilizados en la elaboración de este tipo de tubo son muy parecidos, de hecho son iguales y sólo varían en porcentaje de carbono que utilizan.

	Composition, max, %								
	Carbon	Manganese	Phosphorus	Sulfur	Copper <sup>A</sup>	Nickel <sup>A</sup>	Chromium <sup>A</sup>	Molybdenum <sup>A</sup>	Vanadium <sup>A</sup>
Type S (seamless pipe)									
Open-hearth, electric-furnace or basic-oxygen:									
Grade A	0.25	0.95	0.05	0.045	0.40	0.40	0.40	0.15	0.08
Grade B	0.30	1.20	0.05	0.045	0.40	0.40	0.40	0.15	0.08
Type E (electric-resistance-welded)									
Open-hearth, electric-furnace or basic-oxygen:									
Grade A	0.25	0.95	0.05	0.045	0.40	0.40	0.40	0.15	0.08
Grade B	0.30	1.20	0.05	0.045	0.40	0.40	0.40	0.15	0.08
Type F (furnace-welded pipe)									
Open-hearth, electric-furnace, or basic oxygen									
Grade A	0.30	1.20	0.05	0.045	0.40	0.40	0.40	0.15	0.08

<sup>A</sup> The combination of these five elements shall not exceed 1.00 %.

Figura 2 Composicion quimica del acero ASTM A-53

Fuente: (ASTM International, 2002)

Si se revisa con detenimiento en la figura anterior se puede apreciar que el grado A utiliza 0.25% de carbón en tubos sin costura (Type S) y tubos soldados con resistencias eléctricas (Type E), sólo en el último tipo de soldadura que es la denominada continua o en horno para el grado A sube a 0.30%, sin embargo podemos ver que el grado B utiliza el mismo porcentaje en sus dos tipos de 0.30% al final vemos por qué la ASTM A-53 Gr B (grado B) es la más conveniente para el trabajo que se ha realizado debido a sus propiedades que se explican en el siguiente bloque.

El análisis de este tipo de material se basa en la norma ASTM A53/ A53M-2 donde desarrollan todo un tratado en cuanto a las especificaciones de diseño y especificaciones generales, se hace un estudio a fondo de todos los componentes de este acero y a su vez de las pruebas que fueron practicadas para garantizar su buen desempeño en las actividades en las

cuales se relacionan. Para el desarrollo del proyecto es vital conocer 3 variables dentro de todas las propiedades del material y por esta razón nos vamos a centrar en el desarrollo de las mismas, estas son consideradas las que definen al material.

La primera condición es la Fluencia que es una prueba en la que se examina la deformación que puede sufrir el material aplicándole alguna fuerza externa, por lo general estas deformaciones no son recuperables es importante conocer este valor para determinar si la fuerza del viento y el peso en general de la estructura puede afectar de alguna u otra forma la integridad de la estructura. También es necesario conocer la Tensión máxima que puede soportar el material ya que por asuntos de vientos y del mismo textil que va a recubrir puede generarse tensión en algunos puntos de la estructura ya que en el reglamento colombiano de construcción sismo resistente se exige el conocimiento técnico y científico de esta propiedad y por ultimo conocer su porcentaje de elongación teniendo por hecho que la ASTM le ha realizado una gran variedad de pruebas de tracción en las cuales tendremos la posibilidad de evaluar dicha propiedad y podremos avanzar en la elección de los tubos ASTM A53 como principal material el proyecto. Teniendo dichos resultados en cuanto a la Fluencia, La Tensión y la Elongación, podremos recomendar una lista de materiales dedicados solamente a la parte estructural del proyecto.

Tabla 8 Propiedades mecánicas ASTM A -53 Grado A/ B

Norma Técnica	Fluencia	Tensión	Elongación
	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	%
ASTM A-53 GR-A	21 min	34 min	23 min
ASTM A-53 GR-B	25 min	42 min	18 min

Fuente: (ASTM International, 2002)

Teniendo en cuenta los datos de esta tabla (ver Tabla 8) podemos constatar que efectivamente la elección del material acero **ASTM A-53 GR-B** para tubos estructurales es la mejor elección para nuestro proyecto debido a sus propiedades mecánicas analizadas en esta primera parte del capítulo.

Considerando que la estructura necesita también una serie de placas y láminas se ha determinado que la mejor opción para el proyecto es utilizar las láminas en acero **ASTM A36 / A36M** ya que son utilizadas ampliamente en la industria, se encuentra en su interior un aleación de hierro que podría estar en una concentración más allá del 98% con una concentración de carbono inferior al 1% como ya se pudo apreciar en la tabla de composición del acero **ASTM A-53**. También podemos observar que contiene pequeñas fracciones de otros componentes las cuales también se distribuyen en el material garantizando propiedades como lo son la resistencia al medio ambiente y la posibilidad de soldarse con mayor facilidad haciéndolo más fácil de maniobrar, según los estatutos de la ASTM se entiende el acero **ASTM A36** como el material preferido para las construcciones, las concentraciones de los elementos químicos en su interior lo proveen con características óptimas para la construcción, estos elementos como lo son el manganeso, el fosforo el azufre por nombrar algunos se encuentran en la naturaleza de forma abundante, lo cual no sólo hace que su costo sea accesible si no que tenga grandes propiedades mecánicas que es lo que interesa para este proyecto.



Tabla 9 Composición Química del acero ASTM A36

Composición Química	% Peso
Carbono (C)	0.26 máx.
Fosforo (P)	0.040 máx.
Azufre (S)	0.05 máx.
Silicio (SI)	0.40 máx.

Fuente: (ASTM International, 2000)

Tabla 10 Propiedades mecánicas ASTM A -36

Norma Técnica	Fluencia	Tensión	Elongación
	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	%
<b>ASTM A-36</b>	25 min	40 min	23 min

Fuente: (ASTM International, 2000)

Vemos que dicha lamina contiene propiedades mínimas de fluencia, tensión y elongación que nos servirán como base de diseño para la estructura, estos valores son muy compatibles con las anteriormente mencionadas en la **ASTM A-53 GR-B**, se puede afirmar que esta lámina puesta en evaluación frente a otras nos brinda la garantía que necesitamos para el desarrollo del proyecto, de tal manera que las láminas que se usaron en el proyecto son en acero **ASTM A-36** pues cumple con los requerimientos de Fluencia, Tensión y Elongación necesarios para un buen desarrollo del proyecto.

Continuando con la definición de los materiales hay que tener en cuenta que toda la estructura tendrá que estar conectada mediante soldadura y uniones atornilladas. La soldadura que se

recomienda es la AWS E70-XX; es muy importante conocer de qué manera van a ser soldadas las piezas es por eso que hay que remitirse a la American Welding Society (AWS) la cual tiene unos lineamientos en los cuales identifica cómo y de qué manera se deben soldar los diferentes tipos de material, no es lo mismo soldar un acero ASTM – A 106 a soldar un **ASTM A-53 GR-B**. Existen diferencias que radican en la postura que debe tener el soldador en el momento de estar realizando la operación; de esta manera nos damos cuenta que todo tiene que ver con el buen desarrollo del proyecto. Ahora en la página web de la AWS siguiendo en línea con sus procedimientos se puede encontrar que la mejor soldadura para el material **ASTM A-36** es la del tipo de electrodo E60 o E70 debido a las propiedades de soldadura, como lo son la resistencia y la ductilidad. Se recomienda utilizar la **E60XX** o la **E70XX** con el proceso de soldadura SMAW (Shielded Metal Arc Welding – Soldadura de arco metálico Protegido), también conocida como soldadura manual esta provee de más versatilidad al proceso y no es muy costosa; su clasificación E60XX o E70XX indican que un electrodo tiene una resistencia a la tensión de 60 o 70 Ksi (kilo libras/ pulgada cuadrada), y los siguientes números (dados por las “X”) se atribuyen a factores como la posición, el tipo de recubrimiento y características del arco. Para el proyecto se consideró la utilización de soldaduras de este tipo con el fin de tener acabados recurrentes en el ámbito de la construcción.

Siguiendo con todo el tema de las conexiones, que no todas serán soldadas, se tiene que tomar en cuenta que los tornillos también deben tener unas buenas cualidades mecánicas, es por eso que después de revisar los catálogos de diversos fabricantes, se ha optado por la asesoría de personas en el campo de la construcción y después de haber hecho un análisis punto a punto se llegó a la conclusión de que los pernos que se van a utilizar en la construcción de la estructura son en acero **ASTM A325** ya que estos son catalogados como de alta resistencia. Si se examina con

detenimiento algunos puentes peatonales del sistema de transporte masivo de la ciudad se pueden encontrar algunos de estos elementos en las conexiones que no son soldadas, todo lo que concierne al perno como tal son dos elementos; arandela y tuerca estas vienen especificadas en la norma lo cual genera mejores posibilidades de tener una conexión que resista y perdure. Los pernos de acero **ASTM A325** suelen ser conectados con tuercas de acero **ASTM A563 Gr C** con sus respectivas arandelas de acero **ASTM F436** básicamente lo que hacen las arandelas es brindar una protección a la tuerca y al tornillo evitando el desgaste por fricción de los mismos además de ser parte importante en la sujeción de los dos elementos Perno – Tuerca, Para que estos tres elementos sean compatibles deben tener características similares. Es por esta razón que se presenta una tabla más general del perno teniendo en cuenta que las características de los demás materiales son muy similares.

Tabla 11 Propiedades mecánicas del perno ASTM A 325

Identificación	Grado	Diámetro (in)	Prueba de carga (ksi)	Fuerza de rotura (min)(ksi)	Tensión (min)(ksi)	Dureza (Rockwell)	tratamiento térmico
ASTM A-325	Tipo 1	1/2 a 1	85	92	120	C24-C-35	Temple y revenido
		1 a 1 1/2	74	81	105	C19-C31	
ASTM A-325	Tipo 3	1/2 a 1	85	92	120	C24-C-35	Temple y revenido
		1 a 1 1/2	74	81	105	C19-C31	

Fuente: (ASTM International, 2000)

Tabla 12 Propiedades mecánicas de la tuerca ASTM A 563

Norma Técnica	Material	Diámetro	Prueba esfuerzo carga (ksi)	Dureza Rockwell	
				Min	Max
ASTM A563 - Gr 0	Acero Carbono	1/4 a 1-1/2	69	B55	C32
ASTM A563 - Gr A	Acero Carbono	1/4 a 1-1/2	90	B68	C33
ASTM A563 - Gr B	Acero Carbono	1/4 a 1	120	B69	C34
ASTM A563 - Gr C	Acero Carbono	1/4 a 1-1/2	144	B78	C38
ASTM A563 - Gr C3	Acero Carbono	1/4 a 1-1/2	144	B78	C38
ASTM A563 - Gr D	Acero Carbono	1/4 a 1-1/2	150	B84	C38
ASTM A563 - Gr DH	Acero Carbono	1/4 a 1-1/2	175	C24	C38
ASTM A563 - Gr DH3	Acero Carbono	1/4 a 1-1/2	175	C24	C38

Fuente: (ASTM international, 2000)

De esta manera se tiene especificada la lista de materiales estructurales del proyecto con los que se realizó el diseño y por tanto los que se usarían en la construcción como tal.

- Tubería: ASTM A-53 SCH-STD Gr B 2”.
- Tubería: ASTM A-53 SCH-STD Gr B 3”.
- Láminas: ASTM A-36.
- Soldaduras: AWS E70-XX.
- Pernos: ASTM A325.
- Tuercas: ASTM A563.
- Arandelas: ASTM F436.

## **Materiales de los cimientos.**

Para el diseño de la fundación, es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros:

- **Peso propio de la estructura:** La cual se evalúa con los elementos a usar definiendo las características de los materiales que se van a usar en la construcción.
- **Transmisión de cargas:** Se determina la distribución de cargas mediante áreas aferentes o  $L/2$  en el caso de pórticos en el caso del proyecto.
- **Capacidad portante del suelo:** Mediante un estudio de suelos se puede determinar este valor en el caso del proyecto debido a algunas restricciones no se pudo obtener, en ausencia de un estudio de suelos se asume una a criterio del ingeniero evaluando parámetros empíricos y factores de seguridad apropiados de manera tal que es el único dato que no se logró obtener.
- **Espacio disponible y diseño requerido:** así se obtiene el tipo de cimentación a usar (ejemplo: Zapata aislada, combinada, pilotes, losas etc...)

Para el cálculo del acero de refuerzo es necesario definir las dimensiones de la cimentación a utilizar y las cargas que van a actuar en ella, para efectos de diseño, se asumieron unas medidas arbitrarias en aquellos datos en los que no se contaba con la información, como en es el caso de la capacidad portante del suelo

Es por eso que la formulación de las fundaciones que se reparten en el proyecto son las siguientes:

- Concreto reforzado de 2400kg/m<sup>3</sup>
- Concreto simple de 1400Kg/m<sup>3</sup>

El concreto debe estar compuesto por una mezcla de cemento portland, agregados pétreos y agua, el cemento Portland que se usara será del tipo 1 apalancadas en la norma **ASTM C-150**, los agregados pétreos en general son obtenidos de canteras y depósitos aluviales.

Tabla 13 Resistencia a la compresión del concreto ASTM C-150

<b>Días</b>	<b>Máximo Mpa</b>	<b>Mínimo Mpa</b>
1	21	11
3	32	22
7	38	27
28	46	31

Fuente: (ASTM International, 2012)

### **Los textiles.**

Con la formulación detallada de toda la parte estructural de la membrana es necesario comenzar a formular también como y de qué forma se va a cubrir esta es estructura pensando claramente en cómo vamos a cumplir nuestro objetivo de brindar protección climática a los que usen esta membrana, por esta razón después de una ardua investigación se llegó a la conclusión de que se usaran los siguientes materiales.

La marca número uno a nivel mundial en recubrimientos arquitectónicos se llama Ferrari, y aunque no tiene nada que ver con la afamada marca de carros provee una serie de productos de altísima calidad, se enfocan en la producción de textiles arquitectónicos con los cuales han ganado muchos premios a base de su tecnología patentada llamada Précontraint (Ver figura 3), Esta ha sido su principal arma frente a sus competidores ya que “*las membranas textiles*

*compuestas están constituidas de una armadura tejida de micro-cables (poliéster de alta tenacidad) bañadas por el recubrimiento de varias capas de polímero de altas prestaciones. La tecnología Précontraint Ferrari consiste en realizar el recubrimiento bajo tensión. Ello le confiere a los tejidos una estabilidad dimensional y una resistencia excepcional.” (FERRARI GROUP, 2013)*

Figura 3 La tecnología Précontraint Ferrari



Fuente: (FERRARI GROUP, 2013)

Con este tipo de tecnología el grupo de ingenieros de Ferrari ha evolucionado en la creación de textiles de fácil adaptabilidad al medio con lo cual han creado una serie de productos para determinados usos ya sea en exterior, interior etc. Dentro de su portafolio de productos de exterior encontramos la serie STAMISOL cuyos productos bandera son los FT 381 y Color con los cuales se diseñó el proyecto.

Cuando la membrana se encuentre en estado normal es decir profiriendo sólo protección solar sin lluvia, se utilizará el textil STAMISOL Color de la compañía Ferrari, ya que haciendo la

comparación, este material brinda un textil que puede interactuar mejor con el medio en el cual se va utilizar; las características por las cuales fue seleccionado este material son principalmente las de impermeabilidad, es decir, que aunque no deja pasar la lluvia si permite el paso del aire esto que soluciona el problema de los microclimas que también afectan mucho la salud. Se buscó un textil que no dejara pasar el agua, ya que cuando el sensor de lluvia reaccione cuando se produzcan las precipitaciones este puede llegar a tardarse entre 30 y 45 segundos en enviar la señal de recubrimiento a toda la estructura, con lo cual el usuario de la membrana podría recibir directamente la lluvia, este material nos permite ofrecer protección mientras se despliega el otro material apto para la protección de lluvia. En los anexos se encuentra el brochure de este material y su respectiva comparación con su principal competencia el STAMISOL FT381. (Ver Figura 4).



