

# La Alta Velocidad en el desierto: HARAMAIN HIGH SPEED RAILWAY LINE (HHSRL) “Propuesta de Medidas ecológicas de defensa de la Plataforma de vía frente a la acción del viento”

## *Measures proposed ecological protection platform track against windblown*

Luís Fort López-Tello<sup>1</sup>

### RESUMEN

Partiendo de un estudio general desarrollado por BMT Fluid Mechanics sobre los efectos del viento en las zonas arenosas del trazado de la HHSRL La Meca-Medina se hace una propuesta de medidas de defensa de la plataforma de vía consistente en la creación de ocho parques lineales situados en el lado Oeste de la línea a lo largo de sus primeros 210 km y localizados en las zonas con mayor cantidad de arrastres de arena, que totalizan un desarrollo de 21km y más de 120 has de zonas verdes, susceptibles en una etapa final de un aprovechamiento forestal y ganadero.

### PALABRAS CLAVE

Alta velocidad, Desierto, Dunas, Defensa contra viento, Arrastre de arena.

<sup>1</sup> Dr Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Dr Ingeniero Agrónomo lfort@ciccp.es Jubilado de los Cuerpos de Ingenieros de Caminos del Estado y de Profesores Titulares de Universidad Politécnica de Madrid.

## **ABSTRACT**

Based on a comprehensive study by BMT Fluid Mechanins on the effects of wind on the sandy areas of the Haramain High Speed Railway Line (HHSRL) Mecca-Medina, Saudi Arabia, a proposal for measures to protect the platform track consisting of the creation of eight linear parks located on the west side of the line along its first 210 km and located in areas with the largest number of tows sand, totaling a development of 21 km and more than 120 hectares of green, susceptible areas in a final stage of forestry and livestock use.

## **KEY WORDS**

High speed, desert, dune, line protection against windblown.

## 1. INTRODUCCIÓN

El estudio general desarrollado por BMT Fluid Mechanics en 2009-2010 por Al Rajhi Alliance (Contratista de los Trabajos de la Fase 1), sobre los efectos del viento en las zonas arenosas del trazado de la Línea de Alta Velocidad La Meca-Medina “Haramain High Speed Railway Line (HHSRL)”, señala la existencia de 20-25 Km del mismo con riesgo de invasión de la plataforma por avance de dunas de arena, pudiéndose extender los problemas de contaminación de la superestructura de vía y material móvil, por arrastre de arena y polvo a unos 197 Km a lo largo de la línea.

**Figura 1. Arrastre de la arena por el efecto del viento en el proyecto HHSRL**



Fuente: Imagen de la plataforma en obras del 2014 (Chema Moya- EFE). Boletín Vía Libre (9/03/2016)

A continuación se reproducen las tablas de ese estudio, que identifican los tramos afectados por estos problemas.

**Tabla 1. Secciones generales con problemas de arena y polvo**

TRAMOS	LONGITUD (KM)
Km 006 a Km 072	66
Km 080 a Km 211	131
<b>Total</b>	<b>197</b>

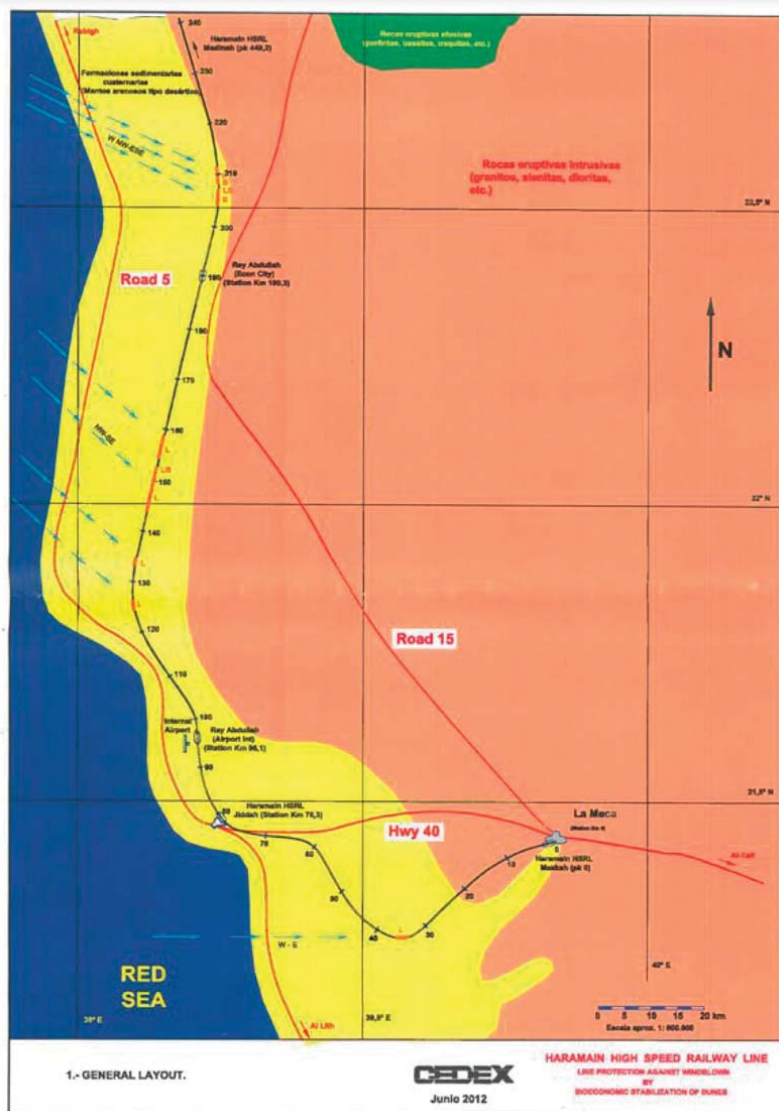
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 2. Tramos específicos con riesgo de invasión por dunas**

TRAMOS	MORFOLOGÍA DE DUNA	TENDENCIA	LONGITUD (KM)
Km 34,6 a 36	Lineal (L)	W-E	1,4
Km 123,6 a 124,2	Lineal (L)	NW-SE	0,6
Km 133,6 a 134,4	Lineal (L)	NW-SE	0,8
Km 143,6 a 151,4	Lineal (L)	NW-SE	7,8
Km 151,4 a 153,2	Lineal (L) y Barchan (B)	NW-SE	1,8
Km 154,1 a 158,5	Lineal (L)	NW-SE	4,4
Km 204,0 a 205,2	Barchan (B)	WNW-ESE	1,2
Km 205,5 a 206,5	Lineal (L), Barchan (B) y Seif (S)	WNW-ESE	1
Km 297,2 a 207,9	Lineal (L) y Barchan (B)	WNW-ESE	0,7
Km 207,9 a 208,2	Barchan (B)	WNW-ESE	0,3
Km 209,5 a 210,5	Lineal (L)	WNW-ESE	1
<b>TOTAL</b>			<b>21</b>

Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Planta General Línea La Meca-Medina (Pk 1 – Pk 240)



Fuente: CEDEX Año 2012.

## 2. BASES DE PARTIDA

Partiendo de la información general existente (notas y gráficos de prensa sobre la línea de alta velocidad y mapas físicos, políticos, de comunicaciones, geológicos y fitoclimáticos de Arabia Saudí) en el plano esquemático anterior se representan de forma aproximada las carreteras de la zona (en rojo) y el trazado de la Haramain HSRL en su primera mitad (en negro), desde la ciudad de La Meca Km 0, hasta las proximidades de Rabigh, en la que se localizan (coloreados) los tramos con riesgo de problemas de invasión de arena y polvo sobre la plataforma de vía, con formación de dunas (lineales (L) y Barchan (B)), según las direcciones de viento dominante.

En toda esta zona ( $21^{\circ}$  -  $23^{\circ}$  N y  $40^{\circ}$  -  $39^{\circ}$  E) el trazado se acerca primero a la costa, pasando por la ciudad de Jiddah, continuando después paralelo a la misma por la franja costera de menos de 30 Km de ancho, de formaciones sedimentarias cuaternarias constituidas por mantos arenosos tipo desértico (amarillo),

limitada en el Oeste por el Mar Rojo, que ocupa la depresión formada por la fosa tectónica que separa la península arábiga de África (azul), y en el Este por la inmensa meseta suavemente inclinada hacia el ENE y constituida por un viejo zócalo de rocas cristalinas (recubierto en parte por rocas sedimentarias areniscas y calcáreas) intrusivas de tipo granítico (naranja), con vastas expansiones de lavas, manifestaciones de una actividad eruptiva continuada en algunas zonas, más próximas a Medina.

Partiendo de los datos de arrastre de arenas y polvo contenidos en el informe previo de BTM y en la bibliografía disponible, se pueden diferenciar bajo este punto de vista, determinante para la elección y dimensionamiento de las medidas de defensa y mantenimiento de la plataforma de la línea, dos zonas de estudio: Makkad-Jiddah y Jiddah-Rabigh.

Al sur de Jiddah, en la zona costera hacia Al-Lith, A. Al-Harhi da la información siguiente de arrastres medidos:

- Dune area: 29,2 m<sup>3</sup> /m/yr
- Interdune area: 12,8 m<sup>3</sup>/m/yr
- No dune:
  - a) Sand sheet: 2,3 m<sup>3</sup>/m/yr
  - b) Sabkha area: 6,5 m<sup>3</sup>/m/yr

El estudio de BMT, utilizando ecuaciones teóricas de transporte de arena por el viento, como la de O'Brien:

$$G(\text{pounds / foot / day}) = 0,036U_{5ft}^3 \quad (\text{feet / sec}) \quad [1]$$

estima para el área Sur (Makkah-Jiddah) del HHSRL, una tasa media de transporte de arena de 1,2 m<sup>3</sup>/m/yr, y para su área Norte (Jiddah-Rabigh) tasas que alcanzan 40 m<sup>3</sup>/m/yr.

Otras informaciones (Abdulmalik et al.) citan que en algunas áreas del desierto saudí las tasas anuales de arenas varían de 10 a 120 Tons/m y pueden alcanzar valores más altos en áreas muy activas, pero para el trazado de la HHSRL, la cantidad de arena transportada deberá ser menor.

### 3. PROPUESTA DE MEDIDAS DE DEFENSA

La idea que se expone a continuación se plantea en base a la información antes citada y teniendo en cuenta que el problema que se presenta no es el de atravesar el desierto de Arabia con una línea de alta velocidad, sino el que ésta deba mantener su funcionalidad soportando la incidencia de un fenómeno "acotado" de erosión eólica.

Este fenómeno es acotado y conocido porque se localiza en una franja costera arenosa, limitada por macizos rocosos en el interior, y en la que ya existen otras infraestructuras de transporte, como son la carretera que une La Meca con Jiddah y las costeras que comunican esta ciudad con las poblaciones de Al Lith al Sur y Rabigh al Norte, pasando por el importante aeropuerto internacional Rey Abdullah próximo a la ciudad de Jiddah, que aunque pueden ser menos exigentes en la intensidad de su conservación, ya ofrecen la experiencia e información básica de partida para un adecuado proyecto de las obras de defensa de la nueva línea y el mantenimiento de la misma.