Propiedades técnicas	STAMISOL® FT 38I	STAMISOL® COLOR	STAMISOL® COLOR HI-FR*	Normas
Superficie derecho	metálica o nacarada	nacarada o mate	mate	
Superficie revés	mate	-	-	
Hilo	1100 Dtex PES HT	PES/Vidrio/PES	PES/Vidrio/PES	
Peso	600 g/m <sup>2</sup>	420 g/m <sup>2</sup>	780 g/m <sup>2</sup>	EN ISO 12127
Espesor	1,1 mm	0,75 mm	0,8 mm	EN ISO 5084
Ancho	267 cm	250 cm	250 cm	(-1 mm/+1 mm)
Resistencia a la rotura (urdimbre/trama)	330/330 daN/ 5 cm	300 N/ 5 cm	300 N/ 5 cm	EN ISO 1421
Resistencia al desgarro (urdimbre/trama)	65/65 daN	60 N	45 N	EN 1875-3/DIN 53356
Test impermeabilidad	-	> 600 mm	> 600 mm	EN ISO 20811
Espesor de una capa de aire equivalente SD	-	ca. 0,05 m	ca. 0,12 m	EN ISO 12572-C
Resistencia a la difusión del vapor	-	ca. 0,069 m <sup>2</sup> /hPa/mg	ca. 0,167 m <sup>2</sup> /hPa/mg	EN ISO 12572-C
Permeabilidad al vapor	-	ca. 475 g/m <sup>2</sup> d	ca. 300 g/m <sup>2</sup> d	EN ISO 12572-C
Adherencia	9 daN/ 5 cm	-	-	EN ISO 2411
Porosidad	28 %	-	-	
Pérdida de carga (DE)	(DE) P= 3.500 Q <sup>2</sup> (DE) P in Pa Q in m <sup>3</sup> /s	-	-	ANSI/AMCA 210/85
Reacción al fuego	M1 /NFP 92-507 • Test 2 / NFPA 701 • B1 /DIN 4102-1 • BS 7837 • VKF 5.3	M2 /NFP 92-507 • B2 /DIN 4102-1 • VKF 5.3	VKF 5.3	
Euroclase	Bs2d0 /EN 13501-1	E /EN 13501-1	Bs2d0 /EN 13501-1	
Temperaturas extremas de uso	-30 °C/+70 °C	-40 °C/+80 °C	-40 °C/+80 °C	
Garantía	10 años, previa aprobación del proyecto			
Sistema de gestión de calidad	✓	✓	✓	ISO 9001
Sistema de gestión medioambiental	✓	✓	✓	ISO 14001

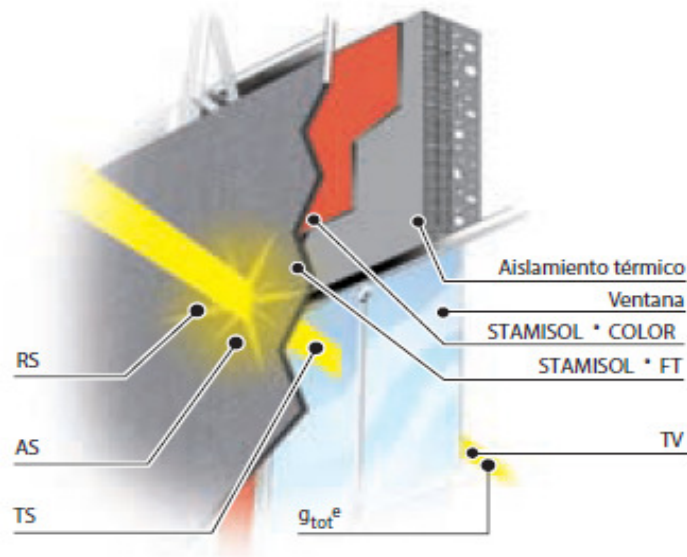
Figura 4 Propiedades STAMISOL Color

Fuente: (FERRARI GROUP, 2013)

La resistencia de este material a los rayos UV se encuentra matizada según el color en el cual se vaya a desarrollar el proyecto, se ha conocido según investigadores de la norma EN 14501 que los colores pastel o claros repelen de una manera más eficiente los rayos UV por esta razón el diseño debe ir orientado a la funcionalidad y a la estética en los colores. La norma EN 14501 es una norma Europea que específicamente se encarga de regular todo lo relacionado con el Confort Térmico, esta norma se hizo efectiva desde el 2006 y es con la que se desarrolla la siguiente clasificación. (Ver figura 5 y otras referencias en los anexos).

# Propiedades solares y luz (según EN 14501)

Ref.	RS	TS	AS	$g_{tot}^e$	TV
50216	21	0	79	-	0
50227	16	0	84	-	0
50219	7	0	93	-	0
50225	8	0	92	-	0
50215	59	0	41	-	0
50217	47	0	53	-	0
50220	57	0	43	-	0
50218	47	0	53	-	0
50224	72	0	28	-	0
50222	41	0	59	-	0
50226	19	0	81	-	0
50133	5	0	95	-	0
381-3101	27	30	43	0,22	28
381-3102	30	31	39	0,22	30
381-3103	39	32	29	0,23	32



TS: Transmisión solar en %  
 RS: Reflexión solar en %  
 AS: Absorción solar en %  
 TS + RS + AS = 100% de la energía incidente  
 TV: Transmisión de luz visible en %  
 $g_{tot}^e$ : Factor solar exterior

Figura 5 Propiedades Solares

Fuente: (FERRARI GROUP, 2013)

Para el desarrollo del proyecto se utilizó la referencia 50217, no sólo por su excelente resistencia solar, si no porque también es el color de la nueva imagen de la universidad y dada la versatilidad de los colores se busca ser muy estético con las combinaciones de los mismos dando un ambiente más estético.

Para el recubrimiento del exterior, es decir cuando se suceda un cambio de temperatura drástico en el cual empiecen las lluvias, el sensor de lluvia enviara una señal al controlador de la estructura para iniciar el proceso de recubrir con un segundo textil. Este último será el que reciba toda la lluvia y mantenga un clima confortable dentro de la membrana, es decir el textil STAMISOL Color siempre se mantendrá expuesto y cuando comience a llover el segundo material lo recubrirá de esta manera el concepto de membrana cobra más vida. Para este segundo material es necesario otro que tenga condiciones más dadas a los agentes climáticos agresivos; para el proyecto se seleccionó el textil Précontraint 502.

Uno de los parámetros con los cuales se eligió este material fue porque no generaba bolsas, es decir que presentaba características dimensionales muy buenas y no dejaba que se formaran depósitos que generalmente se llenan de fluido y comienzan a gotear dañando como tal la estructura y generando peligro por sobrecarga de la misma. A su vez es un material de fácil mantenimiento, provee una gran estabilidad dimensional, y como característica fundamental es mucho más ligero y tiene más resistencia al desgarro que el primer material, recordemos que este, el textil Précontraint 502 (ver Figura 6) es el que se va a encontrar cara a cara con las tormentas y las lluvias que recaigan en la estructura.

# PRECONTRAI<sup>®</sup> 502


Características técnicas	Précontraint <sup>®</sup> 502	Normas
Hilo	1100 dtex PES HT	<b>TERSUISSE</b> 
Peso	590 g/m <sup>2</sup>	EN ISO 2286-2
Ancho	180 cm	
Resistencia a la tracción (urdimbre/trama)	250/250 daN/ 5 cm	EN ISO 1421
Resistencia al desgarro (urdimbre/trama)	25/20 daN	DIN 53.363
Adherencia	9/9 daN/ 5 cm	EN ISO 2411
Acabado	barniz Bifaz	
Reacción al fuego	<b>M2/NFP 92-507 • B1/DIN 4102-1 • BS 7837 • GROUP 1/AS/NZS 3837            1530.3/AS/NZS • SP METHOD 2205 • M2/UNE 23.727-90            VKF 5.3/SN 198898 • B1/ONORM A 3800-1 • CLASSE 1/UNI 9177-87            METHOD 1/NFPA 701 • CSFM T19 • UBC 31-1 • CLASS A/ASTM E84            G1/GOST 30244-94 • CAN/ULC S109</b>	
Euroclase	<b>B-s2,d0</b>	EN 13501-1

Figura 6 Propiedades del material Précontraint 502.

Fuente: (FERRARI GROUP, 2013)

## Capítulo 3 Diseño

### Estructura.

Para el diseño de la membrana es importante tener en cuenta el espacio en donde estará situada, qué función desempeñará, bajo qué condiciones se espera que funcione y por supuesto, el material con el que se construiría. Después de tener todos los anteriores ítems revisados se puede dar por iniciado todo el rodaje para comenzar a tener acercamientos al diseño final.

En principio se consideró el diseño en crear una especie de cúpula, con la cual se pudiera abarcar más área, pero después de analizar la geometría de la plazoleta se pudo determinar que esta no sería una buena solución y que lo que necesitaba era una figura que se asemejara a dicha geometría, mejor dicho que encajara perfecto en el espacio en el que se tenía previsto instalarla, es por esta razón que se partió del supuesto de una base más o menos rectangular, para elaborar el primer diseño no se contaba con los planos de la plazoleta, por lo cual se realizó una medición que cumplía perfecto con lo que yo quería realizar, es por esta razón que comencé a trabajar con una base que tenía de largo 3 canchas multipropósito normales ubicadas horizontalmente. Las canchas multipropósito tienen la facultad de permitir al usuario desarrollar deportes como lo son el microfútbol, el básquetbol y en algunos vóleibol, según el Instituto Colombiano del Deporte (Coldeportes, 2013) una cancha multipropósito o multifunción tiene medidas que oscilan entre los 14mts o 18mts de ancho por 28mts o 30mts de largo. Para el proyecto de estudio se decidió utilizar el rango mínimo de ancho de la cancha que es de 14mts y un largo que es de 25mts aproximadamente de la forma en la que se explica en el siguiente esquema. (Ver figura 7)

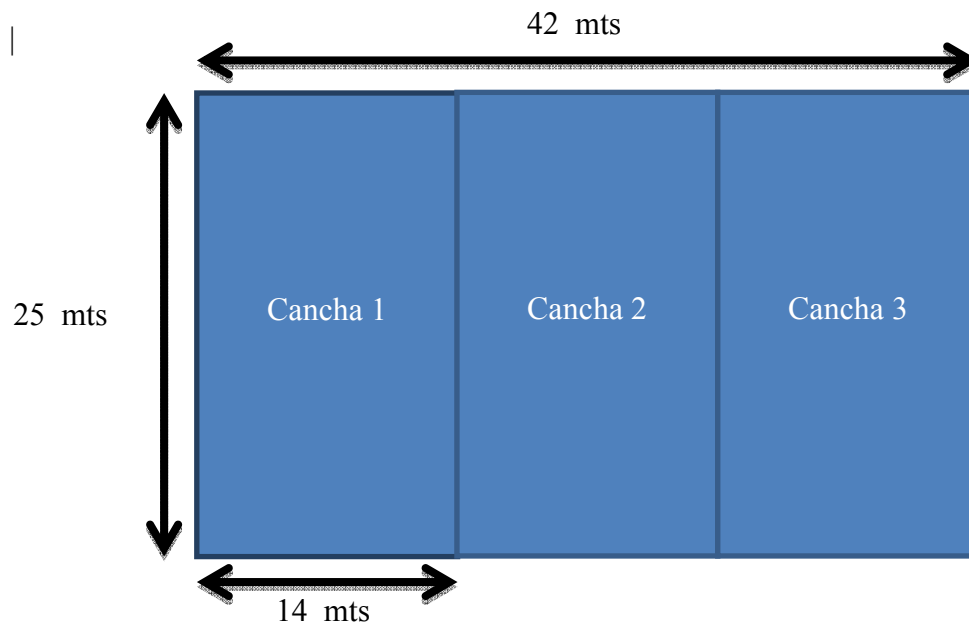


Figura 7 Esquema Planta

Fuente: (Autor, 2013)

Vale la pena resaltar que la anterior ilustración es a nivel esquemático y que una figura más detallada se encuentra en los anexos en los cuales se pueden ver las características técnicas propias de la membrana

Teniendo en cuenta estas dimensiones (25mts x 42mts) se tiene una planta clara sobre la cual comenzar a diseñar, lo más funcional para este tipo de superficies y también lo más estético es una cubierta ya que esta aparte de ser muy económica nos puede permitir integrar fácilmente los sensores de automatización y también las cantidades de textil que usaremos para reaccionar favorablemente ante los cambios climáticos de la zona, entonces podemos decir que para el desarrollo de la membrana tenemos una configuración que parte con los ocho pórticos principales en arco y empotrados en sus apoyos, pórticos en sección tubular a base de perfiles tubulares en celosía con una luz de 25.30 mts separados cada 6mts entre ejes.

Para soportar la membrana de cubierta, se dispone perpendicularmente sobre los pórticos correas tubulares a base de perfiles en lámina. Los pórticos tienen geometría similar y reciben cargas idénticas, por lo que la estructura de acero y la cimentación se diseñara similar para los pórticos, para lo cual se toma como critico el pórtico central (Ver Figura 8).

Para el dimensionamiento de la estructura se tuvieron en cuenta las cotas, distancias, geometría básica, indicadas en los planos que se encuentran en los anexos.

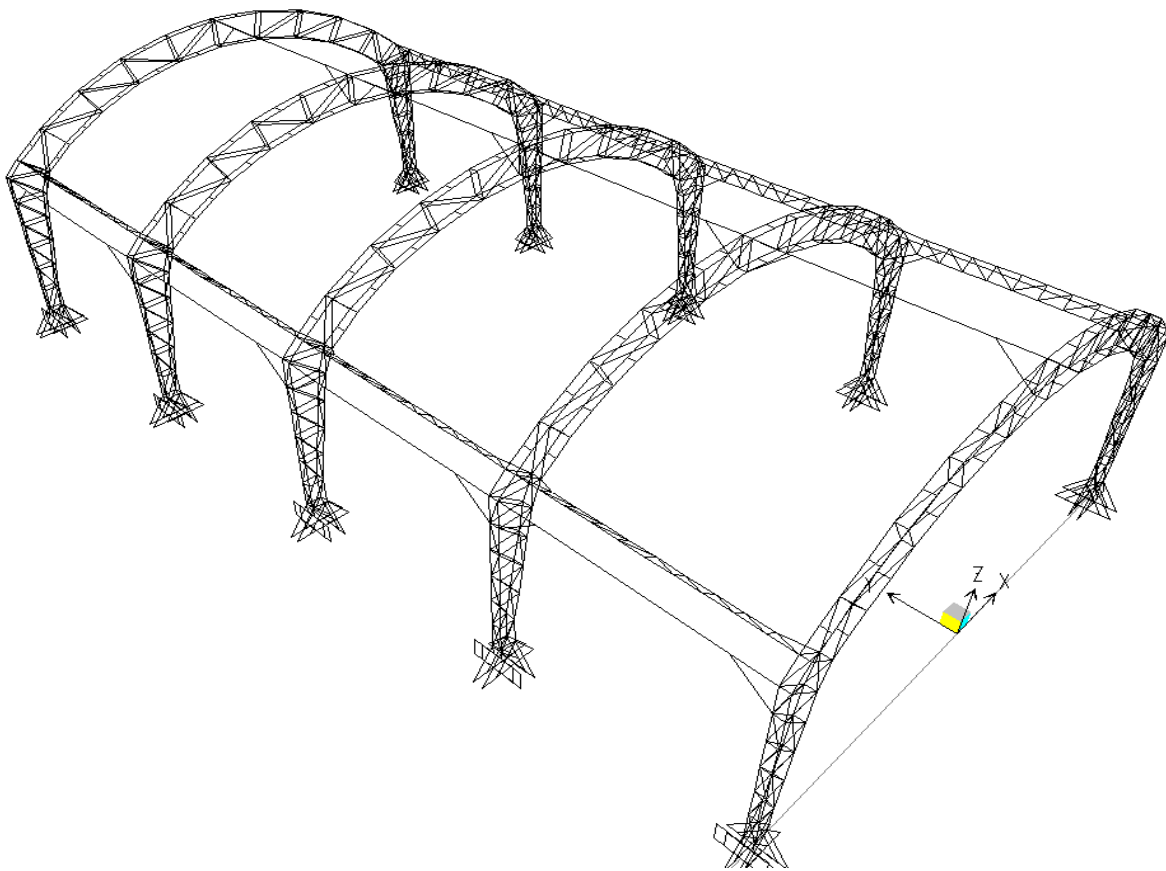


Figura 8 Esquema general pórtico en isométrico.