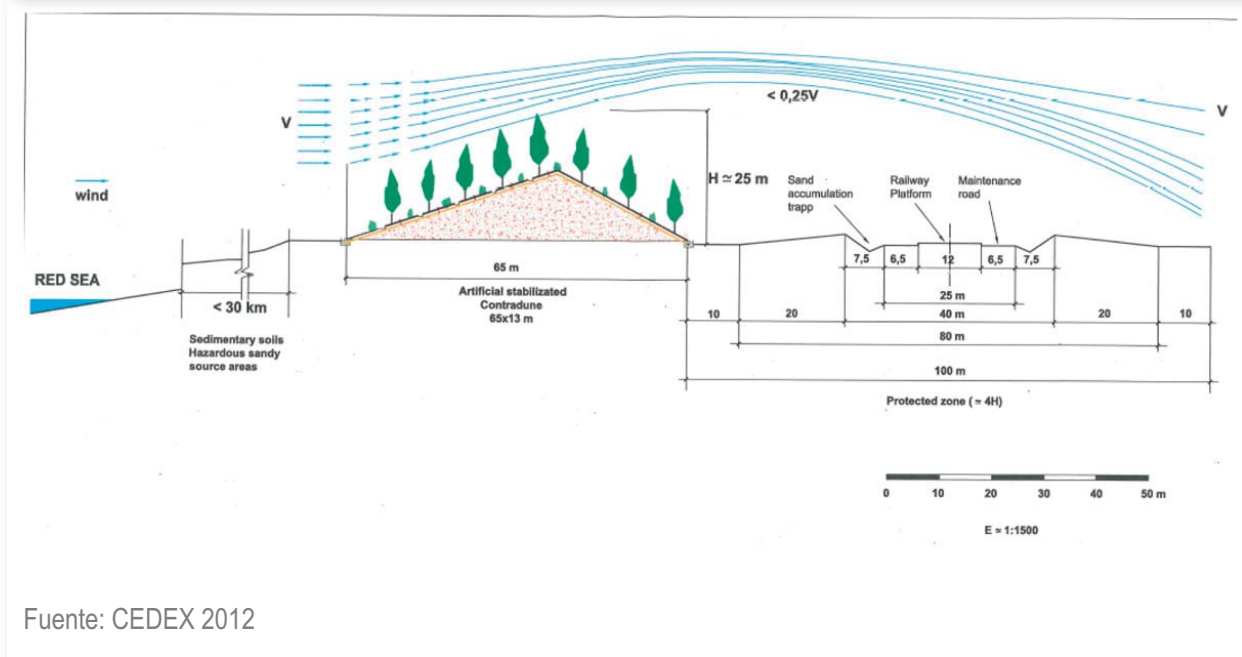
La idea que se presenta a continuación, para en su caso ser objeto de un desarrollo posterior más ajustado a la realidad, es la creación de ocho parques lineales a lo largo de los 210 Km iniciales de la

línea, situados en su lado Oeste sobre contradunas artificiales construidas en aquellas localizaciones con mayor cantidad de arrastres de arena y por tanto con mayor riesgo y magnitud de invasión de la vía, que totalizan un desarrollo de 21 Km, con la creación de más de 120 Has de zonas verdes, susceptibles en una etapa final de un aprovechamiento forestal y ganadero limitado, pero que en todo caso supondría la reducción de al menos el 10% de los gastos de mantenimiento de este trayecto y la contribución para sufragar una parte del 90% restante, con la utilización bioeconómica de esta medida de defensa.

En el resto de las secciones generales de la línea con problemas de arena (176 Km), bastaría para el mantenimiento de la plataforma de la vía la ejecución de unas zanjas laterales a la misma para depósito de los arrastres de arena de menor cuantía que tendrían lugar en estas zonas y que habría que limpiar periódicamente.

Dadas las características climáticas de la zona, la creación de los parques lineales para la utilización bioeconómica de la contraduna de defensa en los tramos específicos de mayor riesgo de invasión, hace imprescindible la necesidad de su riego. Este se plantea reutilizando aguas residuales de las plantas depuradoras de las ciudades de Makkah y principalmente de Jiddah, lo que hace que, dada la ubicación distribuida a lo largo de la línea, de los parques sobre contradunas, con la necesidad de continuidad en la impulsión de suministro del agua de riego, pueda utilizarse ésta para el riego de una continuada franja verde, que uniendo los parques lineales mencionados, hagan de la línea Haramain un corredor medioambiental integrado y de interés económico su aprovechamiento, potenciando bioeconómicamente esta importante zona costera de la península arábiga.

Figura 3. Esquema de la protección al arrastre de la arena por el viento



Fuente: CEDEX 2012

## 4. DIMENSIONAMIENTO DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

Franja defendida: 100 m

a) Trayecto Makkah-Jiddah

- Zona sin dunas (no dune area)

i. Aporte de arena

$$G = 2,3 \text{ m}^3/\text{m}/\text{yr} \quad U_{1a} \approx 18,5 \text{ m/s}$$

ii. Defensa con zanjas laterales (Sand Trap)

$$\text{Capacidad mínima útil: } V = \frac{1}{2} 7,5 \times 1,5 = 5,63 \text{ m}^3 / \text{m}$$

$$\text{Limpieza de zanjas: } t = \frac{5,63}{2,3} \approx 2,5 \text{ años}$$

- Zona de dunas (Dune area)

i. Aporte de arena

$$G = 29,2 \text{ m}^3/\text{m}/\text{yr} \quad (U_{2a} \approx 43 \text{ m/s})$$

ii. Defensa con zanjas laterales y contraduna

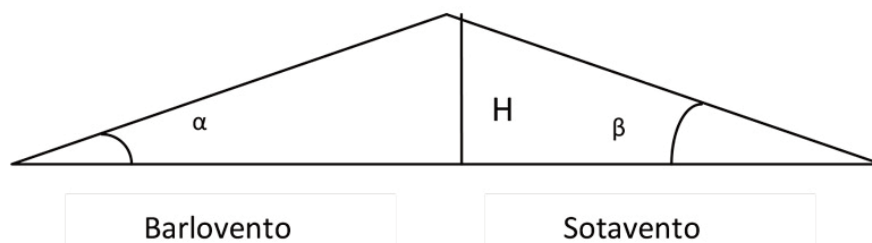
$$U_r \approx U_1$$

$$\frac{U_r}{U} = 43\% \quad U_r > 43\% \rightarrow D_r \approx 0 \text{ a } 13 \text{ H} \rightarrow D_r = 100 - (20 + 10 + 7,5) = 62,5 \text{ m}$$

[2]

$$H \approx \frac{62,5}{13} \approx 5 \text{ m}$$

Figura 4. Esquema contraduna



Fuente: Elaboración propia



Estabilidad crítica para  $H = 5 \text{ m}$   $\alpha = 20^\circ$  y  $\beta = 45^\circ$

1. Construcción de contraduna: Con palizada

$$t_0 = \text{Yr } 0 \quad t_c = 1 \text{ year}$$

2. Formación de contraduna: Con propios aportes futuros

$$t_1 = \text{Yr } 1 \quad t_f = 2 \text{ years}$$

$$V = \frac{1}{2} 3,75 H^2 = 46,9 \text{ m}^3 / \text{m} \rightarrow 29,2 - 2,3 = 26,9 \text{ m}^3 / \text{m} / \text{yr} \rightarrow t_f \approx \frac{46,9}{26,9} \approx 2 \text{ yr} \quad [3]$$

3. Estabilización preliminar: Con hidrosiembra de barrón (*Ammophila arenaria*) y maná (*Lecanora esculenta*), complementaria con riego superficial de oxiasfalto o emulsión bituminosa hidrófila ( $\approx 1,5 \text{ l/m}^2$ )

$$t_2 = \text{Yr } 3 \rightarrow t_{ps} \approx 1 \text{ year}$$

4. Estabilización secundaria: Con plantación de especies subarbusivas y arbustivas (*Alhagi camelorum*, *Catha edulis*)

$$t_3 = \text{Yr } 4 \rightarrow t_{ss} \approx 1 \text{ year}$$

5. Estabilización permanente: Con plantación de árboles, como acacias y especies arbóreas africanas (*casuarina equisetifolia*, *Tamarix africana*)

$$t_4 = \text{Yr } 5 \rightarrow t_{ds} \approx 2 \text{ years}$$

Utilización bioeconómica: Explotación maderera y pastoreo

$$t_5 = \text{Yr } 7 \rightarrow t_{bn} \approx \text{indefinitely}$$

b) Trayecto Jiddah-Rabigh

• Zona sin dunas (no dune area)

i. Aporte de arena

$$G = 6,5 \text{ m}^3 / \text{m} / \text{yr} \quad (U_{1b} \approx 26,1 \text{ m/s})$$

ii. Defensa con zanjas laterales (Sand Trap)

$$\text{Capacidad mínima útil: } V = \frac{1}{2} 10,5 \times 3 = 16,25 \text{ m}^3 / \text{m}$$

$$\text{Limpieza de zanjas: } t = \frac{16,25}{6,5} \approx 2,5 \text{ años}$$

• Zona de dunas (Dune area)

i. Aporte de arena

$$G = 40 \text{ m}^3 / \text{m} / \text{yr} \quad (U_{2b} \approx 47,8 \text{ m/s})$$

ii. Defensa con zanjas laterales y contraduna

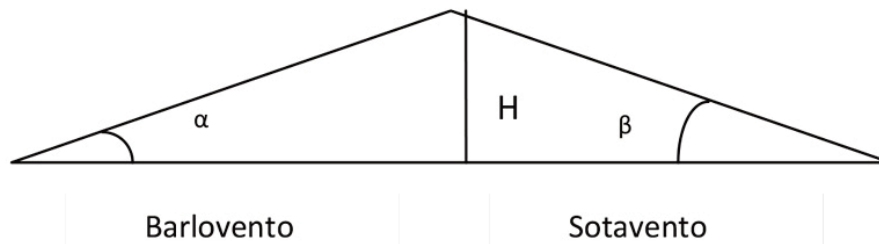
$$U_r \approx U_1$$

$$\frac{U_r}{U} = 54\% \quad U_r > 54\% \rightarrow D_r \approx 0 \text{ a } 5 \text{ H} \rightarrow D_r = 100 - (20 + 10 + 10,5) = 65,5 \text{ m}$$

$$H \approx \frac{65,5}{5} \approx 13 \text{ m}$$

[4]

Figura 5. Esquema contraduna



Fuente: Elaboración propia

Manteniendo criterio de estabilidad crítica para  $H = 5$  m admitiendo rozamiento arena  $\mu = 0,3$  (Tesis Saulot INSA Lyon)

$$\Phi_{eq} \approx 17^\circ \xrightarrow{\text{(Taylor)}} \begin{aligned} &\text{Para } H = 5 \text{ m } \beta = 45^\circ \rightarrow N_e = 0,075 \\ &H = 13 \text{ m } N_e = 0,03 \rightarrow \beta \approx 29^\circ \rightarrow 1:1,8 \\ &\text{Para } H = 5 \text{ m } \alpha = 20^\circ \rightarrow N_e = 0,015 \\ &H = 13 \text{ m } N_e = 0,06 \rightarrow \beta \approx 18^\circ \rightarrow 1:3,1 \end{aligned}$$

1. y 2. -Construcción y formación de contraduna: Completada con bulldozer (técnica australiana), protegida con piedras en barlovento y fajines en su pie a sotavento. La formación únicamente con aportes se descarta por el tiempo que necesitaría para alcanzar la altura prevista. Podría construirse con palizada para formación de contraduna inicial con aportes propios futuros los dos primeros años hasta una cierta altura y completar la formación en el tercer año con materiales de excavación de la plataforma y zanjas y préstamos contiguos, movidos con bulldozer.

$$V = \frac{1}{2}(3,2 + 1,8)H^2 = \frac{1}{2}5 \cdot 13^2 = 422,5 \text{ m}^3 / \text{m} \rightarrow 40 - 6,5 = 33,5 \text{ m}^3 / \text{m} / \text{yr} \rightarrow [5]$$

$$\rightarrow t_f = \frac{722,5}{33,5} \approx 12,5 \text{ años con aportes futuros} \rightarrow \text{excesivo.}$$

3. 4. y 5. -Fases de estabilización: Análogas a las descritas en la otra zona.

Utilización biomecánica: Como la descrita.

## 4. PLANTEAMIENTO DE RIEGO DE LA FRANJA VERDE

Jiddah, el principal puerto del reino, acoge a la mayor parte de los peregrinos que se dirigen a La Meca. Está servido por el Aeropuerto Internacional King Abdulaziz. La Highway 40, que comienza en Jiddah, conecta la ciudad con Makkah, Riyadh y Dammam en la costa este. Es la segunda mayor ciudad de Arabia Saudita, después de la capital Riyadh. La población de la ciudad supera actualmente 3,2 millones de habitantes.