(Autor, 2013)

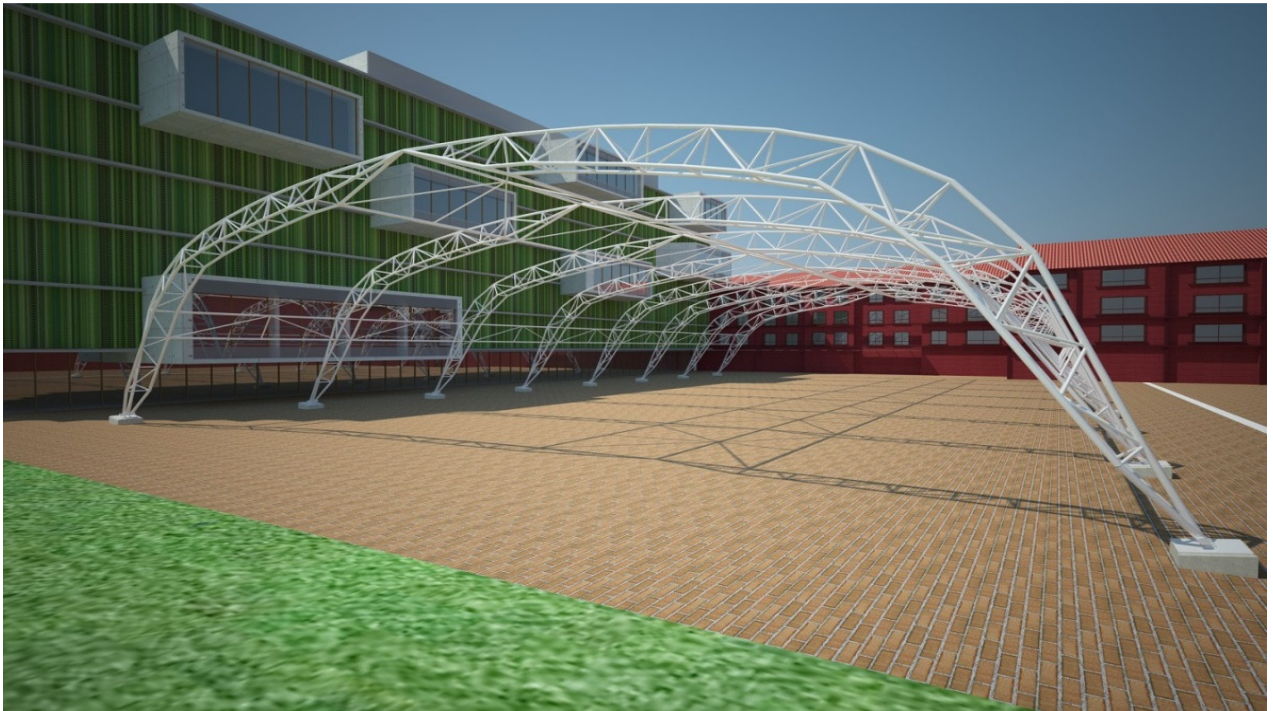


Figura 9 Estructura de la membrana dentro de la Universidad.

(Autor, 2013)



Figura 10 Estructura de la membrana dentro de la Universidad (posterior).

(Autor, 2013)



## **Sistema de sensores.**

Para el correcto desarrollo del proyecto era imperativa la inclusión de un sistema de sensores que reaccionara con la lluvia, con el fin de proveer la solución climática de la que tanto se ha venido hablando en este proyecto. De esta manera en esta parte del proceso se mencionará paso a paso cómo reaccionará la estructura frente a los cambios climáticos, en la figura 11 se encuentra el esquema general del sistema de sensores. Este consta de 3 partes principales, en la primera parte se muestran las cargas y el circuito en general, con el nombre de proceso, en la segunda parte yendo de izquierda a derecha se encuentra el tablero de control en donde para casos de simulación se ubicaron botones de inicio, y de parada de emergencia con el fin de disponer de una simulación más real, dentro de este cuadro podemos observar unos bombillos (testigos) que evidencian el estado en el que se encuentra el sistema, en abierto que es cuando solo se tiene la cubierta STAMISOL Color es un momento en el cual no hay precipitación, un segundo momento que es cuando el sensor está enviando la señal a la estructura para que esta reaccione se llama tránsito y por último el momento en el cual se instala totalmente el segundo textil de la membrana en Précontraint 502 que se llama cerrado y es cuando se completa el ciclo de protección, en el momento en el que el sensor deje de percibir la lluvia, dejara de enviarle la señal a la estructura con lo que se espera inicie un proceso de reversa en la que volverá a haber un tránsito y la estructura volverá a estar abierta izando únicamente la cubierta STAMISOL Color, en la tercera columna se encuentra un diagrama de potencia en el cual se esquematiza toda la fuerza con la cual se moverán dichos textiles, se muestra el motor trifásico con sus respectivas protecciones de temperatura y corriente, y por ultimo un cuadro aislado con el que se pretende simular el clima.

Como nota aclaratoria las siguientes Figuras (11, 12,13 Y 14) son tomadas de la interfaz de diseño y simulación Automation Studio con la cual se presenta el desarrollo automático del proyecto, mostrando las diferentes configuraciones con la cual la estructura podrá interactuar con el ambiente.

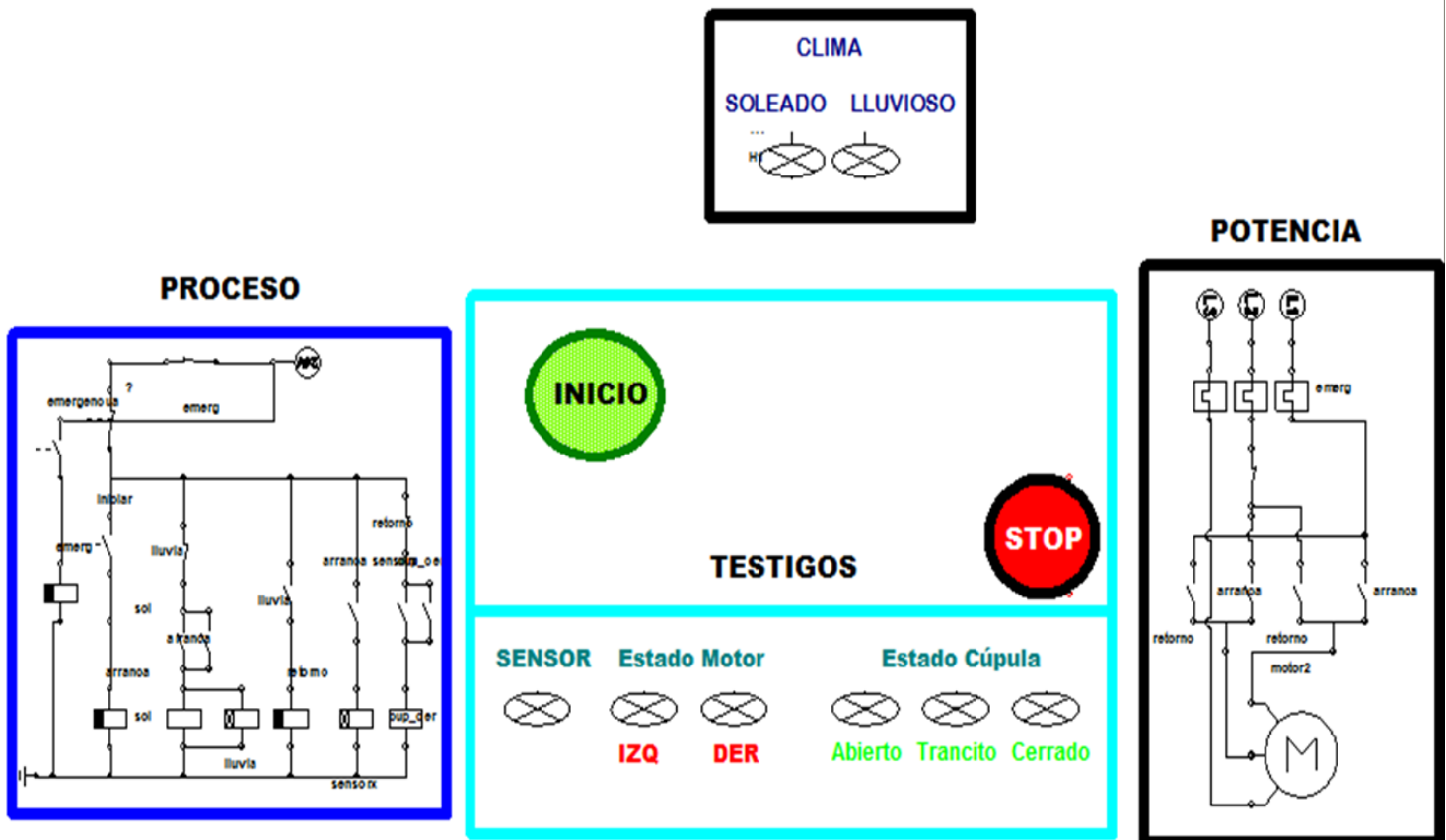


Figura11 Esquema General.

# PROCESO

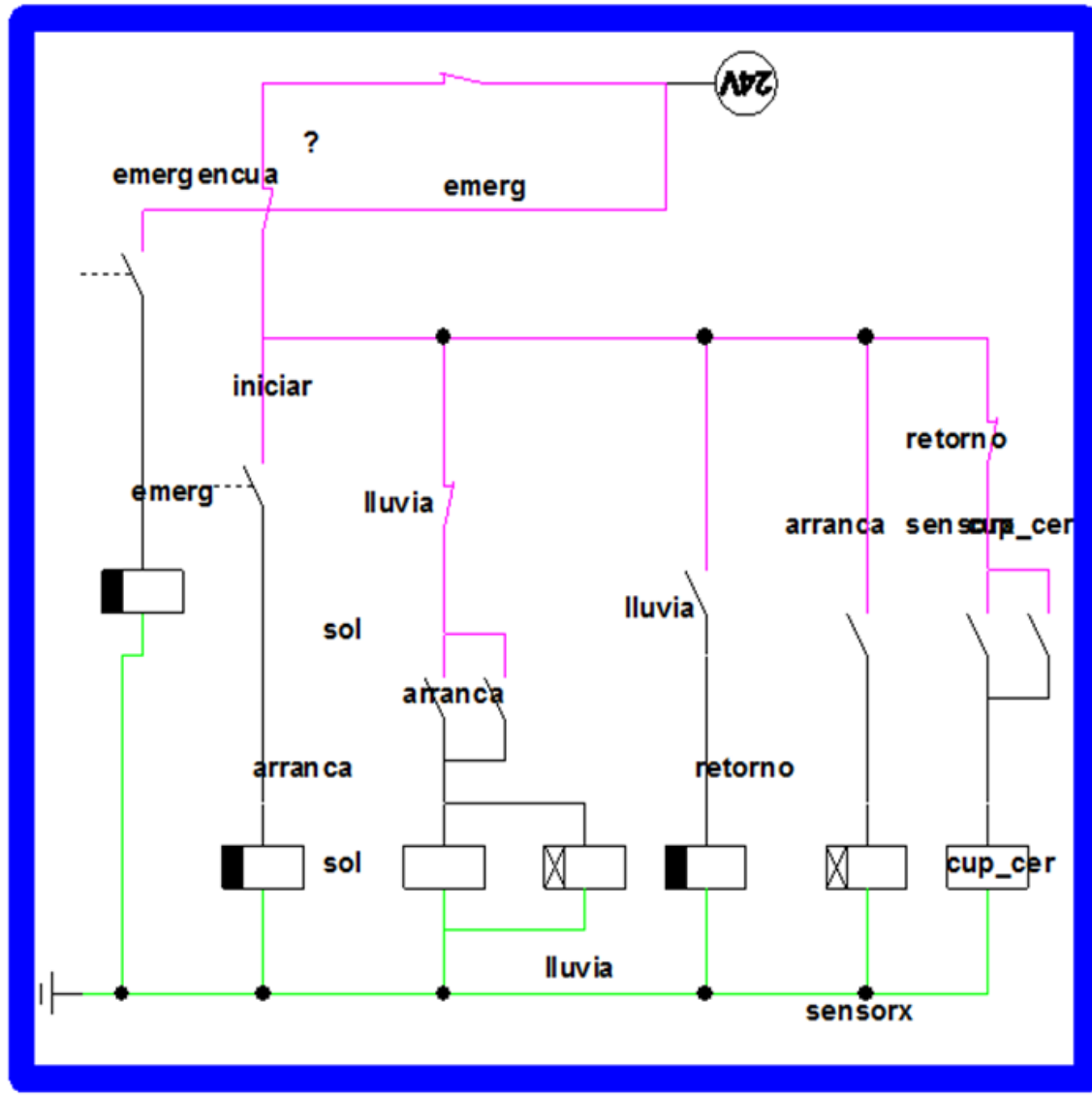


Figura 12 Diagrama de automatización

En la Figura 12 se pueden ver las diferentes máquinas que interactúan en el proceso. A continuación se mencionaran una por una sin profundizar en las mismas, dado que la información con respecto a estos productos es muy limitada debido a la protección intelectual de las fábricas

comercializadoras, también se puede dar por sentado que son elementos que son muy comunes en el mundo de la ingeniería y que son de fácil recordación para la gente que conoce del tema, pues ya se sabe cómo opera y como se va implementar en este proyecto. Además, no se encuentra convenida dentro de los objetivos la reseña general de los elementos.

El sistema de sensores está conformado por un sensor de lluvia 12V /DC (Ver Figura 13) y un motor asíncrono trifásico (Ver Figura 14), cuya conexión se muestra en la Figura 15.

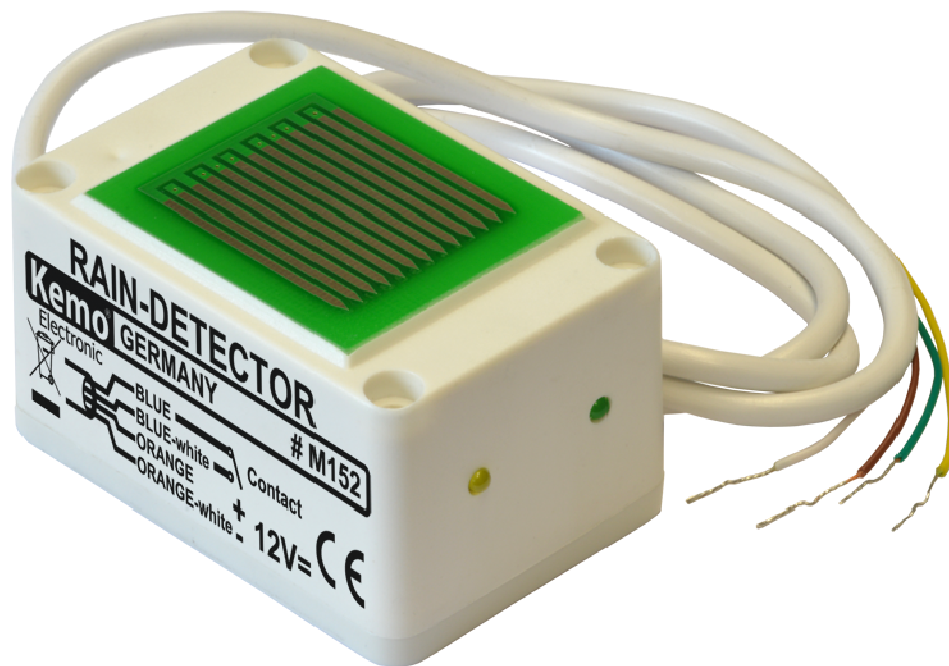


Figura 13 Sensor de lluvia

Tomado de [http://www.kemo-electronic.de/images/ArtM152\\_1000x750.png](http://www.kemo-electronic.de/images/ArtM152_1000x750.png)



Figura 14 Motor trifásico

Tomado de <http://www.solucionesyservicios.biz/Motor-37kW-2-polos-400/690V-50Hz-B3>

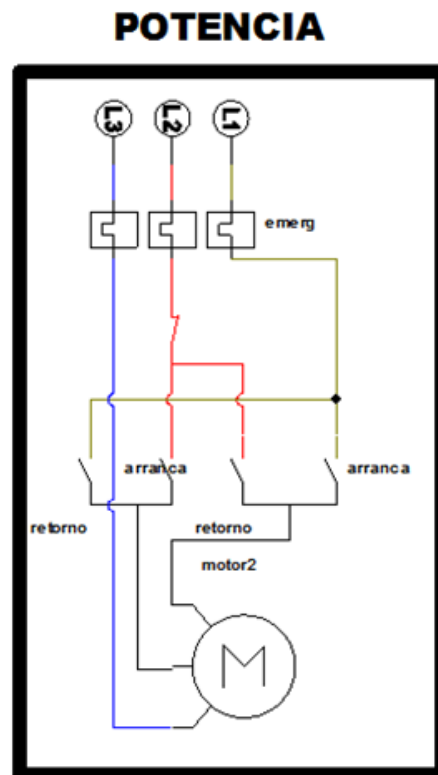


Figura 15 Potencia

En las Figuras 14 y 15 se encierra la potencia de la estructura para reaccionar a los cambios climáticos, es decir es allí en donde se encuentra el movimiento de la misma, un motor trifásico que en el momento en el que se alteran sus conexiones principales gira o de izquierda a derecha o de derecha izquierda según como se requiera, en la simulación la cual se encuentra incluida en los anexos, se puede apreciar cómo se mueve el motor de izquierda a derecha según lo necesite la estructura, en las siguientes Figuras (16,17,18,19,20 y 21) se presenta la forma en la cual se moverá todo el sistema integrado, cada figura expresa que sucede en sistema de sensores y como está reaccionando la estructura .

**Operación normal del sistema de sensores.**

Para el proyecto se tiene como operación normal o abierta, la fase en la que la temperatura es agradable y no hay precipitación con lo que solo se mantiene izado el material STAMISOL Color en la cúpula de la estructura.

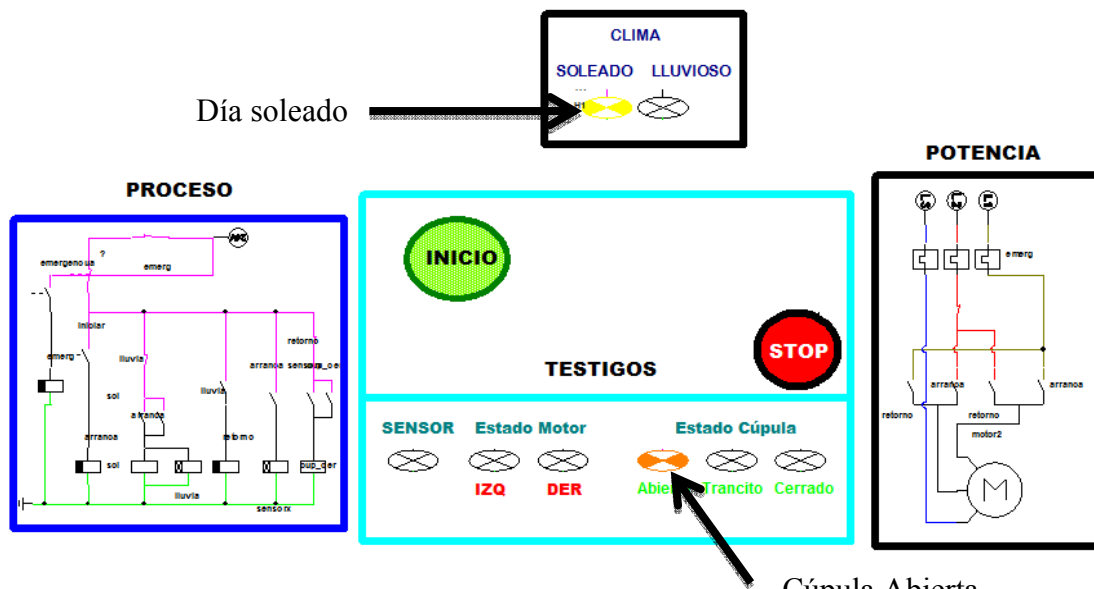


Figura 16 Operación Cúpula abierta



Figura 17 Membrana Abierta.

Fuente: (Autor, 2013)

En el momento en el que se suceda un cambio climático brusco, la estructura equipada con sus sensores de lluvia comenzara su labor y entrara en la fase de tránsito en la cual el material STAMISOL Color soportara las primeras gotas mientras el Précontraint 502 se moviliza por la estructura para cubrirla

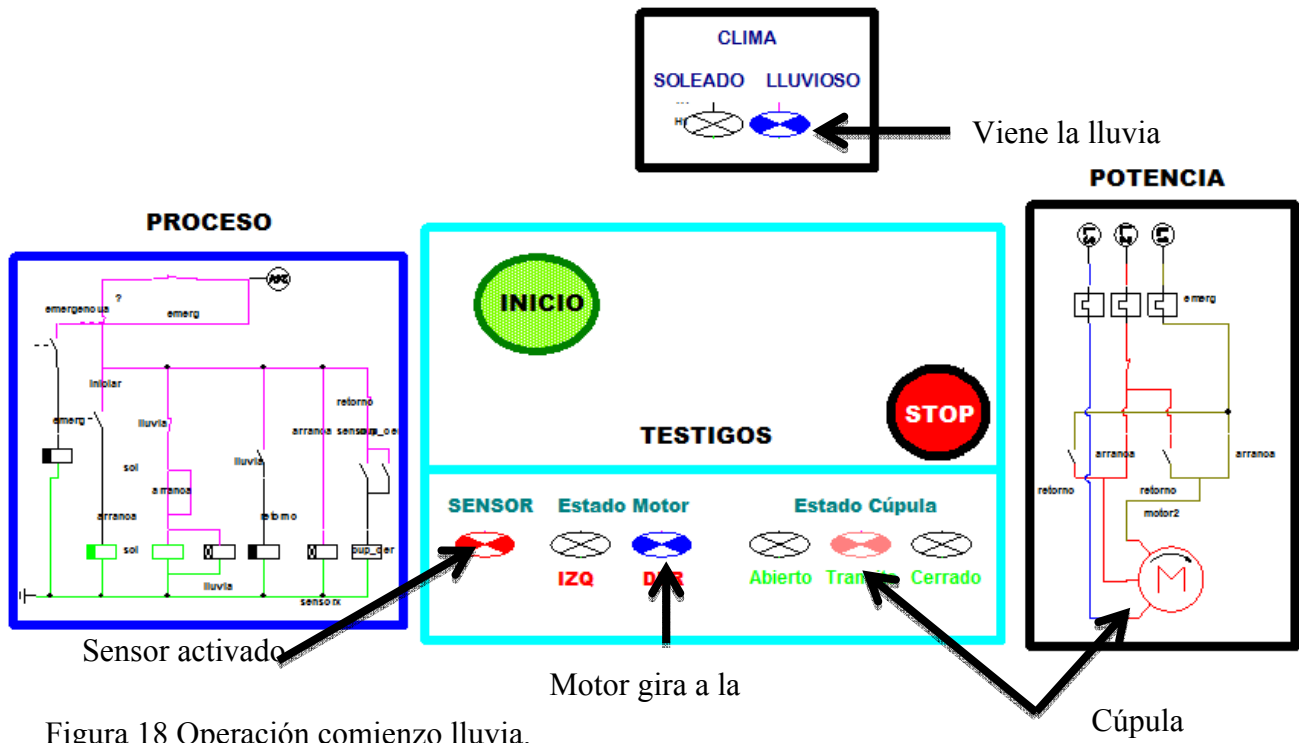


Figura 18 Operación comienzo lluvia.

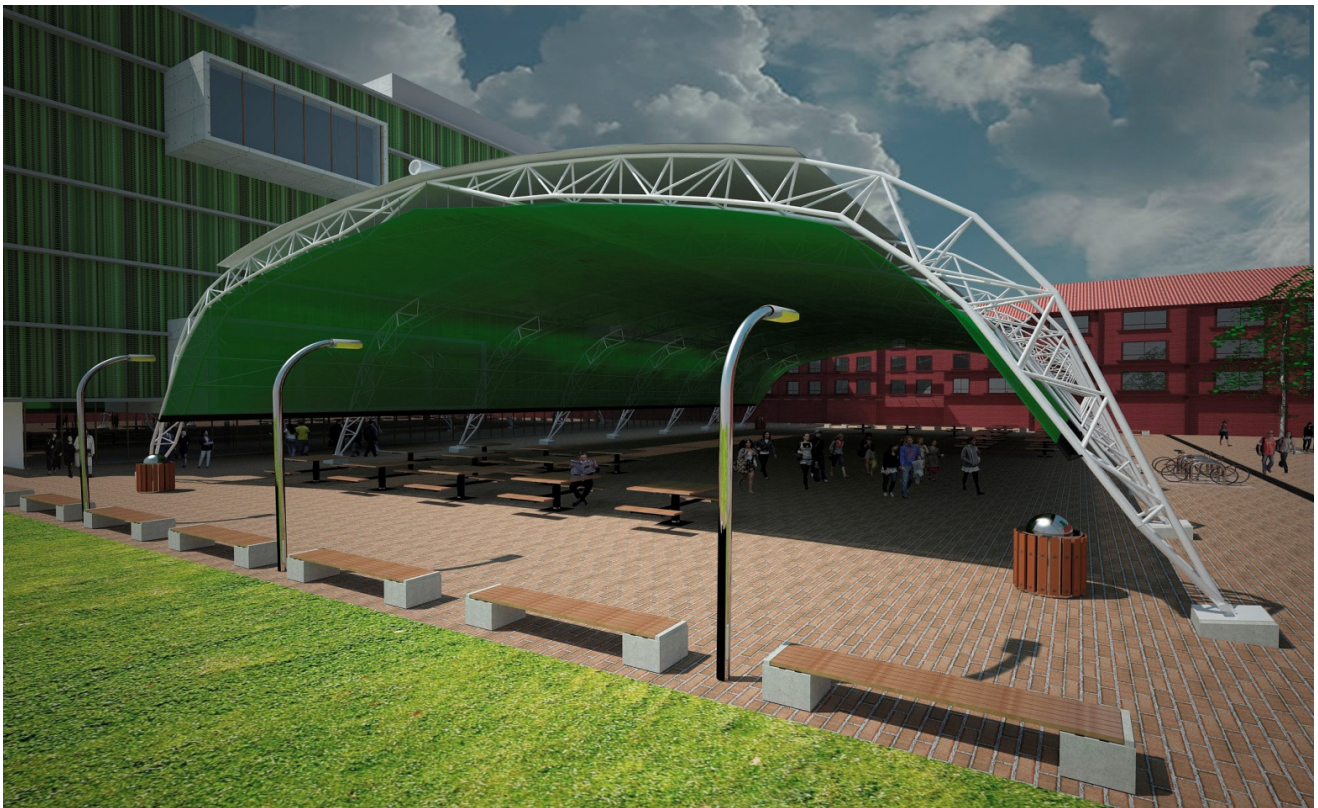


Figura 19 Membrana reaccionando. Fuente: (Autor, 2013)



Cuando el material Précontraint 502 cubra todas las partes de la cúpula de la estructura, esta entra en la siguiente fase que es cerrada; en ese momento la estructura cuenta con doble protección una que deja fluir el aire y otra que impide que entre agua y aire frío de la lluvia dándole vida al concepto de membrana termosensible.

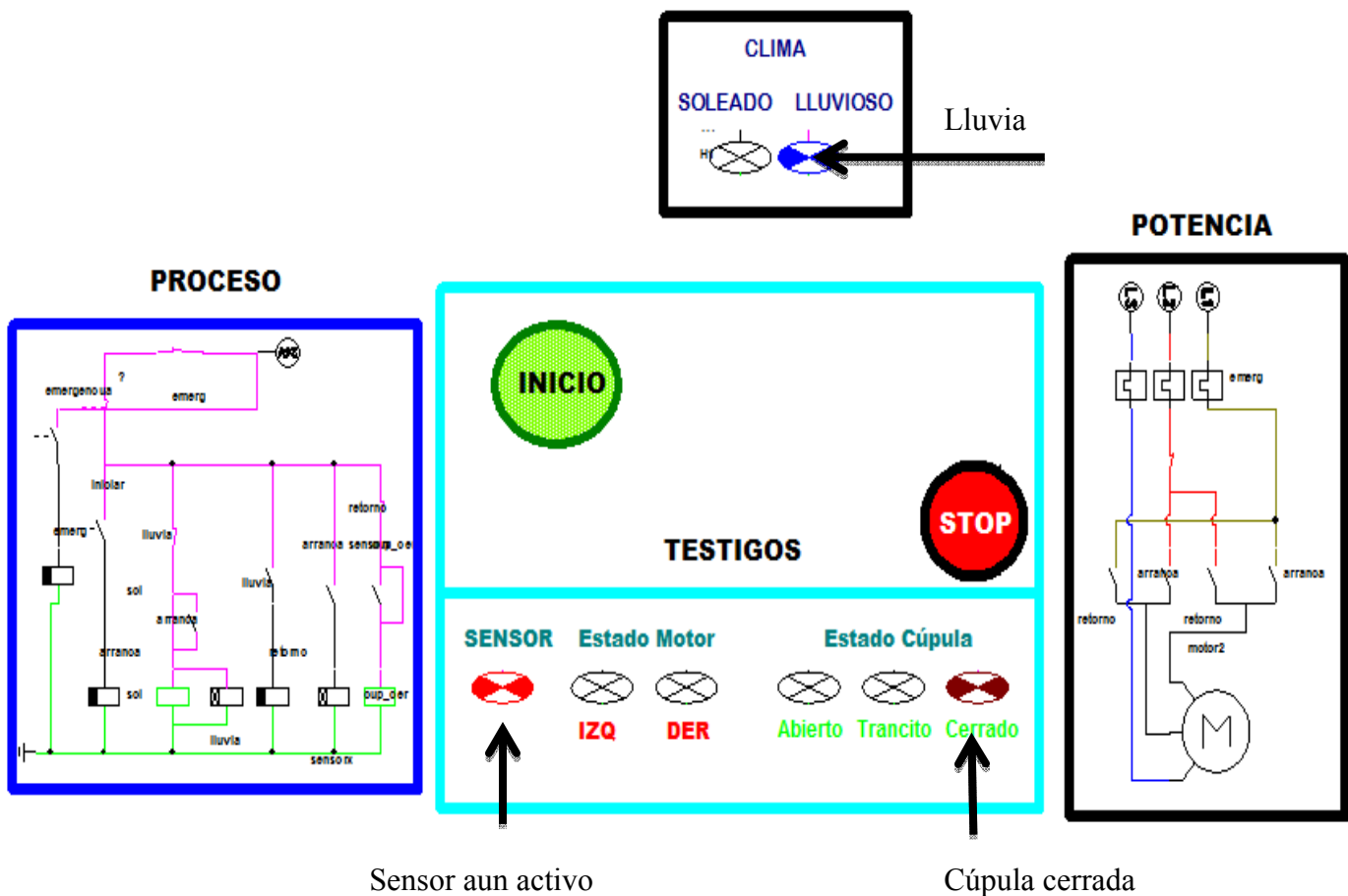


Figura 20 Operación Lluvia.