En los años 1970, con el gran crecimiento de la ciudad, en parte debido al incremento de la actividad petrolífera, se construyó una planta de tratamiento de aguas residuales (EDAR), que fue conectada a una red de alcantarillado construida en una parte de la ciudad. Sin embargo, a pesar del incremento continuo de población no se ha desarrollado mucho el sistema de saneamiento. La planta original no puede dar tratamiento a la cantidad de agua residual que la inunda diariamente, dando como resultado la descarga directa al mar de parte del agua residual, permaneciendo por completo la parte norte de la ciudad no conectada al sistema de saneamiento general, sustituido por su vertido en fosas sépticas. A finales del pasado año 2011, una red de drenaje de tormentas ha sido construida en el área sur de la ciudad, para reducir el riesgo de inundaciones. El 26 de Enero de 2011 grandes inundaciones afectaron la ciudad y otras áreas de la Provincia de Makkah. La lluvia acumulada excedió los 90 mm registrados en cuatro horas durante las inundaciones del 25 de Noviembre de 2009.

El clima de Jiddah es árido según la clasificación de Köppen (BWh árido cálido). La temperatura varía en invierno de 19°C de mínima a 29° de máxima como valores medios, siendo en verano 6° ó 7°C superiores. La mínima registrada fue 3°C en invierno de 1995 y la máxima 52°C en Junio de 2010. Tormentas de polvo suceden en verano y algunas veces en invierno, procedentes de los desiertos de la península arábiga o del Norte de Africa.

La precipitación media anual es inferior a 100 mm, y tiene lugar exclusivamente en los meses de Noviembre, Diciembre y Enero, no siendo raros graves incidentes por granizo. La humedad relativa varía de 52% a 63% con una media anual de 55%.

El problema de abastecimiento de agua, se resolvió con la construcción, junto al viejo acueducto alimentado por las fuentes de Waziriyah, a 11 Km de la ciudad, de nuevas conducciones que aportan abundante agua de las numerosas fuentes del oued Fátima, y con dos desaladoras destilando el agua del mar.

Makkah ciudad es la capital de la provincia del mismo nombre y está situada sobre los aluviones de un antiguo oued en un estrecho valle a una altitud de 280 m sobre el nivel del mar, que comprende a su vez los de Altaneem, Bakkah y Abgar. Su población en 2012 es de 2 millones de habitantes, aunque los visitantes, peregrinos en su mayoría, triplican esta cifra todos los años durante el Dhu al Hijjah (12° mes lunar Muslim), llegando actualmente a más de 15 millones de visitantes al año.

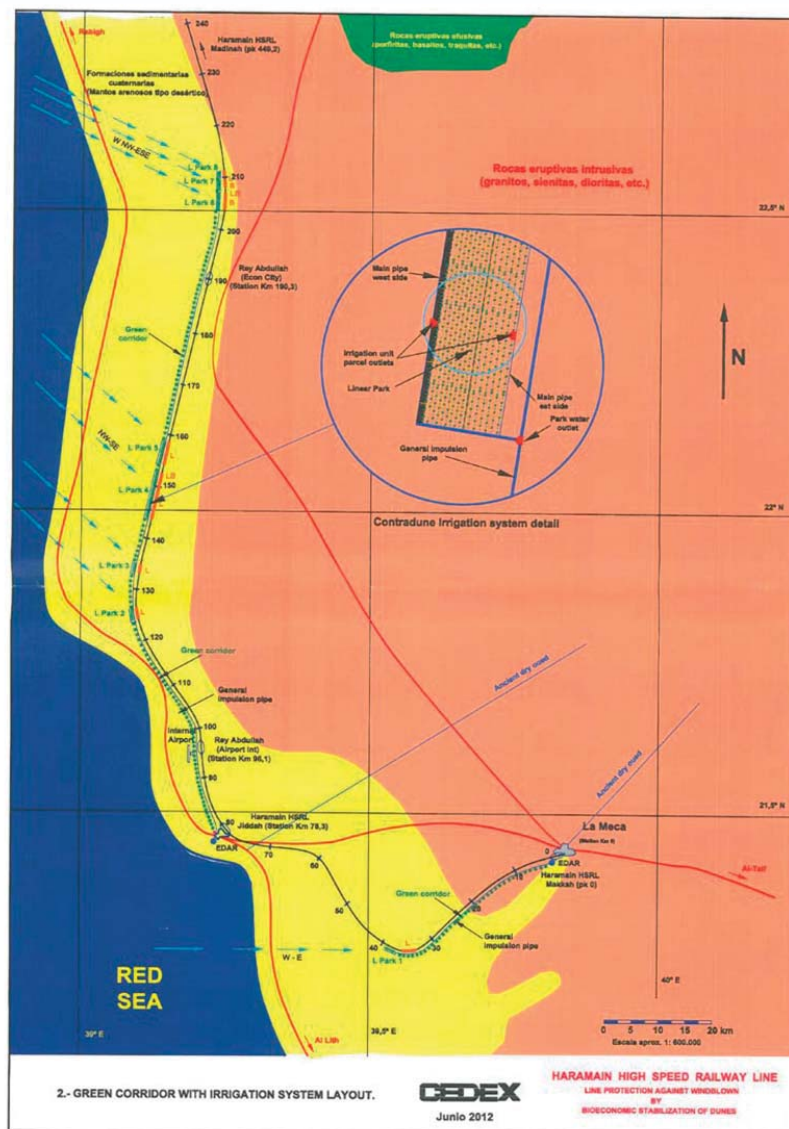
En la pre-moderna Makkah, la ciudad explotaba unas pocas fuentes principales de agua. Las primeras fueron pozos locales, como el bíblico de Zamzam que, según la tradición su agua está bendecida por Dios. El segundo recurso de agua fue el manantial de Ayn Zubayda. Las fuentes de este manantial son las montañas de Jabal Sa'd y Jabal Kabkáb a unos 20 Km al sudeste de la ciudad. El agua se transporta por canales subterráneos. Una muy esporádica tercer fuente de suministro es la lluvia almacenada en pequeños depósitos. La lluvia, aunque escasa también ha originado problemas de inundaciones, la más grave, ocurrida en 1942. Desde entonces han sido construidas presas que han aliviado este problema.