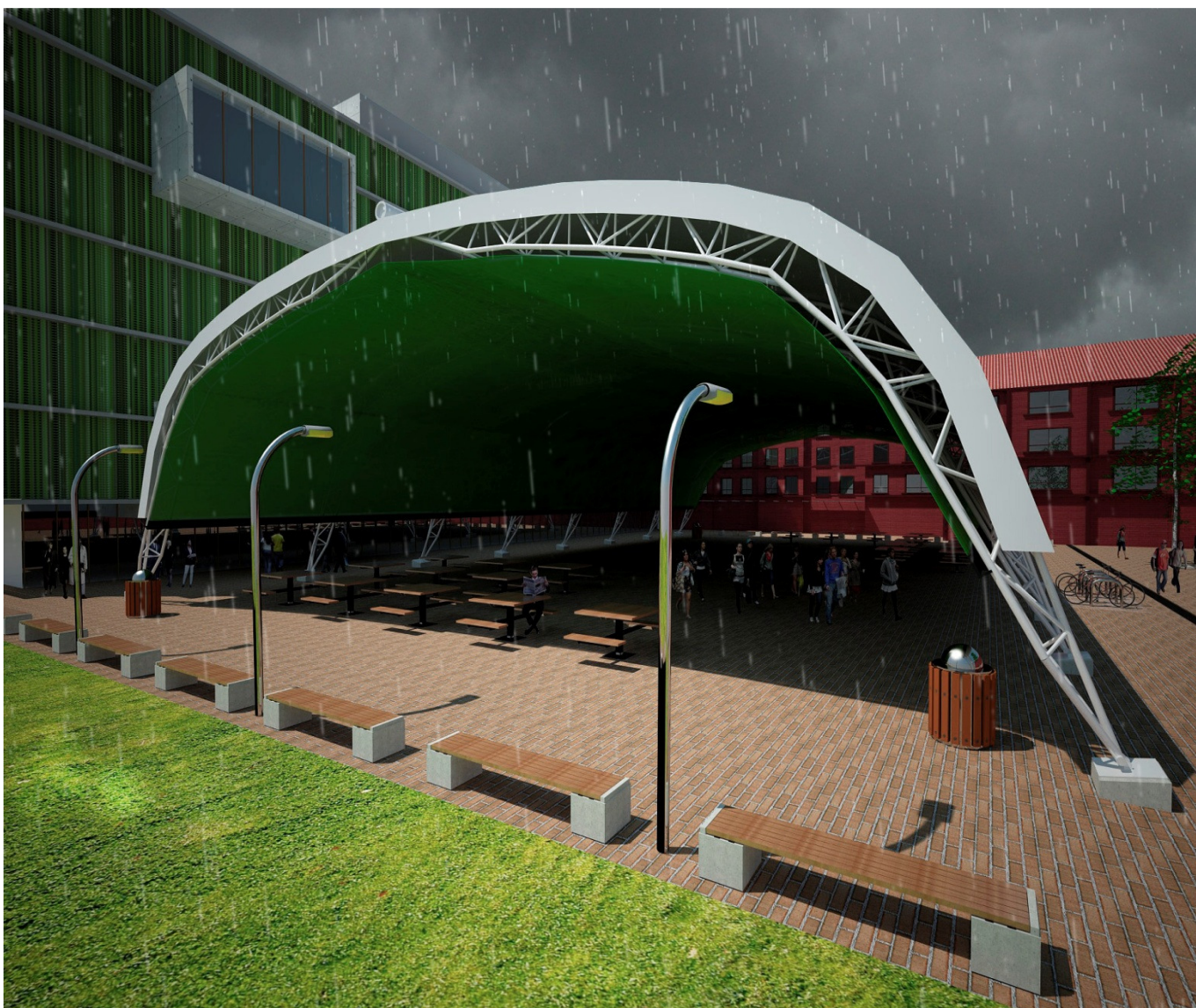


Figura 21 Membrana cerrada.

Fuente: (Autor, 2013)

Cuando cese la lluvia el sensor dejara de recibir el estímulo que hace reaccionar a la estructura, con esto inmediatamente el motor girará a la izquierda con el fin de recoger el material Précontraint 502 y dejar la cúpula de la estructura de nuevo abierta para disfrutar del ambiente seco.

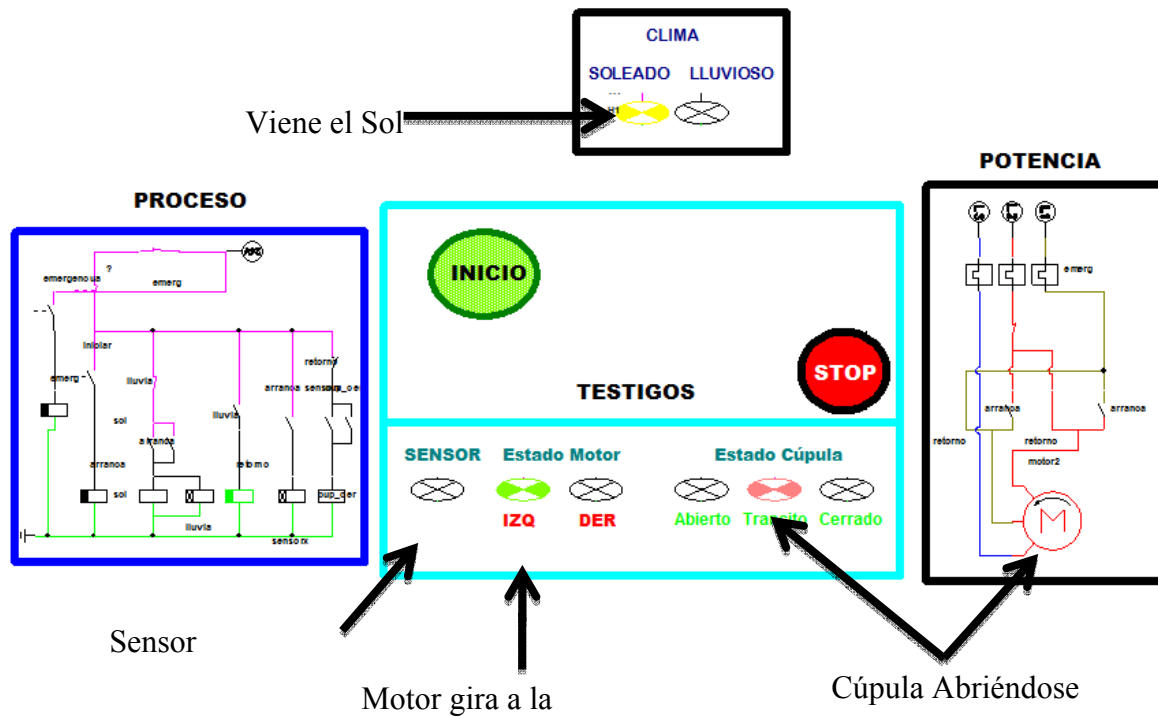


Figura 22 Operación comienzo día soleado.

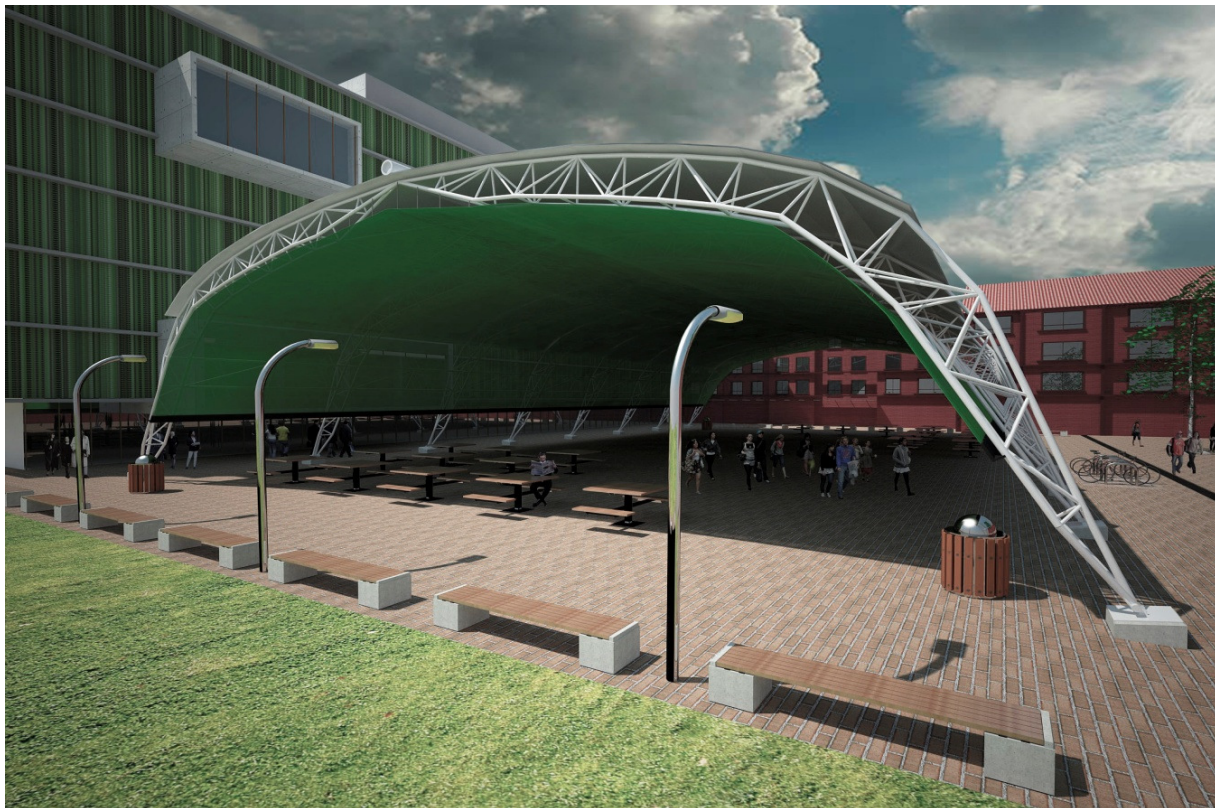


Figura 23 Retorno a estado abierto. Fuente: (Autor, 2013)

La simulación completa se encuentra en los archivos anexos, lo anteriormente presentado fue una forma más didáctica de explicar y ver cómo el sistema de sensores entra en comunicación con la estructura y el conjunto de estas logra cumplir con nuestro objetivo de brindar protección climática a los usuarios de nuestras membranas, el concepto de cúpula viene siendo el del tramo superior de la estructura, se llamo así para diferenciarlo del de la estructura dado que en arquitectura se le denomina a estas formas de esa manera y era necesario incluir nuevos conceptos para la identificación de la estructura.

## Capítulo 4 La Simulación

Para el desarrollo de esta parte del proyecto fue necesario tener un diseño adelantado. Como se comentó anteriormente la estructura se realizó bajo una configuración de 8 pórticos en sección tubular con una luz de 25,30 mts separados cada 6mts entre ejes (ver planos Anexos), se estableció también que por la configuración geométrica idéntica de cada uno de los pórticos se iban a considerar cargas iguales para cada uno, con lo cual se toma el central el número cuatro (4) como pórtico crítico, en la siguiente figura (Ver Figura 22) se aprecia un acercamiento a la base de la estructura y su sección tubular.

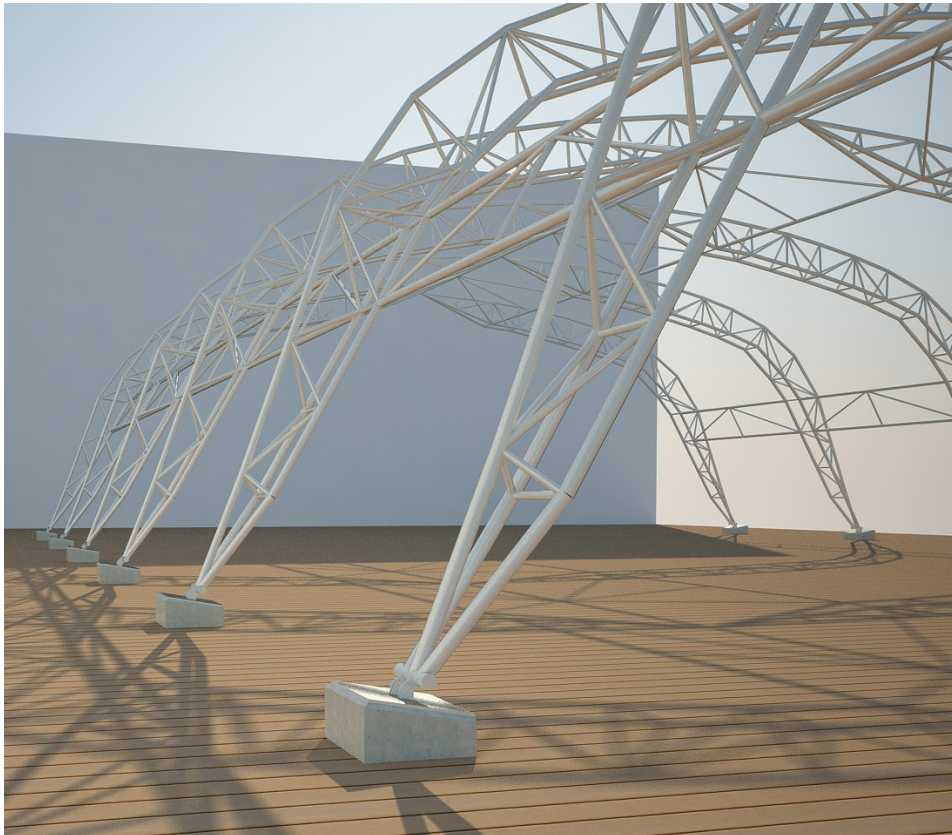


Figura 24 Base de la estructura.

Fuente: (Autor, 2013)

Para la simulación de los puntos de esfuerzo de la estructura se utilizó un programa computacional llamado SAP 2000 versión 9 NL que es un software conocido en el mundo del diseño de estructuras y edificios. Las ventajas de este programa son su calidad en la forma en que evalúa las estructuras como tal, pero esta versión en general presenta muchas complicaciones con la interfaz para el diseño. Por esta razón sólo fue usada para evaluar las áreas de mayor esfuerzo de la estructura. Este programa realiza muchas acciones mediante su base de datos, que funciona por comandos en los cuales se sitúa a la estructura en diversos escenarios en los cuales se establece si cumple con los requerimientos de la norma nacional vigente, para este caso la del reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10).