Makkah tiene también un clima extremadamente árido. La temperatura diaria media anual es 30,7°C, la media de las máximas 37,9°C y 24,5°C la de las mínimas, con mínimas medias mensuales en Enero

de 11°C y máximas medias mensuales en Junio de 51,4°C. La precipitación media anual es de 110 mm con medias mensuales superiores a 20 mm en los meses de Noviembre, Diciembre y Enero, 15 mm en Octubre, 12 mm en Abril, 5 a 6 mm en los meses de Marzo, Agosto y Septiembre y menores de 2 mm en Febrero y los meses de Mayo, Junio y Julio. La humedad media relativa es de 46,4% con variación de 33% en el mes de Junio a 59% en Diciembre.

Con las aguas residuales de las EDAR o las pluviales excedentes de las de drenaje de tormentas, en cada una de las dos ciudades, a través de sendos depósitos de almacenamiento y regulación, se alimentarían dos impulsiones de agua para riego de los parques lineales proyectados sobre las contradunas de defensa del ataque de las arenas por el viento a la línea Haramain de alta velocidad y de los dos corredores verdes intermedios que, aprovechando el paso de las impulsiones, pueden crearse con un interés paisajístico de integración medioambiental, pero también susceptible de explotación agro-ganadera.

Figura 6. Corredor verde con irrigación

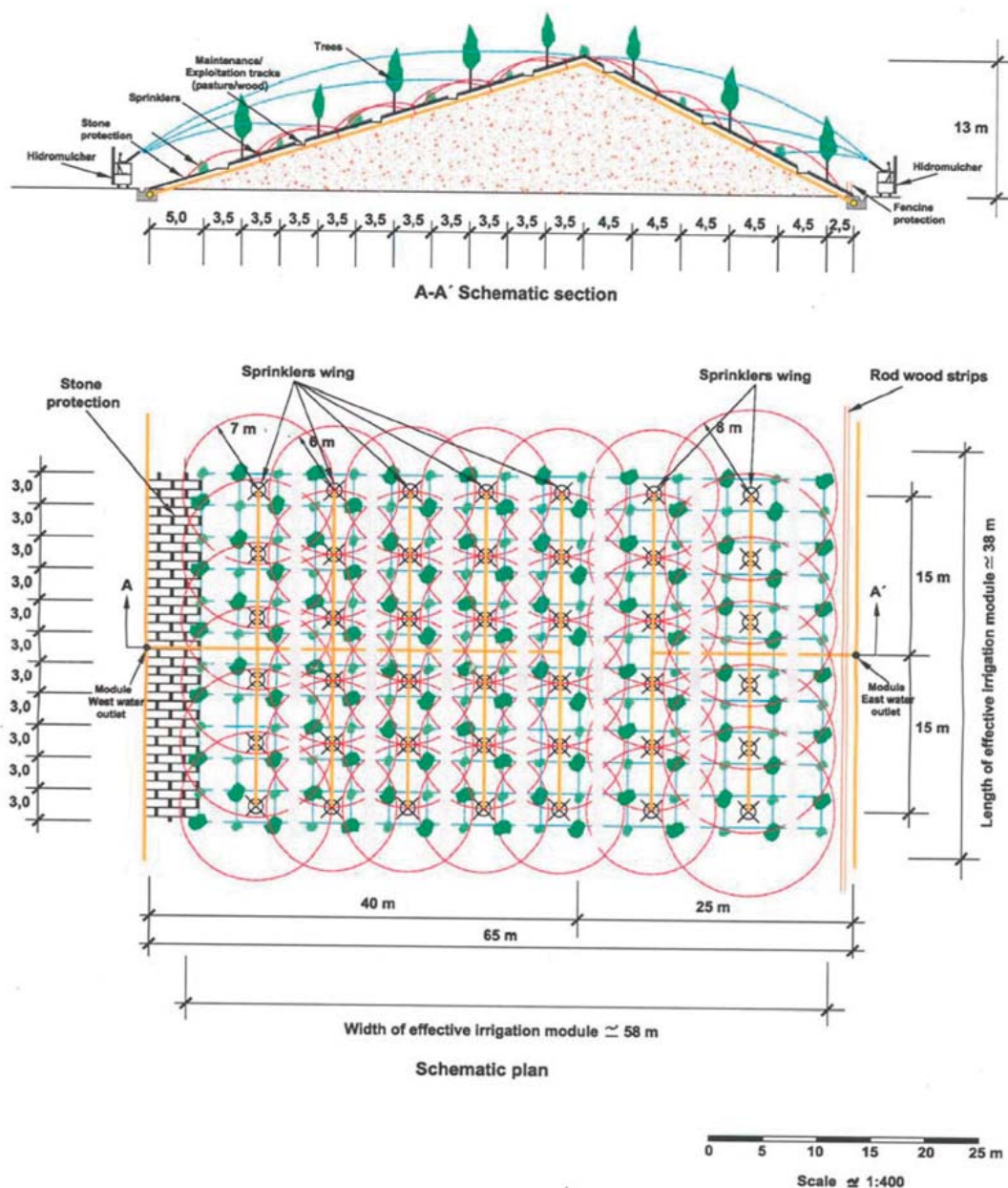


Fuente: CEDEX 2012

El parque lineal 1 situado entre los pK 36 a 38 en el trayecto Makkah-Jiddah, y el corredor verde de unos 35 Km, hasta llegar al parque, serían regados por la impulsión nº 1 desde Makkah.

Los otros siete parques lineales, situados en el trayecto Jiddah-Rabigh, entre los pK 123 y 211, y los aproximadamente 110 Km de corredor verde hasta llegar al parque 8, se regarían con la impulsión nº2, desde Jiddah.

Figura 7. Módulo de irrigación por unidad de parcela



Fuente: CEDEX 2012

Se toma para estimar una dotación de riego las indicadas como de uso habitual en planificación, diseño y explotación de regadíos en los números 81 y 105 de la Revista Ingeniería Civil del CEDEX por los ingenieros agrónomos H. Herminio Castillo y C. Notario, calculadas a partir de los métodos propuestos por la FAO, fundamentalmente el de Penman-Monteith como más adaptado a los valores reales y contrastadas con las obtenidas en las cuencas de la España seca, particularmente en la zona de Almería de la Cuenca Hidrográfica del Sur para cultivos forrajeros (pastizales) y de Alicante-Murcia de la Cuenca Hidrográfica del Júcar para maderables.