En el caso del proyecto se atribuyeron las cargas a la estructura que se describen a continuación.

La carga muerta que es el peso propio de la estructura o sea del conjunto total de sus partes. El peso así calculado fue corregido por un factor de seguridad de 1.05 para considerar los elementos no estructurales que no se incluyen en el programa de análisis tales como, los tornillos, las arandelas y las tuercas entre otros. El peso propio de los cimientos es tenido en cuenta a medida que se pre dimensiona la cimentación, tomando una densidad para el concreto reforzado de 2400 Kg/m<sup>3</sup> y para el relleno de 1400kg/m<sup>3</sup>.

La carga viva la cual se atribuye a la operación de la estructura, En la norma es necesario prever cualquier posible riesgo se ha supuesto un valor de 0.5 KN/m<sup>2</sup> algo como 50KG/m<sup>2</sup>.

Para las cargas del viento y las de sismo hay que remitirse al reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10) en los títulos B y A respectivamente. Este aspecto de la estructura fue más desarrollado a la parte civil es por esta razón que no se presentan como tal

relaciones entre propiedades físicas y mecánicas de la estructura. Simplemente se suman los esfuerzos de toda la línea frente a los escenarios que se pongan en la simulación y en vista de lo que arroje el programa se determina si es admisible para la norma colombiana o hay que rediseñar algún pórtico. De esta manera podemos evaluar la estructura teniendo en cuenta los parámetros anteriormente mencionados de la siguiente manera que se presenta a continuación.

Como se determinó que los pórticos se les atribuirían cargas idénticas la simulación se basó en cada pórtico mostrándolo en sección (Ver Figura 23) para notar mejor los puntos en los cuales se puedan generar los esfuerzos.

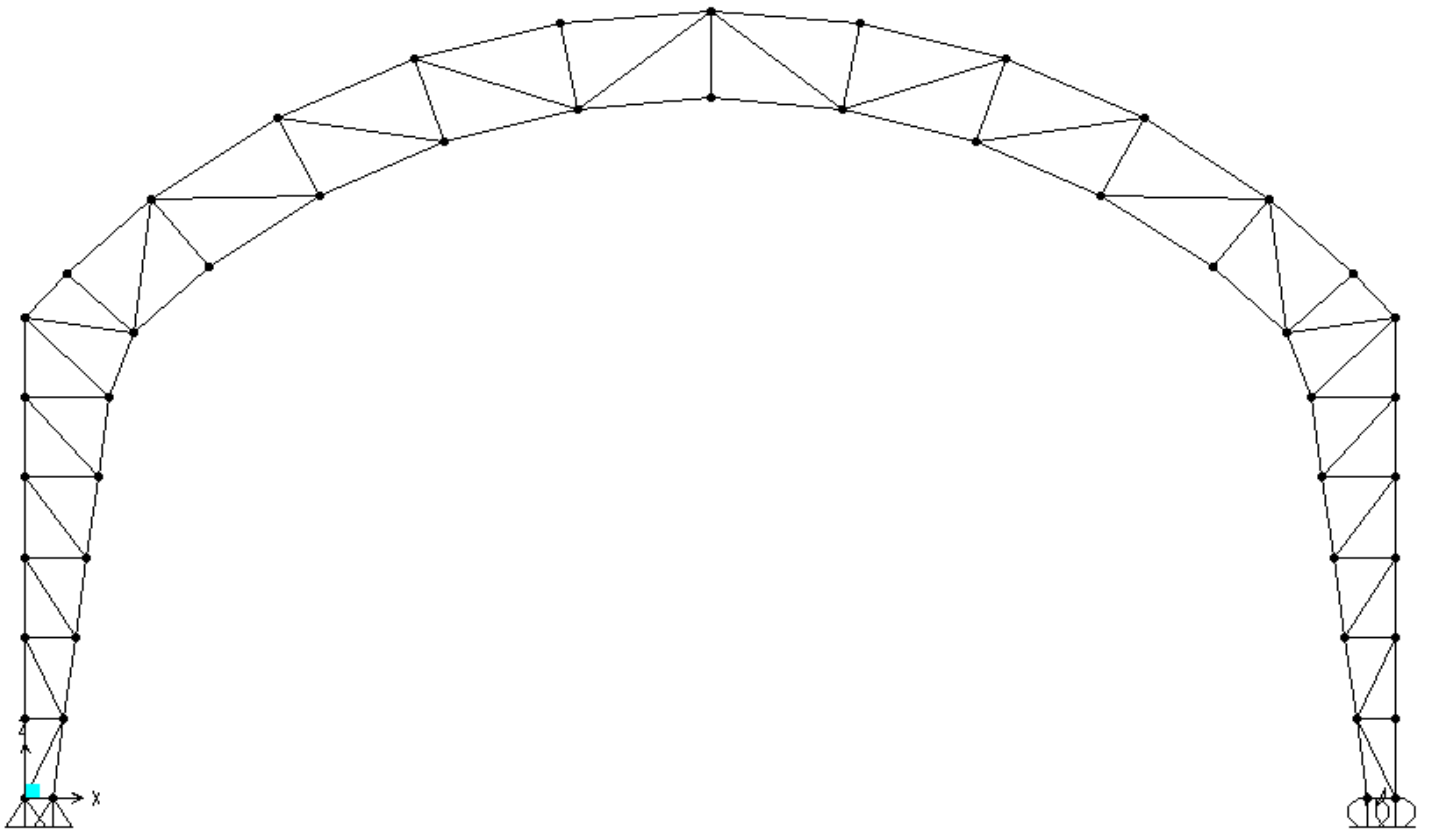


Figura 25 Esquema general pórtico transversal en 2D.

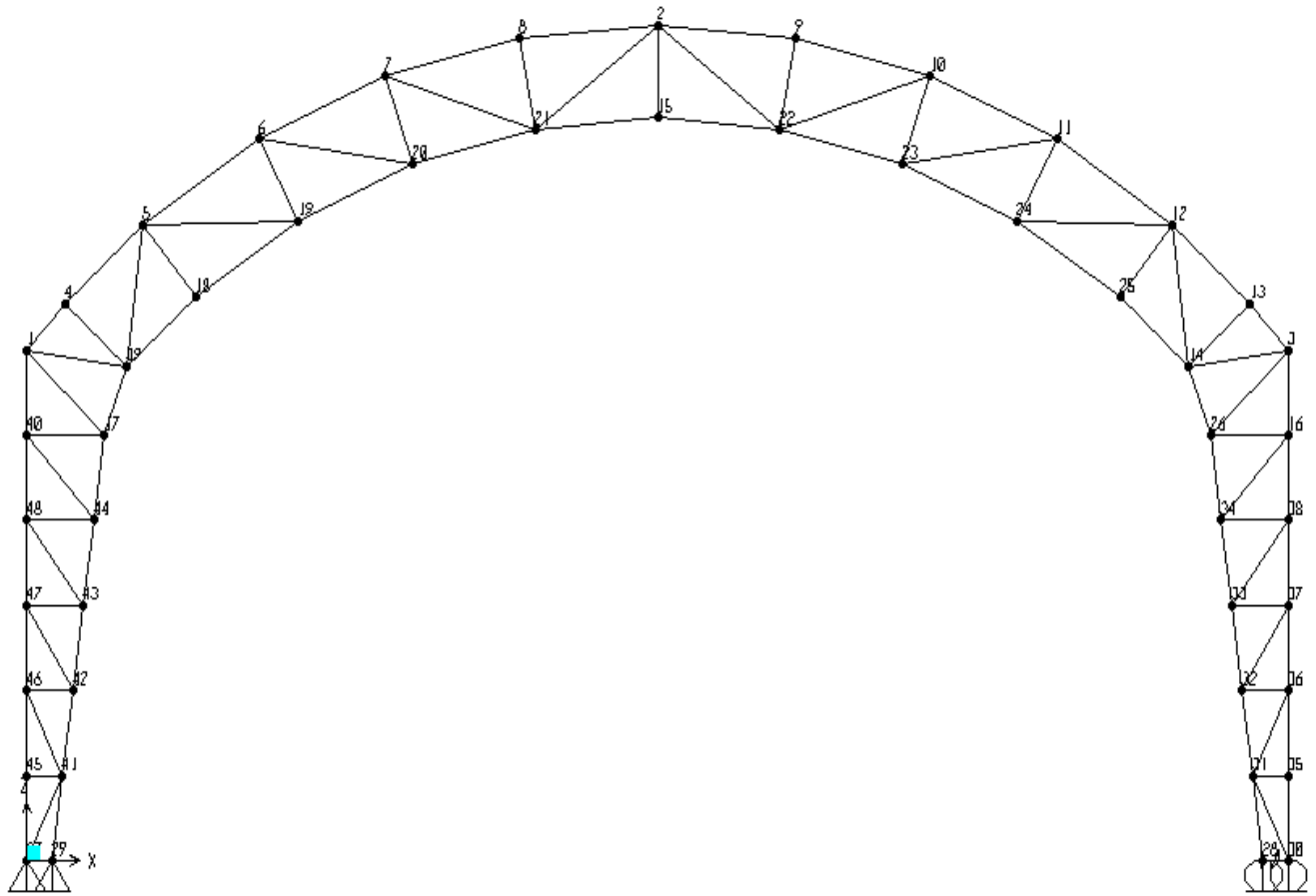


Figura 26 Numeración de nodos.

Por la forma en la que están construidas este tipo de estructuras en cada punto de conexión se presenta un esfuerzo, es por esta razón que es necesario nombrarlos para determinar en que punto puede fallar ocasionando un daño irreversible a la estructura (Ver Figura 24). Dentro de los planos anexos se encuentran determinados estos puntos de una manera más clara, en la siguiente tabla (Ver Tabla 14), tomada del informe arrojado por el software, se encuentra la exacta de nodos en la estructura y sus coordenadas dentro de la planta determinada.

Tabla 14 Coordenadas de las uniones (nodos) de la estructura.



<b>Joint</b>	<b>CoordSys</b>	<b>GlobalX</b>	<b>GlobalY</b>	<b>GlobalZ</b>
Text	Text	m	m	m
1	GLOBAL	0.00	0.00	5.50
2	GLOBAL	7.55	0.00	9.00
3	GLOBAL	15.10	0.00	5.50
4	GLOBAL	0.46	0.00	6.00
5	GLOBAL	1.39	0.00	6.85
6	GLOBAL	2.77	0.00	7.77
7	GLOBAL	4.29	0.00	8.45
8	GLOBAL	5.90	0.00	8.86
9	GLOBAL	9.20	0.00	8.86
10	GLOBAL	10.81	0.00	8.45
11	GLOBAL	12.33	0.00	7.77
12	GLOBAL	13.71	0.00	6.85
13	GLOBAL	14.65	0.00	6.00
14	GLOBAL	13.91	0.00	5.32
15	GLOBAL	7.55	0.00	8.00
16	GLOBAL	15.10	0.00	4.58
17	GLOBAL	0.93	0.00	4.58
18	GLOBAL	2.01	0.00	6.07
19	GLOBAL	3.25	0.00	6.89
20	GLOBAL	4.62	0.00	7.50
21	GLOBAL	6.09	0.00	7.87
22	GLOBAL	9.01	0.00	7.87
23	GLOBAL	10.48	0.00	7.50
24	GLOBAL	11.85	0.00	6.89
25	GLOBAL	13.09	0.00	6.07
26	GLOBAL	14.17	0.00	4.58
27	GLOBAL	0.00	0.00	0.00
28	GLOBAL	14.80	0.00	0.00
29	GLOBAL	0.30	0.00	0.00
30	GLOBAL	15.10	0.00	0.00
31	GLOBAL	14.67	0.00	0.92
32	GLOBAL	14.55	0.00	1.83
33	GLOBAL	14.42	0.00	2.75
34	GLOBAL	14.30	0.00	3.67
35	GLOBAL	15.10	0.00	0.92
36	GLOBAL	15.10	0.00	1.83
37	GLOBAL	15.10	0.00	2.75
38	GLOBAL	15.10	0.00	3.67
39	GLOBAL	1.19	0.00	5.32
40	GLOBAL	0.00	0.00	4.58
41	GLOBAL	0.43	0.00	0.92
42	GLOBAL	0.55	0.00	1.83
43	GLOBAL	0.68	0.00	2.75

44	GLOBAL	0.80	0.00	3.67
45	GLOBAL	0.00	0.00	0.92
46	GLOBAL	0.00	0.00	1.83
47	GLOBAL	0.00	0.00	2.75
48	GLOBAL	0.00	0.00	3.67

Fuente: SAP 2000.

Las siguientes son Figuras muestran cómo interactúan las cargas mencionadas en la estructura, estas fuerzas equivalen a derivas y o deformaciones las cuales se observaran y comentaran a profundidad más adelante.

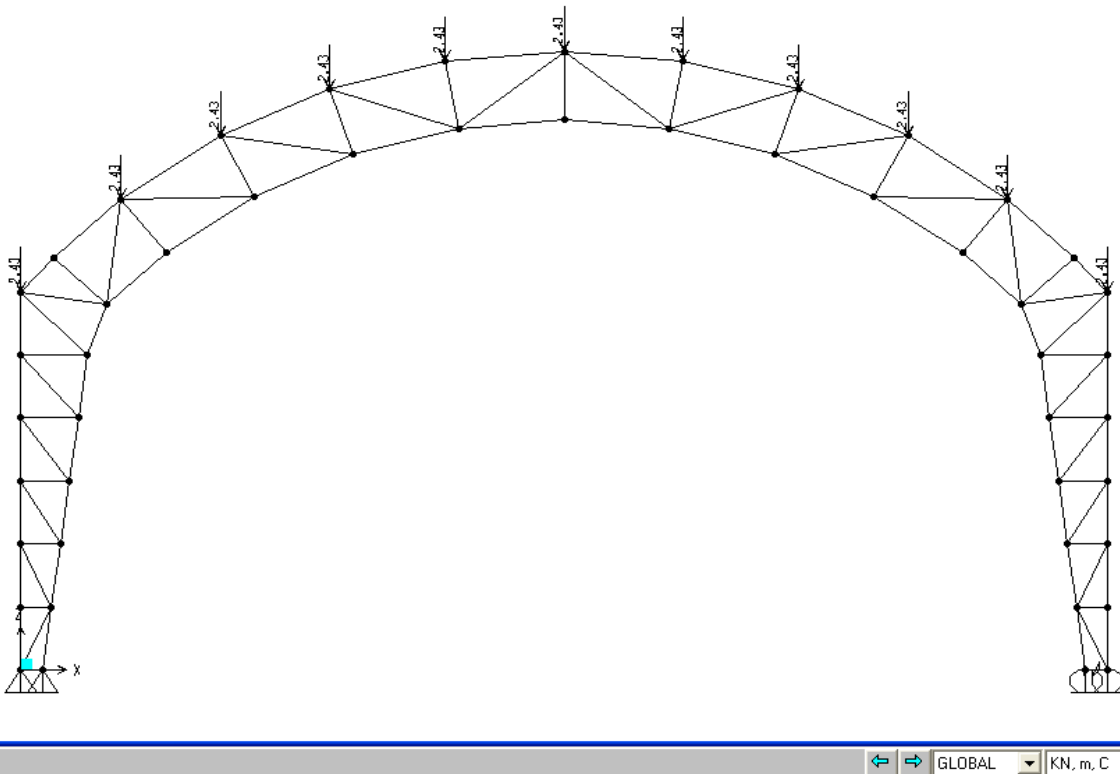


Figura 27 Carga muerta.