La precipitación media anual en Almería es  $\approx 210$  mm y  $\approx 300$  mm en Alicante - Murcia, por lo que a las dotaciones tomadas de los estudios del Cedex sumamos por este concepto  $1.000 - 2.000$  m<sup>3</sup>/Ha y año.

- Cultivos forrajeros:  $d = 8.539$  m<sup>3</sup>/Ha y año +  $1.000$  m<sup>3</sup>/Ha y año  $\approx 9.500$  m<sup>3</sup>/Ha y año
- Maderables:  $d = 5.247$  m<sup>3</sup>/Ha y año +  $2.000$  m<sup>3</sup>/Ha y año  $\approx 7.250$  m<sup>3</sup>/Ha y año

La humedad relativa media en estas localizaciones es  $\approx 67\%$  y la temperatura máxima media es  $\approx 24^\circ\text{C}$ , por lo que, de acuerdo con la fórmula de Lugeon y Meyer, se deben volver a corregir las dotaciones anteriores, para tener en cuenta la mayor evapotranspiración por estas circunstancias, en:

$$\text{Por temperatura: } \frac{273 + 31}{273 + 24} = 1,02 \quad \text{Por humedad relativa: } \frac{100 - 55}{100 - 67} = 1,36$$

$$0,38 \times 8539 \approx 3245 \text{ m}^3/\text{Ha y año}$$

$$0,38 \times 5247 = 1994 \text{ m}^3/\text{Ha y año}$$

Por lo que se adoptan:

$$\text{Cultivos forrajeros: } d \approx 8.539 + 4.245 \approx 12.750 \text{ m}^3/\text{Ha y año}$$

$$\text{Maderables: } d \approx 5.247 + 3.994 \approx 9.250 \text{ m}^3/\text{Ha y año}$$

Con estas dotaciones específicas, según cultivos, se prediseña el riego de la franja verde anexa a la plataforma de la Haramain HSRL en la sección expuesta a los problemas de arenas arrastradas por el viento, como sigue:

- En parques sobre contradunas:

- Dotación

$$D = 11.700 \text{ m}^3/\text{Ha y año} \quad (12.750 \times 0,7 + 9.250 \times 0,3)$$

$$\text{Incremento por pendiente: } 8,68\% \rightarrow D \approx 12.750 \text{ m}^3/\text{Ha y año}$$

- Superficie a regar. Dimensiones parcelas de riego y volúmenes de agua:

a) Impulsión nº 1

$$L \text{ ParK } 1 \rightarrow S_{p1} = 9,1 \text{ Has} \quad 1.400 \text{ m} \times 65 \text{ m} \quad V_{p1} = 116.025 \text{ m}^3/\text{año}$$

b) Impulsión nº 2

L ParK 2 → $S_{P2} = 3,9$ Has	600 m x 65 m	$V_{P2} = 49.725$ m <sup>3</sup> /año
L ParK 3 → $S_{P3} = 5,2$ Has	800 m x 65 m	$V_{P3} = 66.300$ m <sup>3</sup> /año
L ParK 4 → $S_{P4} = 62,4$ Has	9.600 m x 65 m	$V_{P4} = 795.600$ m <sup>3</sup> /año
L ParK 5 → $S_{P5} = 28,6$ Has	4.400 m x 65 m	$V_{P5} = 364.650$ m <sup>3</sup> /año
L ParK 6 → $S_{P6} = 16,3$ Has	2.500 m x 65 m	$V_{P6} = 207.190$ m <sup>3</sup> /año
L ParK 7 → $S_{P7} = 6,5$ Has	1.000 m x 65 m	$V_{P7} = 82.875$ m <sup>3</sup> /año
L ParK 8 → $S_{P8} = 6,5$ Has	1.000 m x 65 m	$V_{P8} = 82.875$ m <sup>3</sup> /año

- En corredor verde:

● Dotación

$$D = 12.750 \text{ m}^3/\text{Ha y año}$$

● Superficie a regar. Dimensiones parcelas de riego y volúmenes de agua:

a) Impulsión nº 1

- Green Corridor Section1 →  $S_{C1} = 350$  Has

$$35.000\text{m} \times 100\text{m} \quad V_{C1} = 4.462.500 \text{ m}^3/\text{año}$$

b) Impulsión nº 2

- Green Corridor Section2 →  $S_{C2} = 430$ Has

$$43.000\text{m} \times 100\text{m} \quad V_{C2} = 5.482.500 \text{ m}^3/\text{año}$$

- Green Corridor Section3 →  $S_{C3} = 94$ Has

$$9.400\text{m} \times 100\text{m} \quad V_{C3} = 1.198.500 \text{ m}^3/\text{año}$$

- Green Corridor Section4 →  $S_{C4} = 92$  Has

$$9.200\text{m} \times 100\text{m} \quad V_{C4} = 1.173.000 \text{ m}^3/\text{año}$$

- Green Corridor Section5 →  $S_{C5} = 9$  Has

$$900\text{m} \times 100\text{m} \quad V_{C5} = 114.750 \text{ m}^3/\text{año}$$

- Green Corridor Section6 →  $S_{C6} = 455$  Has

$$45.500\text{m} \times 100\text{m} \quad V_{C6} = 5.801.250 \text{ m}^3/\text{año}$$

- Green Corridor Section7 →  $S_{C7} = 7$  Has

$$700\text{m} \times 100\text{m} \quad V_{C7} = 89.250 \text{ m}^3/\text{año}$$

- Green Corridor Section8 →  $S_{C8} = 13$  Has

$$1.300\text{m} \times 100\text{m} \quad V_{C8} = 165.750 \text{ m}^3/\text{año}$$

Por tanto, se necesitan los siguientes volúmenes de agua:

Para la impulsión nº 1 (desde Makkah)

$$V_1 = V_{P1} + V_{C1} = 4,58 \text{ Hm}^3/\text{año} + 10\% \text{ Pérdida} \approx 5 \text{ Hm}^3/\text{año} \quad [6]$$