La carga muerta (Ver Figura 25) se aplica a la estructura de forma descendente; con el fin de aproximar la aglomeración de peso en la estructura yendo de la cúpula a la base, para la simulación a cada nodo externo se le aplicaron 2.43 KN de carga muerta.

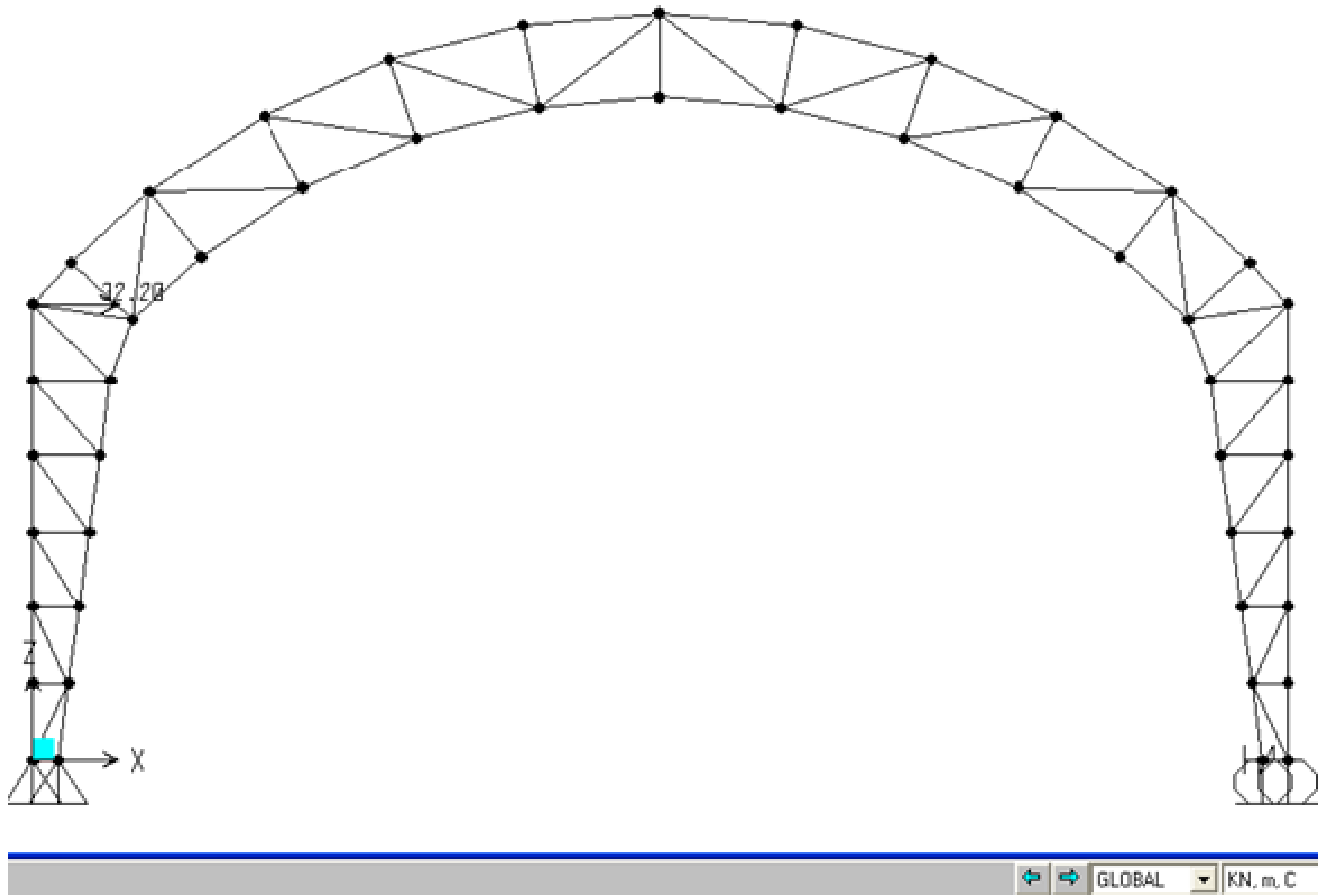
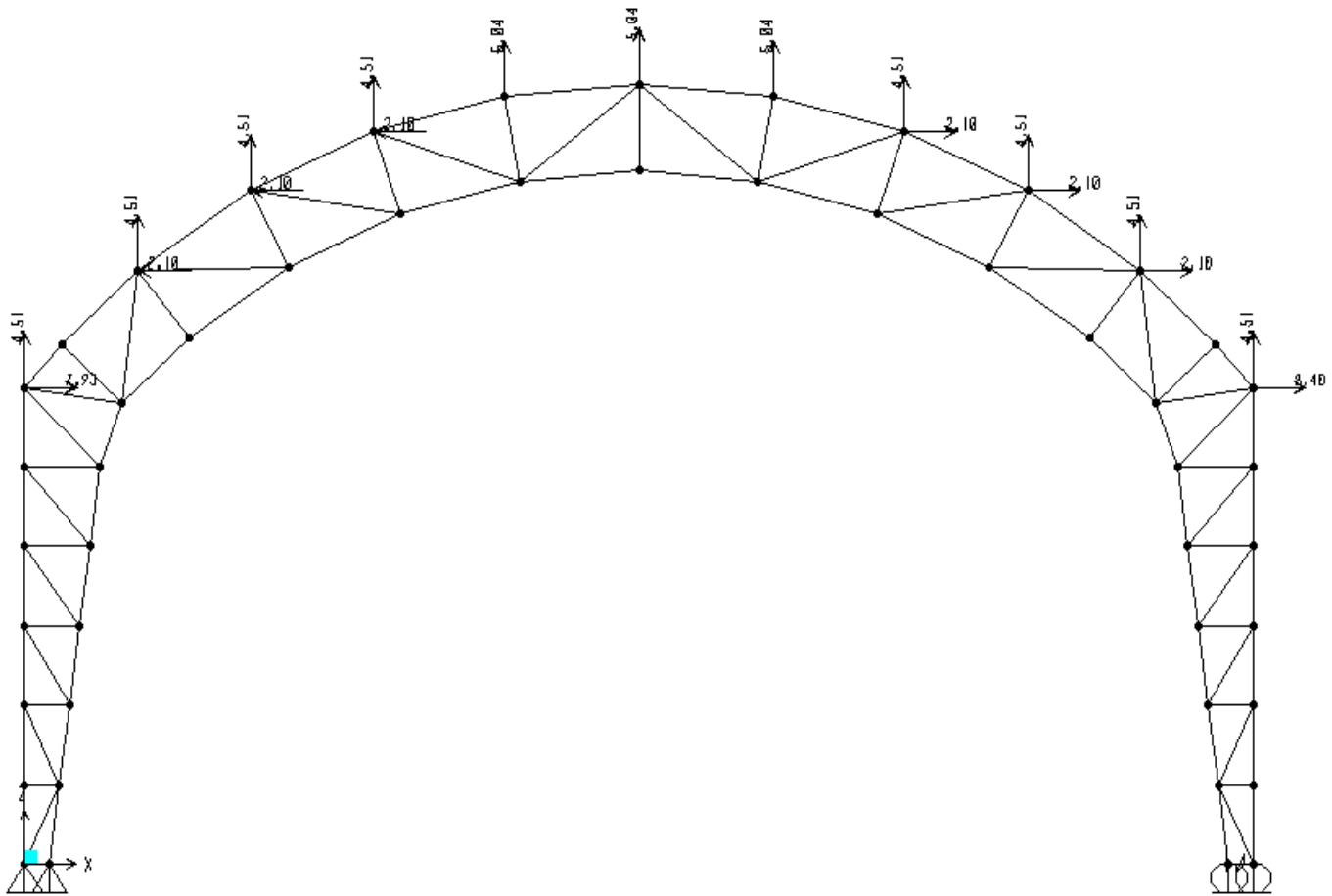


Figura 28 Carga viva.

Como se comentó anteriormente la carga viva (Ver Figura 26) es la operación de la estructura y como esta no se da, se asume un valor mínimo (0.5 KN) para realizar la carga.



GLOBAL KN, m, C

Figura 29 Carga de viento transversal.

En el proyecto es importante conocer la carga que puede llegar a ejercer el viento dentro de la estructura (Ver Figura 27), con el análisis hecho en el primer capítulo se determinó darle una carga que supiera en un factor el factor más crítico que es cuando el viento viene en dos direcciones tanto de norte a sur con probables desviaciones hacia el techo de la estructura, las cargas aplicadas para esta parte de la simulación oscilaron entre 4.00 KN y los 8.00 KN.

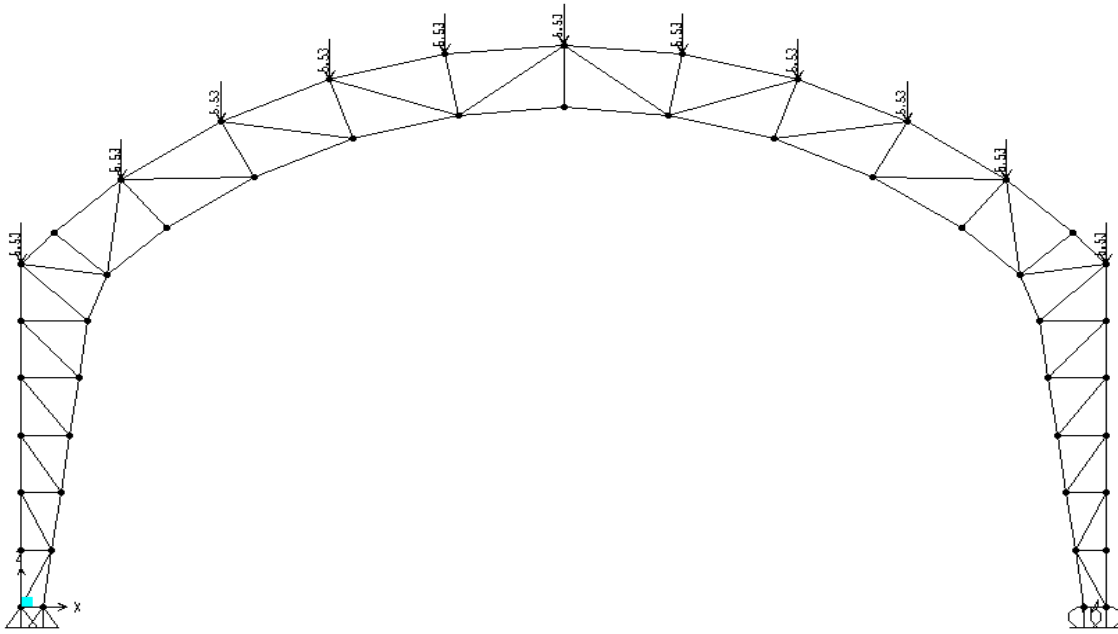


Figura 30 Carga de Sismo

En esta parte de la simulación la fuerza recae sobre las bases y zapatas debido a que el movimiento viene como tal de la estructura entonces la carga muerta en un movimiento conjunto puede determinar la ruptura de una de estas bases causando la caída de la estructura, este es uno de los puntos de mayor esfuerzo debido a que se enfrenta a un movimiento telúrico que genera mas fuerza que el viento o una tormenta, con estos datos y con las probabilidades también se asignaron fuerzas fijas que estuvieron alrededor de los 7.00 KN

Deformaciones.

Después de someter la estructura a las diferentes fuerzas se obtienen los resultados o las llamadas derivas o deformaciones que son las que establecen si la estructura posee la capacidad cortante requerida.

En la figura 29 se puede observar que el nodo 15 es quien presenta el mayor esfuerzo debido a la fuerza ejercida en si misma haciendo abducción a una carga excesiva.

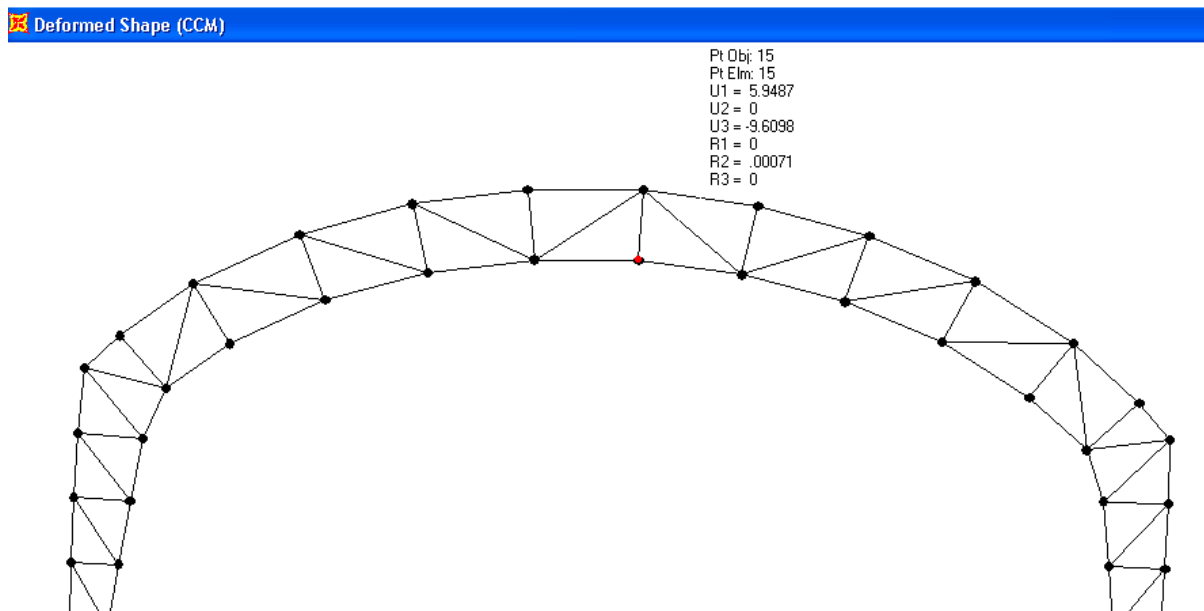


Figura 31 Pórtico transversal deformación por carga muerta.

En vista de que la carga viva es prácticamente nula para la estructura, no se evidencia mayor deformación, por ende la estructura se mantiene normal.(Ver Figura 30)

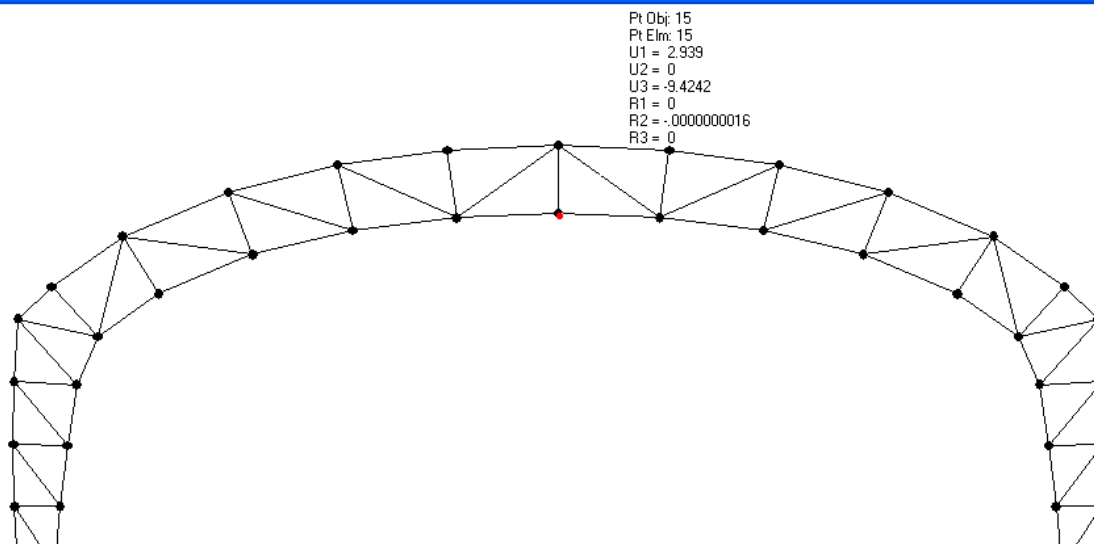


Figura 32 pórtico transversal deformación por carga viva.

En resumen las anteriores cargas repartidas y evaluadas a lo largo de toda la estructura general el siguiente informe.

Tabla 15 Desplazamientos de los nodos

<b>TABLE: Joint Displacements</b>					
<b>Joint</b>	<b>OutputCase</b>	<b>CaseType</b>	<b>U1</b>	<b>U2</b>	<b>U3</b>
Text	Text	Text	mm	mm	mm
1	F	Combination	30.70	0.00	-0.66
1	G	Combination	10.86	0.00	-0.13
1	H	Combination	30.49	0.00	-0.68
1	J	Combination	10.65	0.00	-0.16
3	F	Combination	36.74	0.00	-11.96
3	G	Combination	18.68	0.00	-12.07
3	H	Combination	31.42	0.00	-8.93
3	J	Combination	13.36	0.00	-9.04
		Max	36.74	0.00	-0.13
		Min	10.65	0.00	-12.07

La máxima deformación horizontal que se presenta es 36mm, aplicando el límite del 1% de la altura, la deformación máxima permitida serian 55mm. Al ser menor al límite permitido por la norma colombiana se considera que la estructura es aceptable.

Tabla 15 Derivas pórtico longitudinal.

<b>TABLE: Joint Displacements</b>					
<b>Joint</b>	<b>OutputCase</b>	<b>CaseType</b>	<b>U1</b>	<b>U2</b>	<b>U3</b>
Text	Text	Text	mm	mm	mm
1	F	Combination	16.19	21.17	0.35
1	G	Combination	4.13	68.51	0.91
1	H	Combination	18.24	21.32	0.45
1	J	Combination	6.18	68.66	1.01
3	F	Combination	17.64	20.79	-0.16
3	G	Combination	6.19	69.15	1.18
3	H	Combination	15.70	20.65	-0.08
3	J	Combination	4.25	69.02	1.25
28	F	Combination	15.18	21.16	-0.52
28	G	Combination	0.72	68.46	-1.54
28	H	Combination	17.12	21.31	-0.44
28	J	Combination	2.66	68.61	-1.46
49	F	Combination	18.96	20.78	-0.98
49	G	Combination	10.02	69.13	-1.27
49	H	Combination	16.87	20.65	-0.87
49	J	Combination	7.93	69.00	-1.17
133	F	Combination	16.25	21.18	0.18
133	G	Combination	4.70	68.52	0.42
133	H	Combination	18.33	21.33	0.29
133	J	Combination	6.78	68.67	0.53
135	F	Combination	17.57	20.80	-0.25
135	G	Combination	5.91	69.19	0.92
135	H	Combination	15.63	20.66	-0.17
135	J	Combination	3.97	69.05	1.00
199	F	Combination	15.06	21.17	-0.48
199	G	Combination	0.54	68.49	-1.38
199	H	Combination	17.01	21.32	-0.40
199	J	Combination	2.49	68.64	-1.30
201	F	Combination	19.07	20.80	-0.89
201	G	Combination	10.49	69.20	-0.96
201	H	Combination	16.98	20.67	-0.78
201	J	Combination	8.39	69.06	-0.85
311	F	Combination	16.24	21.19	0.23



311	G	Combination	4.52	68.53	0.57
311	H	Combination	18.33	21.34	0.34
311	J	Combination	6.60	68.68	0.68
313	F	Combination	17.67	20.82	-0.22
313	G	Combination	6.12	69.23	1.01
313	H	Combination	15.72	20.68	-0.14
313	J	Combination	4.17	69.09	1.09
377	F	Combination	15.10	21.18	-0.49
377	G	Combination	0.67	68.49	-1.43
377	H	Combination	17.05	21.33	-0.41
377	J	Combination	2.61	68.64	-1.35
379	F	Combination	19.03	20.82	-0.92
379	G	Combination	10.38	69.23	-1.05
379	H	Combination	16.94	20.68	-0.81
444	F	Combination	16.01	21.17	1.21
444	G	Combination	3.72	68.48	3.58
444	H	Combination	18.07	21.32	1.34
444	J	Combination	5.77	68.63	3.71
445	F	Combination	17.93	20.80	0.29
445	G	Combination	6.98	69.19	3.40
445	H	Combination	15.96	20.67	0.43
445	J	Combination	5.02	69.05	3.54
446	F	Combination	18.79	20.80	-1.52
446	G	Combination	9.66	69.17	-2.82
446	H	Combination	16.72	20.66	-1.39
446	J	Combination	7.59	69.03	-2.69
485	F	Combination	16.26	21.18	0.20
485	G	Combination	4.63	68.47	0.47
485	H	Combination	18.34	21.32	0.31
485	J	Combination	6.71	68.62	0.58
487	F	Combination	17.64	20.82	-0.23
487	G	Combination	5.99	69.21	0.95
487	H	Combination	15.69	20.68	-0.15
487	J	Combination	4.04	69.07	1.03
551	F	Combination	15.02	21.17	-0.47
551	G	Combination	0.52	68.42	-1.36
551	H	Combination	16.96	21.31	-0.39
551	J	Combination	2.46	68.57	-1.27
553	F	Combination	19.04	20.81	-0.88
553	G	Combination	10.52	69.20	-0.92
553	H	Combination	16.94	20.67	-0.77
553	J	Combination	8.42	69.06	-0.81
659	F	Combination	16.27	21.16	0.28
659	G	Combination	4.29	68.38	0.78
659	H	Combination	18.35	21.30	0.39

659	J	Combination	6.37	68.53	0.89
661	F	Combination	17.70	20.80	-0.18
661	G	Combination	6.05	69.15	1.13
661	H	Combination	15.74	20.66	-0.10
661	J	Combination	4.10	69.01	1.21
725	F	Combination	15.21	21.16	-0.50
725	G	Combination	0.76	68.38	-1.54
725	H	Combination	17.15	21.30	-0.43
725	J	Combination	2.70	68.53	-1.47
727	F	Combination	18.81	20.81	-0.97
727	G	Combination	9.84	69.18	-1.32
727	H	Combination	16.76	20.67	-0.88
727	J	Combination	7.80	69.04	-1.22
		Max	19	69	4
		min	1	21	-3

Cada una de las letras mencionadas en la output case representa un comando del programa que se aplica a cada junta entrelazada, hay momentos en los cuales se ejercen varias combinaciones en diferentes puntos de la estructura con lo cual se intenta obtener un cálculo más objetivo y más cercano a la realidad, con todo esto se llegan a unas deformaciones máximas con las cuales se puede dar un concepto, La máxima deformación horizontal que se presenta es 69mm, aplicando el límite del 1% que está dado por la norma colombiana en la que se especifica que la deformación máxima permitida sería de 55mm. Con este valor la estructura sobrepasaría este valor. Pero de acuerdo a lo indicado en la norma colombiana para derivas el coeficiente de importancia puede tomarse como 1, 1.25, entonces;

- Dividimos las deformaciones por 1.25.
- Tendríamos  $69/1.25=54\text{mm}$

Este resultado nos deja al borde de la norma pero es aceptable.

## **Conclusiones:**

Siguiendo el crecimiento del proyecto en cada una de sus fases, se puede concluir que viviendo en una ciudad como Bogotá, que por su ubicación geográfica resalta las condiciones de un clima frío y con probabilidades de lluvia todos los días. La solución siempre deberá estar bien preparada; el proceso del proyecto permitió crear una estructura capaz de sostenerse y de soportar una serie de elementos que combinados pueden proveer ese confort climático en el cual se centraba el problema de este trabajo de grado.

Con la idea siempre de mejorar el diseño, se investigó, hasta llegar a la cuna del diseño en Italia para encontrar los mejores textiles con las cuales se procuraba experimentar y hallar una fórmula en la cual se pudieran combinar las propiedades de una textura con las propiedades de otra; mejorando así la forma en la cual se disponían estos materiales todo con el fin de entregar un producto de calidad.

La fase del diseño dejó como precepto que de las formas geométricas más simples se pueden desarrollar grandes proyectos. La idea partió de la sede antigua con su prado central. Siempre quise volver a dar un golpe visual como el que daba ese prado, ya que siempre que llueve no hay más remedio que recoger todo y la plazoleta queda limpia. Con el cumplimiento del objetivo general del proyecto se pudo acercarse de nuevo a esa idea de poder estar debajo de la lluvia o debajo de un potente sol y seguir socializando. Creo que la excusa de “está lloviendo” queda atrás con este proyecto. La estructura como tal es una forma muy estética de brindar ese servicio de confort climático a los usuarios de la membrana.

El diseño fue la parte más complicada del proyecto debido al poco espacio actual sobre el cual aplicar la estructura. Por fortuna se logró aprovechar cada milímetro de la plazoleta en pro de

construir un producto emprendedor y de gran calidad. Si se miran con detenimiento los conceptos aplicados en la fase del sistema de sensores se puede observar que no existe un desarrollo grandísimo; simplemente es una tarea básica de prender y apagar, pero que, sumada a una estructura con un diseño extraordinario y una disposición correcta de materiales para la protección climática, genera un producto que cumple las expectativas de su diseñador y que genera un camino por el cual profundizar.

Se partió desde la búsqueda de una solución práctica para la problemática, formulando varios bocetos cada uno con diversas combinaciones estructurales las cuales no se acercaban al objetivo principal, teniendo en cuenta el poco espacio con el que se contaba era necesario tomar una decisión que permitiera el correcto desarrollo del proyecto, después de reflexionar frente a todas las variables y de evaluar uno a uno los diseños preliminares, el modelo de la cúpula fue el más atractivo debido a su constructibilidad, economía y posibilidades dimensionales para lo que requería el proyecto, teniendo un diseño base y contando con un análisis previo de las tendencias climáticas de la zona se establecieron ciertos ítems de calificación para los materiales a usar, con el fin de preservar el diseño y acercarnos cada vez más al objetivo. Por esta razón se buscaron materiales que redefinieran el concepto de estructura en sí misma, con esta premisa se encontraron bases de diseño claras en lo concerniente a la parte estructural, pues la normalización ya citaba algunos elementos como mandatorios en los diseños estructurales (Tuberías, láminas y tuercas). En el campo exterior es decir en el campo de la interacción con el ambiente se encontraron diferentes investigaciones de compañías, las cuales nos permitieron llegar a la elección de dos tipos de textiles que combinados profieren la calidad climática que buscamos en el proyecto, con todo este arsenal de datos y de información, la forma de hacerlos comunicarse en

ese momento era el problema, en vista de que en el mercado se encuentran diferentes tipos de sensores con los cuales se puede controlar y evaluar desde un fluido hasta un misil, era mandatorio incluir alguno en nuestro sistema con motivo de ser el medio por el cual la estructura se comunicara con el ambiente, con este objetivo se partió en la búsqueda de un diseño automatizado con el cual se desarrollara dicho objetivo, al final se logró obtener un sistema practico muy acorde a los requerimientos del proyecto. Con este punto resuelto solo quedaba verificar que la estructura fuera viable, afortunadamente gracias a una condición del reglamento Colombiano la estructura pasó las pruebas necesarias para considerarse como aceptable, dando por cumplidos todos los objetivos de este trabajo de Grado.

### **Recomendaciones:**

Teniendo en cuenta el poco espacio de desarrollo que tenía el proyecto, sería interesante la idea de mejorar la estructura dándole más ambientes internos y generando espacio probablemente en un segundo nivel. Considero que la exploración de nuevos materiales puede dar la pauta al siguiente paso, que como lo mencioné al inicio del trabajo, serán las membranas inteligentes, que seguro tendrán más desarrollo en la parte de electrónica y automatización. Pienso que la investigación de nuevos materiales estructurales podría dar como resultado una estructura más liviana, lo que permitiría optimizar también el diseño para que el sistema electrónico consuma menos potencia eléctrica y disminuya la carga sobre la estructura. Por experiencia es mejor tener una estructura más liviana, no con esto quiero decir una más débil, pero si una que pueda ofrecer mayores y mejores oportunidades de diseño y que no presente tantas falencias al simulador de cargas.

## Bibliografía

ASTM international. (2000). *Standard Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts*. Conshohocken: ASTM international.

ASTM International. (2000). *Standard Specification for Carbon Structural Steel*. Conshohocken: ASTM International.

ASTM International. (2002). *Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless*. Conshohocken: ASTM International.

ASTM International. (2012). *Standard Specification for Portland Cement*. Conshohocken: ASTM International.

ASTM International. (2000). *Standard Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength*. Conshohocken: ASTM international.

Autor. (05 de Junio de 2013). Bogota.

Bogota, E. E. (31 de Enero de 2013). *Tu Tiempo*. Obtenido de [http://www.tutiempo.net/clima/Bogota\\_Eldorado/01-2013/802220.htm](http://www.tutiempo.net/clima/Bogota_Eldorado/01-2013/802220.htm)

Bogota, E. E. (28 de Febrero de 2013). *Tu Tiempo*. Obtenido de [http://www.tutiempo.net/clima/Bogota\\_Eldorado/02-2013/802220.htm](http://www.tutiempo.net/clima/Bogota_Eldorado/02-2013/802220.htm)

Bogota, E. E. (31 de Marzo de 2013). *Tu Tiempo*. Obtenido de [http://www.tutiempo.net/clima/Bogota\\_Eldorado/03-2013/802220.htm](http://www.tutiempo.net/clima/Bogota_Eldorado/03-2013/802220.htm)

Bogota, E. E. (31 de Mayo de 2013). *Tu Tiempo*. Obtenido de [http://www.tutiempo.net/clima/Bogota\\_Eldorado/05-2013/802220.htm](http://www.tutiempo.net/clima/Bogota_Eldorado/05-2013/802220.htm)

Bogota, E. E. (30 de Abril de 2013). *TuTiempo.net*. Obtenido de [http://www.tutiempo.net/clima/Bogota\\_Eldorado/04-2013/802220.htm](http://www.tutiempo.net/clima/Bogota_Eldorado/04-2013/802220.htm)

FERRARI GROUP. (8 de Junio de 2013). *FERRARI ARCHITECTURE*. Obtenido de [http://www.architecture-textile.com/es/index.php#/es/quien\\_somos/](http://www.architecture-textile.com/es/index.php#/es/quien_somos/)

Nombre de archivo: Trabajo de Grado Membranas Arquitectonicas Camilo  
Aparicio.docx  
Directorio: C:\Documents and Settings\APARC\Mis documentos  
Plantilla: C:\Documents and Settings\APARC\Datos de  
programa\Microsoft\Plantillas\Normal.dotm  
Título:  
Asunto:  
Autor: CASA  
Palabras clave:  
Comentarios:  
Fecha de creación: 24/07/2013 9:09:00  
Cambio número: 3  
Guardado el: 30/07/2013 13:26:00  
Guardado por: APARC  
Tiempo de edición: 3 minutos  
Impreso el: 30/07/2013 13:26:00  
Última impresión completa  
Número de páginas: 71  
Número de palabras: 11,328 (aprox.)  
Número de caracteres: 62,304 (aprox.)