Para la impulsión nº 2 (desde Jiddah)

$$V_2 = \sum_{i=1}^8 V_{Pi} + \sum_{i=1}^8 V_{Ci} = 1,65 \text{ Hm}^3 / \text{año} + 14,03 \text{ Hm}^3 / \text{año} + 10\% \quad [7]$$

Pérdidas  $\approx 17 \text{ Hm}^3/\text{año}$

El volumen de aguas residuales ( $V_{rw}$ ) en cada una de las dos unidades, parece que debe ser suficiente con amplitud para cubrir estas necesidades, pues será como mínimo, suponiendo que el sistema de depuración alcance a la mitad de población y con una dotación de 100 l/hab/día:

**Makkah:**

$$V_{rw} = 1.000.000 \text{ hab} \times 0,1 \text{ m}^3/\text{hab día} \times 365 \text{ d/año} = 36,5 \text{ Hm}^3/\text{año} \gg 5 \text{ Hm}^3/\text{año}$$

**Jiddah:**

$$V_{rw} = 1.600.000 \text{ hab} \times 0,1 \text{ m}^3/\text{hab día} \times 365 \text{ d/año} = 58, \text{ Hm}^3/\text{año} \gg 17 \text{ Hm}^3/\text{año}$$

Se considera parcela mínima:  $S = 1,3 \text{ Has}$

200 m x 65 m

130 m x 100 m

### Impulsión nº 1

$$S = 360 \text{ Has} (10+350)$$

$n = 277$  parcelas

$$\text{Máx consumo: } \frac{12.750 \text{ m}^3 / \text{Ha}}{7 \text{ meses}} = 1.821 \text{ m}^3 / \text{Ham}$$

$$q = \frac{182 \times 10.000}{30 \times 24 \times 3.600} = 0,70 \text{ l/s/Ha} \quad (\text{caudal ficticio continuo})$$

$$r = \frac{1}{3} \quad (8 \text{ h jornada de riego})$$

$$Q = 252 \times 3 = 756 \text{ l/s.}$$

Conducción general:  $\varnothing = 800 \text{ mm}$  a  $\varnothing = 300 \text{ mm}$

### Impulsión nº 2

$$S = 1230 \text{ Has} (130+1100)$$

$n = 946$  parcelas

$$\text{Máx consumo: } \frac{12.750 \text{ m}^3 / \text{Ha}}{9 \text{ meses}} = 1417 \text{ m}^3 / \text{Ham}$$



$$q = \frac{142 \times 10.000}{30 \times 24 \times 3.600} = 0,55 \text{ l/s/Ha} \quad (\text{caudal ficticio continuo})$$

$$r = \frac{1}{3} \quad (8\text{h jornada de riego})$$

$$Q = 677 \times 3 = 2030 \text{ l/s.}$$

Conducción general:  $\varnothing = 1300 \text{ mm}$  a  $\varnothing = 300 \text{ mm}$

Las tuberías principales (East/West sides) de los módulos de riego es suficiente tengan un diámetro

$\varnothing = 250 \text{ mm}$  con un timbraje para 4 ats (Coef. seg. total 3).

En los parques lineales las tuberías secundarias y las alas de aspersores se preveen fijas con presión mínima de 2,5 ats.

En el corredor verde, se considera más adecuado el riego mediante un ala de aspersores de 100 m soportada por torres que se desplazan sobre ruedas de accionamiento hidráulico a lo largo de la parcela (130 m).

Las conducciones generales en las impulsiones deberán tener dispositivos antiarriete, dada su gran longitud, pudiéndose adoptar para ellos, la tipología de chimeneas de equilibrio, de 30 m de altura, aprovechándolas como señalización cada 10 Km y dotándolas de un anagrama característico, símbolo de la Haramain HSRL.

Con explotación para la altura de árboles para la que se dimensiona la contraduna  $h = 12 \text{ m}$  (árboles menores y/o arbustos  $h = 5 \text{ m}$ ), se puede estimar una producción maderera estabilizada como sigue:

$$H = 3 + 0,7d - 0,006 d^2 \quad (d \text{ en cm, } h \text{ en m}) \quad d \approx 15 \text{ cm} \quad [8]$$

$$V = 70 - 11d + d^2 \quad (d \text{ en cm, } V \text{ en dm}^3) \quad [9]$$

- Densidad de árboles:

$$n = 238 \text{ pies/Ha}$$

$$V = 30 \text{ m}^3/\text{Ha año}$$

- Densidad de arbustos maderables:

$$n = 238 \text{ pies/Ha}$$

$$V = 18 \text{ estéreos/año} \approx 6\text{T}/\text{Ha año-leña}$$

$$1 \text{ T}/\text{Ha año-corteza}$$

- Pastoreo racional (en regadío):

$$8 \text{ reses lanares/Ha y 5 meses} \approx 5 \text{ reses lanares/Ha año (8 meses)}$$

- Parques:

$$140 \text{ Has} \times 30 \text{ m}^3/\text{Ha año} = 4200 \text{ m}^3 \text{ madera/año}$$

140 Has x 6 T/Ha año = 870 T leña/año

140 Has x 1 T/Ha año = 140 T corteza/año

140 Has x 5 reses/Ha año = 700 reses lanares/año

- Corredor verde: 1450 Has x 5 reses/Ha año = 7250 reses lanares/año.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

[1] Fort, L. (1980) "Fijación de dunas (Cap. 15 Geotecnia Vial)" *Geotecnia y Cimientos Tomo III Segunda Parte. Edición Coordinada y Dirigida por José Antonio Jiménez Salas* ISBN: 84-7207-017-4 Ed. Rueda. Madrid, España.

[2] Fort, L. (1975) "Modelo para el estudio de la acción de la vegetación sobre las características resistentes del terreno: Efecto estabilizador en taludes". *Tesis doctoral dirigida por el Catedrático de Edafología Carlos Roquero de Laburu. E.T.S. de Ingenieros Agrónomos. Madrid, España.*

[3] Fort, C. (2013) "Caracterización de los parámetros de resistencia al corte y erosionabilidad del suelo para su aplicación en los problemas de estabilidad de taludes en obras lineales". *Tesis doctoral dirigida por Luis Fort López-Tello. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, España.*